

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 187**

21 Número de solicitud: 201700010

51 Int. Cl.:

F03D 17/00 (2006.01)

G01M 9/06 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

28.12.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.09.2017

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (35.0%)
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n
39005 Santander (Cantabria) ES;
FUNDACIÓN IH (35.0%) y
VAZQUEZ Y TORRES INGENIERIA (30.0%)

72 Inventor/es:

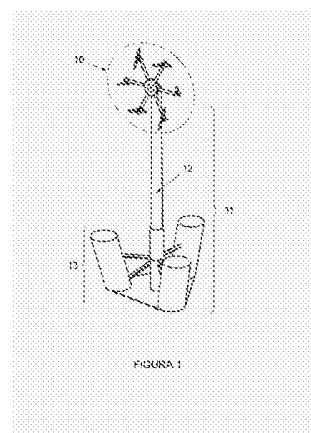
GUANCHE GARCÍA , Raúl y
GÓMEZ MARTÍNEZ , Claudio

54 Título: **Dispositivo para reproducir y simular acciones y cargas aerodinámicas e inerciales**

57 Resumen:

Dispositivo (10, 20, 30, 40) de reproducción y simulación de acciones y cargas aerodinámicas e inerciales configurado para acoplarse al modelo de ensayo de una estructura portante (11), tal que dicha estructura portante (11) comprende un apoyo (12) y una estructura base (13), y así estudiar la respuesta dinámica de la estructura base (13) o de la estructura portante (11) ante las acciones de viento y las fuerzas de origen inercial, que comprende:

- al menos dos unidades de propulsión (24, 34, 44) que comprenden a su vez una hélice de propulsión (25, 35, 45) y un motor (26, 36, 46);
- un bastidor central (27, 37), que comprende al menos un brazo (28, 38) y un soporte central (29, 39);
- y un sistema de control adicional configurado para gobernar individualmente la velocidad de cada motor (26, 36, 46) y de su hélice de propulsión (25, 35, 45).



DESCRIPCIÓN**DISPOSITIVO PARA REPRODUCIR Y SIMULAR ACCIONES Y CARGAS AERODINÁMICAS E INERCIALES****CAMPO DE LA INVENCION/CAMPO TÉCNICO**

La presente invención pertenece al sector de la instrumentación de ensayo, y concretamente al de los instrumentos o dispositivos que reproducen y simulan las cargas y acciones externas (aerodinámicas e inerciales) que inciden sobre el modelo de ensayo de una estructura portante.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los avances en la tecnología, permiten abordar la fabricación de soluciones estructurales para aplicaciones cada vez más complejas. El cálculo y dimensionamiento de estructuras avanzadas para aplicaciones especiales, requiere de herramientas y modelos de cálculo computacional cuyos resultados deben de ir acompañados de ensayos. Dichos ensayos permiten validar los modelos de cálculo y los resultados obtenidos, y predecir el comportamiento de un diseño de estructura antes de proceder a su materialización.

Estos ensayos cobran especial relevancia cuando se debe modelar el comportamiento de una estructura ante acciones de difícil cuantificación, como son cargas de origen aerodinámico, cargas hidrodinámicas, cargas inerciales y la combinación de éstas.

Ejemplo de ello, es el sector eólico, que avanza hacia soluciones tecnológicas que permiten implementar sistemas de producción en ubicaciones marinas u *offshore* mediante estructuras flotantes o estructuras fijadas al fondo marino.

Para validar el comportamiento dinámico de los diseños de estas estructuras y sus modelos de cálculo predictivo, se realizan ensayos, preferiblemente escalados según

la ley de Froude, en los que modelos de las estructuras son sometidos a acciones externas que reproducen las cargas que acontecen en condiciones reales de servicio y a lo largo de la vida útil de la estructura.

5 Dichas cargas tienen una naturaleza aerodinámica derivada de las acciones que el viento genera principalmente sobre la estructura portante y los elementos que ella soporta (rotor de una aeroturbina en el caso de que la estructura portante sea una torre de aeroturbina), y una naturaleza hidrodinámica derivada de la incidencia de corrientes y oleaje cuando la estructura es de aplicación *offshore* o marina.

10 Son conocidos y maduros tecnológicamente los sistemas de reproducción de cargas hidrodinámicas, corrientes y oleajes tales como los descritos en el artículo [*"Diseño de un tanque de oleaje y corriente multidireccionales para profundidades reducidas, intermedias e indefinidas"*, escrito por C. Vidal, P. Lomónaco, R. Medina, I.J. Losada como resumen el proyecto CAC-2007-28 del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España], basados en tanques o canales de oleajes y corrientes.

También son conocidos y maduros tecnológicamente los sistemas de reproducción de cargas aerodinámicas. En concreto, esta tecnología de reproducción de cargas
20 aerodinámicas se basa en túneles de viento, como los descritos en [*"Low Speed Wind Tunnel Testing"* BARLOW, B. J.; RAE W. H., POPE A. (1999), Universidad Técnica de Praga].

Sin embargo, están muy poco desarrollados o son muy incipientes, las soluciones
25 capaces de reproducir conjuntamente cargas aerodinámicas y cargas hidrodinámicas. Ello es debido a que la integración de un túnel de viento convencional sobre un tanque o canal de oleaje como el descrito en el artículo [*"Canal de interacción atmósfera-oceano (CIAO)"* de S. Nieto del Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales (GDFA), Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra de la Universidad de Granada], es una opción excesivamente compleja desde el punto de vista técnico y
30 económico, además de presentar limitaciones significativas como puede ser la

simulación de todo el espectro de acciones combinadas de cargas de viento, oleaje y corrientes, en sus diferentes direcciones de incidencia de las cargas.

5 Como solución a la incapacidad de integrar un túnel de viento sobre un tanque o canal de oleaje y corrientes, son conocidos los sistemas y dispositivos de reproducción de cargas aerodinámicas que pueden excitar un modelo de ensayo, de forma aislada o simultáneamente y en interacción con los sistemas de reproducción de cargas hidrodinámicas, tal y como se describe en la patente de invención CN 105003395 A, donde se define el proceso de ensayo de estructuras flotantes de aerogeneradores
10 sometidas a las acciones conjuntas de oleaje y acciones de viento de un conjunto aerogenerador-estructura portante.

Esta invención contempla la integración de un sistema y dispositivo ampliamente conocido para la reproducción de cargas aerodinámicas, que implementa un
15 subsistema compuesto por uno o varios ventiladores axiales alojados en una estructura carenada. La estructura carenada, confina y dirige el flujo de aire generado por los ventiladores, haciéndolo incidir sobre el modelo de ensayo de la estructura portante y los elementos por ella soportada, o el modelo del rotor de una aeroturbina y su torre cuando lo que se pretende ensayar es la estructura portante de dicha aeroturbina.

20 Sin embargo, estas estructuras carenadas con ventiladores axiales integrados, presentan limitaciones técnicas tales como la reproducción de vientos uniformes en el espacio, así como la reproducción de series específicas de viento turbulentas o de magnitud variable en el tiempo. Además de las limitaciones técnicas, se identifican
25 restricciones de aplicación por su alto coste de inversión y la gran magnitud de las infraestructuras demandadas para su implementación.

Así mismo, el uso de estructuras carenadas con ventiladores axiales integrados lleva asociado el desarrollo de un modelo complejo del rotor de una aeroturbina, tal y como
30 se describe en la tesis [*“Development of a Scale Model Wind Turbine for testing of offshore floating Wind Turbine Systems”*], del Doctor por la Universidad de Maine

Heather Rae Martin, año 2011]. El modelo del rotor es integrado sobre el modelo de la torre y/o estructura. Al exponerlo a la acción de la corriente de aire producida por los ventiladores axiales de la estructura carenada, sobre el rotor acontecen unas cargas aerodinámicas que son transmitidas al modelo de la estructura para evaluar su respuesta dinámica.

No obstante, los resultados obtenidos de estos ensayos, no reflejan la respuesta real de las estructuras ante la acción aerodinámica, ya que como se expone en el artículo [*“Rotor Aerodynamics for Tank Testing of scaled floating Wind Turbines”* publicado como resultado del subproyecto europeo PO.ID 088 (INNWind) por José Azcona y Frank Sandner, investigadores del Centro Nacional de Energías Renovables CENER y de la Universidad de Stuttgart respectivamente], cargas significativas como el par aerodinámico, o par en la dirección del viento incidente, no pueden ser reproducidas sobre el modelo de ensayo.

Son también conocidos otros dispositivos para la reproducción de cargas aerodinámicas, como se describe en el mismo documento *“Rotor Aerodynamics for Tank Testing of scaled floating Wind Turbines”*. Éstos prescinden de estructuras carenadas con ventiladores axiales integrados. Para ello reemplazan el modelo del rotor de una aeroturbina por una hélice de impulsión. El accionamiento de esta hélice de impulsión, gobernada por un sistema de control, genera una reacción contra la masa de aire circundante. La reacción así generada es equivalente al empuje aerodinámico que se desea reproducir, y que es transmitido al modelo de la estructura para evaluar su respuesta dinámica.

Siendo éste último un dispositivo más económico y con capacidad para reproducir empujes aerodinámicos asociados a series turbulentas de viento, tampoco resuelve la reproducción de esfuerzos aerodinámicos significativos como los momentos aerodinámicos.

Se concluye que los sistemas y soluciones existentes en el estado del arte para

reproducir cargas aerodinámicas y hacerlo si fuera posible dentro de un tanque o canal de oleaje, son capaces de reproducir con cierta precisión fuerzas de empuje o fuerzas de arrastres, es decir, fuerzas en la dirección de incidencia del viento que se quiere reproducir.

5

Sin embargo, estos sistemas no reproducen con precisión las fuerzas de empuje originadas por vientos turbulentos, variables en el tiempo. Tampoco son capaces de reproducir con precisión y fiabilidad otras cargas de origen aerodinámico, como son los momentos de origen aerodinámico, y especialmente momentos en la dirección del viento incidente, y sobremanera, cuando los elementos portados por la estructura están en movimiento con respecto a ésta.

10

Por su parte, como consecuencia de las acciones de oleaje, las estructuras expuestas a estas acciones, pueden presentar movimientos relativos que dan origen a cargas inerciales. Si las estructuras flotantes portan elementos en movimiento relativo a ellas, como por ejemplo el rotor de una aeroturbina girando, dichas fuerzas inerciales se vuelven complejas, dando origen a momentos giroscópicos etc.

15

Estas cargas inerciales tienen una influencia sobre la respuesta dinámica de la estructura portante en estudio, y es necesario poder reproducirlas para obtener ensayos de mayor fiabilidad.

20

No existe una solución integral con capacidad para reproducir todas las componentes de una carga de origen aerodinámico y que simultáneamente pueda reproducir todas las cargas de origen inercial que se den en el modelo de ensayo de una estructura.

25

RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención trata de resolver los inconvenientes mencionados anteriormente mediante un dispositivo de reproducción y simulación de acciones y cargas

30

aerodinámicas e inerciales configurado para acoplarse al modelo de ensayo de una estructura portante, tal que dicha estructura portante comprende un apoyo y una estructura base, y así estudiar la respuesta dinámica de la estructura base o de la estructura portante ante las acciones de viento y las fuerzas de origen inercial, que comprende:

- al menos dos unidades de propulsión que comprenden a su vez una hélice de propulsión y un motor, tal que la hélice de propulsión se fija al rotor del motor y es accionada por dicho motor;

- un bastidor central configurado para dar soporte físico a las unidades de propulsión y permitir la transmisión de la fuerza de reacción generada por dichas unidades de propulsión al modelo de la estructura portante a ensayar, que comprende al menos un brazo y un soporte central, tal que cada brazo está unido al soporte central, tal que cada unidad de propulsión está unida a un brazo, pudiendo existir dos o más unidades de propulsión en un mismo brazo, y tal que el soporte central y los brazos forman un conjunto estructuralmente rígido;

- y un sistema de control adicional configurado para gobernar individualmente la velocidad de cada motor y de su hélice de propulsión de modo que dicho sistema de control gobierna la reacción que cada hélice de propulsión genera sobre la masa de aire circundante y la fuerza que transmite al bastidor central, y a través de él, la fuerza y momento que transmite al modelo de ensayo de la estructura portante;

siendo el sistema de referencia del dispositivo aquel que considera al eje X, un eje que atravesando el punto de unión del bastidor central con la estructura portante, tiene una dirección paralela a la del viento predominante cuyas acciones se desean reproducir; al eje Z un eje vertical que pasa por el punto de unión del bastidor central con la estructura portante de ensayo; y al eje Y, un eje horizontal perpendicular simultáneamente a los ejes X y Z.

En una posible realización, la estructura base es una estructura flotante ubicada en flotación y configurada para estudiar la interacción dinámica de las fuerzas aerodinámicas e inerciales, con las fuerzas hidrodinámicas originadas por el medio líquido de flotación.

Alternativamente, la estructura base es una estructura fijada al fondo de un medio líquido de manera rígida o elástica y configurada para estudiar la interacción dinámica de las fuerzas aerodinámicas e inerciales, con las fuerzas hidrodinámicas originadas por el medio líquido en el que se encuentra parcialmente sumergida.

5

En una posible realización, el sistema de control se configura para que la fuerza transmitida por el dispositivo al apoyo sea la fuerza a la que se ve sometido el rotor de una aeroturbina.

10

En una posible realización, los motores son eléctricos.

En una posible realización, el soporte central y los brazos conforman una única pieza que transmite íntegramente las fuerzas generadas por las unidades de propulsión.

15

En una posible realización, al menos una de las unidades de propulsión tiene su eje de giro paralelo al eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo, estando dicha implementación configurada para reproducir al menos una fuerza en la dirección X. Alternativamente, existen al menos tres unidades de propulsión –preferentemente cuatro- y al menos tres unidades de propulsión tienen su eje de giro paralelo y no coincidente al eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo y están distribuidas en el plano YZ de dicho sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo o en un plano paralelo y próximo a él, estando dicha implementación configurada para reproducir la fuerza de empuje en la dirección X y momentos en las direcciones según los ejes Y y Z.

20

En una posible realización, las unidades de propulsión se distribuyen de forma tal que el centro de masas del dispositivo es coincidente con el eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo.

25

En una posible realización, un número par de unidades de propulsión tienen su eje de giro paralelo y no coincidente al eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo

y están distribuidas en el plano YZ de dicho sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo o en un plano paralelo y próximo a él, estando dicha implementación configurada para reproducir un momento en la dirección X y una fuerza según la dirección Z. En una posible realización, las unidades de propulsión están a ambos lados del plano XZ del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo y equidistantes a dicho plano. En una posible realización, las unidades de propulsión se alinean en el eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo. En una posible realización, al menos una unidad de propulsión presenta una orientación tal de la hélice de propulsión que genera una fuerza de reacción en sentido positivo del eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo, y la al menos una unidad de propulsión genera una fuerza de reacción en sentido negativo del eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo.

En una posible realización, al menos una de las unidades de propulsión tiene su eje de giro paralelo al eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo, estando dicha implementación configurada para reproducir la fuerza en la dirección Y.

En una posible realización, dicha al menos una unidad de propulsión tiene su eje de giro coincidente con el eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

La figura 1 muestra un esquema del dispositivo de la invención acoplado al modelo de ensayo de una estructura portante, de acuerdo a una posible realización.

La figura 2 muestra un esquema del dispositivo de la invención, de acuerdo a una posible realización, que comprende seis unidades de propulsión y un bastidor central.

La figura 3 muestra un esquema del dispositivo de la invención, de acuerdo a otra posible realización de la invención, que comprende tres unidades de propulsión y un bastidor central.

La figura 4 muestra un esquema del dispositivo de la invención, de acuerdo a la realización de la figura 2, en donde se han representado las fuerzas y los momentos generados.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En este texto, el término "comprende" y sus variantes no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no pretenden excluir otras características técnicas, aditivos, componentes o pasos.

Además, los términos "aproximadamente", "sustancialmente", "alrededor de", "unos", etc. deben entenderse como indicando valores próximos a los que dichos términos acompañen, ya que por errores de cálculo o de medida, resulte imposible conseguir esos valores con total exactitud.

Las siguientes realizaciones preferidas se proporcionan a modo de ilustración, y no se pretende que sean limitativas de la presente invención. Además, la presente invención cubre todas las posibles combinaciones de realizaciones particulares y preferidas aquí indicadas. Para los expertos en la materia, otros objetos, ventajas y características de la invención se desprenderán en parte de la descripción y en parte de la práctica de la invención.

A continuación, se describe el dispositivo 10 de la invención de acuerdo con un esquema básico del mismo representado en la figura 1, que da solución a los problemas

identificados del estado actual de la técnica, y que se trata de un dispositivo de reproducción y simulación de acciones y cargas aerodinámicas e inerciales configurado para acoplarse al modelo de ensayo de una estructura portante 11, y así estudiar la respuesta dinámica de dicha estructura portante 11 o de su estructura base 13 ante las acciones de viento y las fuerzas de origen inercial. La estructura portante 11 comprende un apoyo 12 (por ejemplo una torre de aeroturbina) y una estructura base 13.

En una posible realización la estructura base 13 es una estructura flotante (por ejemplo un buque o la plataforma de una aeroturbina) ubicada en flotación y configurada para estudiar la interacción dinámica de las fuerzas aerodinámicas e inerciales, con las fuerzas hidrodinámicas originadas por el medio líquido de flotación. En otra posible realización, la estructura base 13 es una estructura fijada al fondo de un medio líquido de manera rígida o elástica y configurada para estudiar la interacción dinámica de las fuerzas aerodinámicas e inerciales, con las fuerzas hidrodinámicas originadas por el medio líquido en el que se encuentra parcialmente sumergida.

En cualquier caso, un experto en la materia entenderá que las características de la estructura portante 11 son función de los diseños que se pretenden validar experimentalmente, quedando fuera del ámbito de la presente invención.

El dispositivo 20 de la invención comprende al menos dos unidades de propulsión 24 que comprenden a su vez una hélice de propulsión 25 y un motor 26, tal que la hélice de propulsión 25 se fija al rotor del motor 26 y es accionada por dicho motor 26. Preferentemente, los motores son eléctricos. La figura 2 muestra un esquema del dispositivo 20 de la invención formado por seis unidades de propulsión 24.

Estas unidades de propulsión 24 se fijan a un bastidor central 27 configurado para dar soporte físico a las mismas y permitir la transmisión de la fuerza de reacción generada por dichas unidades de propulsión 24 al modelo de la estructura portante a ensayar. El bastidor central 27 comprende al menos un brazo 28 y un soporte central 29, tal que cada brazo 28 está unido al soporte central 29, tal que cada unidad de propulsión 24 está unida

a un brazo 28, pudiendo existir dos o más unidades de propulsión 24 en un mismo brazo 28, y tal que el soporte central 29 y los brazos 28 forman un conjunto estructuralmente rígido. En una posible realización, el soporte central 29 y los brazos 28 conforman una única pieza que transmite íntegramente las fuerzas generadas por las unidades de propulsión 24. El dispositivo 20 de la invención está configurado para unirse al modelo de ensayo de la estructura portante directamente a través de su bastidor central 27, haciendo uso de soluciones mecánicas conocidas, como por ejemplo uniones atornilladas.

La figura 3 muestra una posible realización del dispositivo de la invención, conformado por tres unidades de propulsión 34, dos brazos 38 y un soporte central 39.

El dispositivo 10, 20, 30 de la invención comprende además un sistema de control adicional configurado para gobernar individualmente la velocidad de cada motor 26, 36 y de su hélice de propulsión 25, 35 de modo que dicho sistema de control gobierna la reacción que cada hélice de propulsión 25, 35 genera sobre la masa de aire circundante y la fuerza que transmite al bastidor central 27, 37, y a través de él, la fuerza y momento que transmite al modelo de ensayo de la estructura portante 11. En una posible realización, el sistema de control se configura para que la fuerza transmitida por el dispositivo 10, 20, 30 al apoyo 12 sea la fuerza a la que se ve sometido el rotor de una aeroturbina.

Como se observa en las figuras 2 y 3, un experto en la materia entenderá que el sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 20, 30 es aquel que considera al eje X, un eje que atravesando el punto de unión del bastidor central 27, 37 con la estructura portante, tiene una dirección paralela a la del viento predominante cuyas acciones se desean reproducir; al eje Z un eje vertical que pasa por el punto de unión del bastidor central 27, 37 con la estructura de ensayo; y al eje Y, un eje horizontal perpendicular simultáneamente a los ejes X y Z.

En una posible realización al menos una de las unidades de propulsión 24, 34 tiene su eje de giro paralelo al eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 20, 30,

estando dicha implementación configurada para reproducir al menos la fuerza en la dirección X.

La acción del viento sobre un objeto genera una fuerza de arrastre o fuerza de empuje que suele ser una de las fuerzas aerodinámicas más relevantes y significativas. Esta fuerza presenta la misma dirección que la dirección de incidencia del viento. Habiendo definido el eje X del sistema ortonormal, como el eje paralelo a la dirección de incidencia del viento, en esta realización preferente el dispositivo 20, 30 puede reproducir una fuerza en esta dirección X, con el fin de tener la capacidad de reproducir con la mayor fiabilidad posible, las cargas aerodinámicas a las que se ven sometidos objetos y sus estructuras portante.

Por ello, y debido a que las unidades de propulsión 24, 34, y más concretamente las hélices de las unidades de propulsión 25, 35, generan una reacción aerodinámica en la dirección de su eje de rotación, si al menos una de las unidades de propulsión 24, 34 presenta su eje de giro paralelo al eje X, la fuerza de reacción generada puede ser equivalente a la fuerza de arrastre o fuerza de empuje que el dispositivo 20, 30 debe de reproducir.

En otra posible realización, existen al menos tres unidades de propulsión 24, 34 y al menos tres unidades de propulsión 24, 34 tienen su eje de giro paralelo pero no coincidente al eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 20, 30 y están distribuidas en el plano YZ de dicho sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 20, 30 o en un plano paralelo y próximo a él, estando dicha implementación configurada para reproducir la fuerza de empuje en la dirección X y momentos en las direcciones según los ejes Y y Z.

Esta disposición permite distribuir y reproducir valores elevados de fuerzas aerodinámicas en la dirección X sin tener que recurrir a utilizar una única hélice de dimensiones muy grandes, ya que cuanto mayor sea la hélice mayor es su inercia a rotación y peor es la respuesta dinámica, aceleración y deceleración que permite

reproducir fuerzas aerodinámicas variables en el tiempo.

También permite distribuir y reproducir valores elevados de fuerzas aerodinámicas en la dirección X sin tener que recurrir a utilizar una única hélice de muy alta velocidad de giro. Estas hélices de alta velocidad de giro tienen una mala respuesta dinámica ya que acumulan gran cantidad de energía cinética, e igualmente, presentan una mala respuesta dinámica, tardando más en acelerarse y decelerar para reproducir fuerzas aerodinámicas variables en el tiempo.

Las unidades de propulsión 24, 34 con sus ejes paralelos al eje X, son distribuidas en un plano YZ o uno paralelo a él, de modo que las áreas de barrido de todas las hélices 25, 35 quedan en un mismo plano. Esta configuración permite reducir las interferencias de estela aerodinámica, que unas hélices 25, 35 generan sobre otras, facilitando el control del dispositivo 20, 30 y su precisión a la hora de reproducir cargas.

En otro orden, y como se observa en la figura 4, la consideración de un mínimo de tres unidades de propulsión 44 con su eje paralelo al eje X permite reproducir, no sólo una fuerza de empuje resultante según la dirección X, sino dos momentos según la dirección Y y la dirección Z. Al estar las unidades de propulsión 44 distribuidas en el plano YZ, y no coincidentes ninguna de ellas con el eje X, cada una de ellas genera una fuerza de empuje F_{xi} , un momento M_{yi} y un momento M_{zi} , donde:

- F_{xi} depende de la velocidad con la que se gobierne el motor 46.
- $M_{yi} = F_{xi} \cdot d_{zi}$, siendo d_{zi} la distancia que existe entre el eje de rotación de la hélice de la unidad de propulsión 45 y el eje coordenado Y.
- $M_{zi} = F_{xi} \cdot d_{xi}$, siendo d_{xi} la distancia que existe entre el eje de rotación de la hélice de la unidad de propulsión 45 y el eje coordenado Z.

La acción conjunta de las unidades de propulsión 44 permite que el dispositivo 40 genere en conjunto una fuerza de empuje resultante y dos momentos según la dirección Y y Z.

$$F_x = \sum_{i=1}^3 (F_{x_i})$$

$$M_y = \sum_{i=1}^3 (M_{y_i}) = \sum_{i=1}^3 (F_{x_i} \cdot dz_i)$$

$$M_z = \sum_{i=1}^3 (M_{z_i}) = \sum_{i=1}^3 (F_{x_i} \cdot dy_i)$$

Se define así un sistema determinado de tres ecuaciones con tres incógnitas. Los parámetros dz_i y dy_i son valores fijos dependientes de la ubicación de las unidades de propulsión 44. Así, para que el dispositivo 40 de la invención pueda reproducir una carga F_x , M_y y M_z según necesidades (variables), es suficiente con excitar a cada unidad de propulsión 44 para que reproduzca una fuerza F_{x_i} (incógnitas del sistema de ecuaciones).

En una realización preferente, el dispositivo puede integrar cuatro unidades de propulsión 44, distribuidas en un mismo plano YZ y con su eje paralelo y no coincidente al eje X. Esta configuración hace posible establecer un sistema de tres ecuaciones con cuatro incógnitas, lo que define un sistema de infinitas soluciones. De estas infinitas soluciones se establece una lógica para seleccionar aquellas en las que la fuerza de cada unidad de propulsión F_{x_i} de todas las unidades de propulsión 44 presenta el mismo sentido.

De este modo se hace posible gobernar el dispositivo 40 para que la estela de todas las unidades de propulsión 44 tenga el mismo sentido y no interfieran entre sí de una manera negativa, aumentando la precisión de las fuerzas reproducidas.

En una realización preferente, las unidades de propulsión 24, 34, 44 se distribuyen de forma tal que el centro de masas del dispositivo 10, 20, 30, 40 es coincidente con el eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30.

Esta distribución permite que las estelas de las diferentes unidades de propulsión 24, 34, 44 están distribuidas de una forma lo más uniforme y simétrica posible para minimizar

interacciones e interferencias no deseadas entre ellas que perturben la precisión de las fuerzas que se desean reproducir.

En una configuración preferente, el dispositivo de la invención 10, 20, 30, 40 incorpora un número par de unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo y no coincidente al eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30, 40, estando distribuidas en el plano YZ de dicho sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30, 40 o en un plano paralelo y próximo a él.

Al disponer las mencionadas unidades de propulsión 24, 34, 44 su eje de giro paralelo al eje Z, generan fuerzas de reacción según dicha dirección. Por su parte, al estar las unidades de propulsión 24, 34, 44 distribuidas sobre un plano YZ, dichas fuerzas no pueden generar momentos sobre los ejes Y y Z, ya que la distancia de los vectores fuerza al eje Y es cero, y por lo tanto el momento M_y generado, y la dirección de la fuerza es paralela al eje Z, con lo que tampoco puede generar momento sobre dicho eje.

Sin embargo, dicha fuerza F_z de las unidades descritas, sí que pueden generar un par con respecto al eje X del sistema de referencia ortonormal del dispositivo 10, 20, 30, 40, ya que no son paralelas a dicho eje X y no lo cruzan.

La incorporación de al menos dos unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje paralelo y no coincidente al eje Z hace posible establecer el siguiente sistema de ecuaciones:

$$F_z = \sum_{i=1}^{i \geq 2} (F_{z_i})$$

$$M_x = \sum_{i=1}^{i \geq 2} (M_{x_i}) = \sum_{i=1}^{i \geq 2} (F_{z_i} \cdot dy_i)$$

Un sistema de dos ecuaciones con al menos dos incógnitas, que hace posible reproducir una fuerza resultante según la dirección Z, y un momento según la dirección X. Este

momento según la dirección X, o momento según la dirección de incidencia del viento, es de gran importancia e influencia en el comportamiento dinámico de algunas estructuras portantes, como es el caso de las aeroturbinas. En concreto, las aerotubinas se ven sometidas a un momento aerodinámico o momento sobre un eje paralelo a la dirección del viento incidente y que pasa por el centro del rotor.

Este momento, tiene un peso significativo en el comportamiento dinámico de toda la estructura portante del aerogenerador y sin embargo, las soluciones actuales no son capaces de reproducirlo.

Con la disposición descrita para la realización preferente, se puede llegar a reproducir un momento M_x y una fuerza F_z si ello fuera necesario.

En una configuración específica y preferida de la invención, las unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo al eje Z, están a ambos lados del plano XZ del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30, 40, y preferiblemente, se encuentran equidistantes a dicho plano. Esta disposición se realiza para minimizar la interferencia de la estela de las unidades de propulsión 24, 34, 44 descritas y que en la medida de lo posible presenten una simetría de estela que permite disponer de un dispositivo 10, 20, 30, 40 más equilibrado capaz de reproducir cargas con una mayor precisión.

Además, también en una configuración específica y preferida de la invención, las unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo al eje Z del sistema de coordenadas, se alinean en el eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30, 40 con el fin de que la interferencia de la estela de éstas unidades con las estelas de otras unidades de propulsión 24, 34, 44, como por ejemplo las unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo al eje X del sistema de referencia ortonormal, sea mínima y simétrica en la medida de lo posible, con el fin de minimizar la interferencia de estelas y reproducir cargas con la mayor precisión posible.

En este caso concreto en el que las unidades de propulsión 24, 34, 44 presentan su eje de giro paralelo al eje Z, en una posible realización al menos una unidad de propulsión 24, 34, 44 presenta una orientación tal de la hélice de propulsión 25, 35, 45 que genera una fuerza de reacción en sentido positivo del eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo, y además la al menos una unidad de propulsión genera una fuerza de reacción en sentido negativo del eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30, 40.

En numerosos casos de aplicación, como en la simulación de cargas aerodinámicas incidentes sobre el rotor de una aeroturbina, la fuerza F_z que se debe reproducir es de valor muy pequeño o cero, mientras que el valor del momento M_x tienen una magnitud elevada. En dicho caso, para conseguir la condición:

$$F_z = \sum_{i=1}^{i \geq 2} (F_{z_i}) \cong 0$$

además de tener al menos una unidad de propulsión 24, 34, 44 a cada lado del plano XZ, se hace necesario que éstas desarrollen fuerzas de sentidos opuestos para que la resultante de las fuerzas se contrarreste, mientras que se suman los momentos de cada una de las fuerzas generadas por las distintas unidades de propulsión 24, 34, 44.

Hasta el momento, con una combinación de las configuraciones descritas, el dispositivo de la invención 10, 20, 30, 40 permite desarrollar fuerzas según la dirección del eje X y momentos según las direcciones Y y Z, pero también fuerzas según la dirección Z y momentos según la dirección X.

Para complementar la versatilidad del dispositivo 10, 20, 30, y que el mismo disponga de la capacidad para reproducir cargas según la dirección Y, en una posible realización se propone la integración de al menos una unidad de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo al eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo 10, 20, 30. Dicha configuración permite reproducir una fuerza según la dirección Y. Si el eje de la unidad

de propulsión 24, 34, 44 es paralelo pero no coincidente con el eje Y, la fuerza generada F_y , además de fuerza, genera momentos M_x y M_z en función de la distancia del eje de la unidad de propulsión 24, 34, 44 a los respectivos ejes.

5 En esta realización preferida de la invención, los momentos M_x y M_z generados por las unidades de propulsión 24, 34, 44 con eje de giro paralelo al eje Y, deben de ser compensados por el resto de unidades de propulsión 24, 34, 44 existentes si su valor no se corresponde con el que instantáneamente se debe de reproducir. Para evitar la necesidad de una compensación de cargas, en la realización preferente de la invención,
10 la unidad o unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo al eje Y del sistema de coordenadas ortonormal, se ubican de modo que el eje de giro coincida con el eje Y.

De este modo, dichas unidades de propulsión 24, 34, 44 con su eje de giro paralelo al eje
15 Y reproducen íntegramente fuerzas de componente Y, y no momentos que tengan que ser compensados por el resto de unidades de propulsión 24, 34, 44 para que la resultante de fuerzas y momentos se corresponda con la deseada.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (10, 20, 30, 40) de reproducción y simulación de acciones y cargas aerodinámicas e inerciales configurado para acoplarse al modelo de ensayo de una estructura portante (11), tal que dicha estructura portante (11) comprende un apoyo (12) y una estructura base (13), y así estudiar la respuesta dinámica de la estructura base (13) o de la estructura portante (11) ante las acciones de viento y las fuerzas de origen inercial, caracterizado por que comprende:

- al menos dos unidades de propulsión (24, 34, 44) que comprenden a su vez una hélice de propulsión (25, 35, 45) y un motor (26, 36, 46), tal que la hélice de propulsión (25, 35, 45) se fija al rotor del motor (26, 36, 46) y es accionada por dicho motor (26, 36, 46);

- un bastidor central (27, 37) configurado para dar soporte físico a las unidades de propulsión (24, 34, 44) y permitir la transmisión de la fuerza de reacción generada por dichas unidades de propulsión (24, 34, 44) al modelo de la estructura portante (11) a ensayar, que comprende al menos un brazo (28, 38) y un soporte central (29, 39), tal que cada brazo (28, 38) está unido al soporte central (29, 39), tal que cada unidad de propulsión (24, 34, 44) está unida a un brazo (28, 38), pudiendo existir dos o más unidades de propulsión (24, 34, 44) en un mismo brazo (28, 38), y tal que el soporte central (29, 39) y los brazos (28, 38) forman un conjunto estructuralmente rígido;

- y un sistema de control adicional configurado para gobernar individualmente la velocidad de cada motor (26, 36, 46) y de su hélice de propulsión (25, 35, 45) de modo que dicho sistema de control gobierna la reacción que cada hélice de propulsión (25, 35, 45) genera sobre la masa de aire circundante y la fuerza que transmite al bastidor central (27, 37), y a través de él, la fuerza y momento que transmite al modelo de ensayo de la estructura portante (11);

siendo el sistema de referencia del dispositivo (10, 20, 30, 40) aquel que considera al eje X, un eje que atravesando el punto de unión del bastidor central (27, 37) con la estructura portante (11), tiene una dirección paralela a la del viento predominante cuyas

acciones se desean reproducir; al eje Z, un eje vertical que pasa por el punto de unión del bastidor central (27, 37) con la estructura portante (11) de ensayo; y al eje Y, un eje horizontal perpendicular simultáneamente a los ejes X y Z.

- 5 2. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de la reivindicación 1, donde la estructura base (13) es una estructura flotante ubicada en flotación y configurada para estudiar la interacción dinámica de las fuerzas aerodinámicas e inerciales, con las fuerzas hidrodinámicas originadas por el medio líquido de flotación.
- 10 3. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de la reivindicación 1, donde la estructura base (13) es una estructura fijada al fondo de un medio líquido de manera rígida o elástica y configurada para estudiar la interacción dinámica de las fuerzas aerodinámicas e inerciales, con las fuerzas hidrodinámicas originadas por el medio líquido en el que se encuentra parcialmente sumergida.
- 15 4. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el sistema de control se configura para que la fuerza transmitida por el dispositivo al apoyo (12) sea la fuerza a la que se ve sometido el rotor de una aeroturbina.
- 20 5. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los motores (26, 36, 46) son eléctricos.
- 25 6. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el soporte central (29, 39) y los brazos (28, 38) conforman una única pieza que transmite íntegramente las fuerzas generadas por las unidades de propulsión (24, 34, 44).
- 30 7. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos una de las unidades de propulsión (24, 34, 44) tiene su eje de giro paralelo al eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40), estando dicha implementación configurada para reproducir al menos una fuerza en la dirección

X.

8. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde existen al menos tres unidades de propulsión (24, 34, 44) y donde al menos tres unidades de propulsión (24, 34, 44) tienen su eje de giro paralelo y no coincidente al eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40) y están distribuidas en el plano YZ de dicho sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40) o en un plano paralelo y próximo a él, estando dicha implementación configurada para reproducir la fuerza de empuje en la dirección X y momentos en las direcciones según los ejes Y y Z.

9. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de la reivindicación anterior, donde las unidades de propulsión (24, 34, 44) son cuatro.

10. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las unidades de propulsión (24, 34, 44) se distribuyen de forma tal que el centro de masas del dispositivo (10, 20, 30, 40) es coincidente con el eje X del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40).

11. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde un número par de unidades de propulsión (24, 34, 44) tienen su eje de giro paralelo y no coincidente al eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40) y están distribuidas en el plano YZ de dicho sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40) o en un plano paralelo y próximo a él, estando dicha implementación configurada para reproducir un momento en la dirección X y una fuerza según la dirección Z.

12. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de la reivindicación anterior, donde las unidades de propulsión (24, 34, 44) están a ambos lados del plano XZ del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40) y equidistantes a dicho plano.

13. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, donde las unidades de propulsión (24, 34, 44) se alinean en el eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40).
- 5 14. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, donde al menos una unidad de propulsión (24, 34, 44) presenta una orientación tal de la hélice de propulsión (25, 35, 45) que genera una fuerza de reacción en sentido positivo del eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40), y donde la al menos una unidad de propulsión (24, 34, 44) genera una fuerza de reacción en sentido
- 10 negativo del eje Z del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40).
- 15 15. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde al menos una de las unidades de propulsión (24, 34, 44) tiene su eje de giro paralelo al eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40), estando dicha implementación configurada para reproducir la fuerza en la dirección Y.
- 20 16. El dispositivo (10, 20, 30, 40) de la reivindicación anterior, donde dicha al menos una unidad de propulsión (24, 34, 44) tiene su eje de giro coincidente con el eje Y del sistema de coordenadas ortonormal del dispositivo (10, 20, 30, 40).

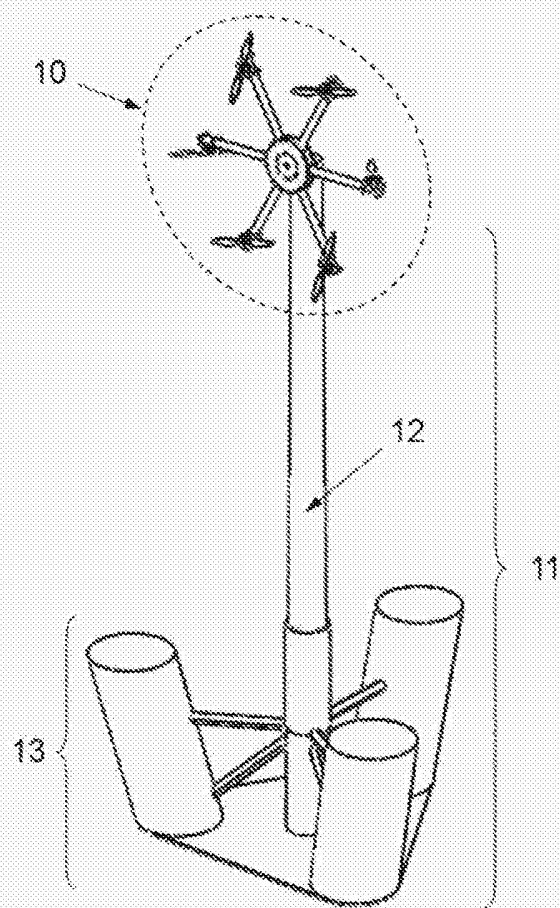


FIGURA 1

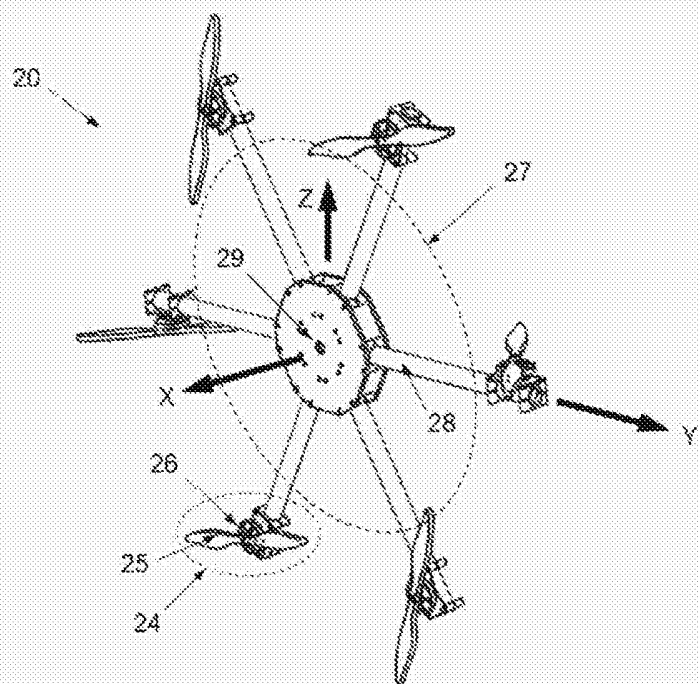


FIGURA 2

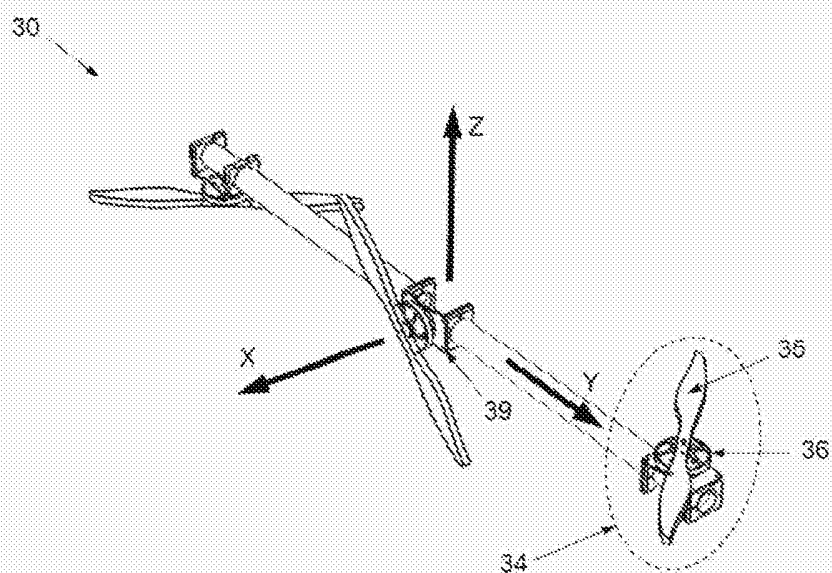


FIGURA 3

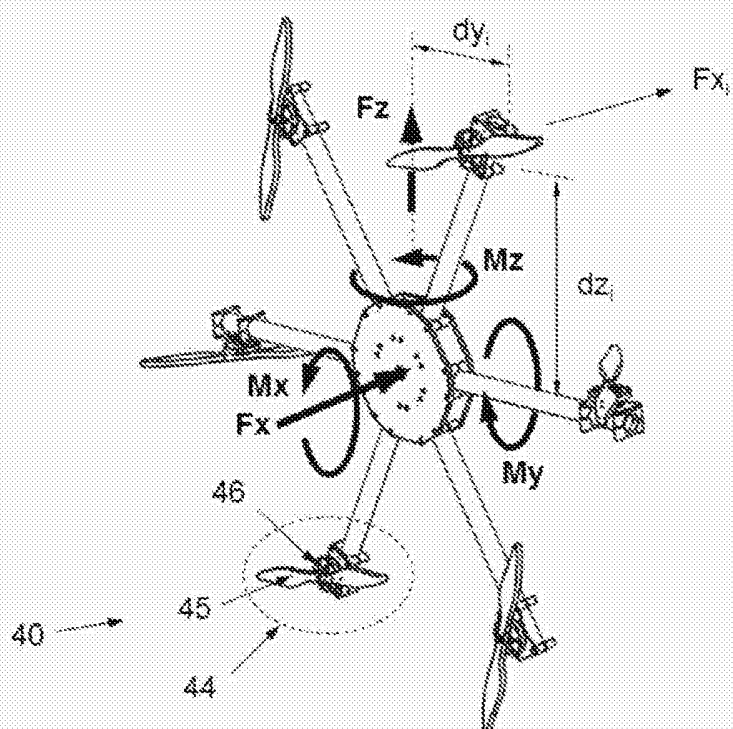


FIGURA 4



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ②① N.º solicitud: 201700010
②② Fecha de presentación de la solicitud: 28.12.2016
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl. : **F03D17/00** (2016.01)
G01M9/06 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	KR 101684459B B1 (KOREA INST OCEAN SCI & TECHNOLOGY) 09/12/2016, Descripción de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE (31/082017); Párrafo [15, 17, 21, 38, 43]; figuras.	1-6,9
A	KR 20110007671 A (TAE CHANG N E T CO LTD) 25/01/2011, Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE (31/08/2017); figuras	1
A	CN 2926035Y Y (CHINA NAT OFFSHORE OIL CORP) 25/07/2007, Resumen de la base de datos EPODOC. Recuperado de EPOQUE (31/08/2017); figuras.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
31.08.2017

Examinador
D. Herrera Alados

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F03D, G01M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 31.08.2017

Declaración**Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)**

Reivindicaciones 1-15

SI

Reivindicaciones

NO**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones 7-8, 10-15

SI

Reivindicaciones 1-6, 9

NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	KR 101684459B B1 (KOREA INST OCEAN SCI & TECHNOLOGY)	09.12.2016

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01, considerado el más cercano del estado de la técnica, divulga un dispositivo para simular las cargas de viento que soportan la torre y la góndola. Dicho dispositivo comprende dos motores, uno conectado a una hélice que simulará la carga aerodinámica y otro conectado a unas alas que simularán el rotor del generador. Dicho equipamiento está dispuesto en un bastidor que simula a la góndola y que está rígidamente unida a la torre (ver párrafos [15, 17, 21, 30, 38, 43] y figuras).

La diferencia entre el documento D01 y el objeto técnico según la reivindicación 1 es que el documento D01 no divulga un control para gobernar de forma independiente la velocidad de cada motor y por lo tanto, se considera que el objeto técnico inventivo según la reivindicación 1 es nuevo, y por consiguiente también son nuevas todas sus reivindicaciones dependientes (Art. 6.1 de LP11/86).

El problema que subyace lo podríamos plantear cómo controlar de forma independiente la velocidad de cada motor. Sin embargo, el documento D01 sí que describe dos motores distintos e independientes y por tanto, también sus velocidades (ver párrafo [30]). Se considera que un experto en la materia consideraría esta solución como una opción normal de diseño para resolver el problema de controlar la velocidad de cada motor, ya que es sobradamente conocida en el estado de la técnica. Por consiguiente, la reivindicación 1 no se considera que tenga actividad inventiva (Art. 8.1 de LP11/86).

En cuanto a las reivindicaciones 2 y 3, se refieren a diferentes modos de amarre de la estructura portante a estudiar y los cuales no dependen del dispositivo si no del tipo de estudio a realizar. Por tanto, un experto en la materia utilizaría dichos tipos de amarre sin ejercicio de actividad inventiva para estudiar los casos planteados.

La reivindicación 4 y 6, ha sido divulgada directamente en el documento D01 al describir dos motores eléctricos y unos propulsores con un eje de giro paralelo a la dirección de viento predominante que se desea reproducir, y por tanto, carecen de actividad inventiva.

En cuanto a las reivindicaciones 5 y 9, se consideran como simples modos de realización y por tanto, no se considera que tengan actividad inventiva.

Sin embargo, no se ha encontrado ningún documento que divulgue un dispositivo con al menos tres unidades de propulsión como se describe en la reivindicación 7. Así, la invención reivindicada implica un efecto mejorado comparado con el resto del estado de la técnica y no se considera obvio que un experto en la materia obtenga la invención a partir del documento D01. Por lo tanto se considera que la reivindicación 7 tiene novedad y actividad inventiva. Igualmente ocurre con las reivindicaciones 8 y 10 a 15 (Art. 6.1 y 8.1 de LP11/86).