

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 771 523**

51 Int. Cl.:

**F03D 9/00** (2006.01)  
**F03D 3/00** (2006.01)  
**F03D 3/02** (2006.01)  
**F03D 3/04** (2006.01)  
**F03D 3/06** (2006.01)  
**F03D 9/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2017 PCT/FR2017/050505**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.09.2017 WO17153676**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2017 E 17713351 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3426917**

54 Título: **Aerogenerador flotante con turbinas gemelas de eje vertical con rendimiento mejorado**

30 Prioridad:

**08.03.2016 FR 1651913**

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

**06.07.2020**

73 Titular/es:

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (100.0%)  
3, rue Michel Ange  
75794 Paris Cedex 16, FR**

72 Inventor/es:

**ACHARD, JEAN-LUC**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 771 523 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

Aerogenerador flotante con turbinas gemelas de eje vertical con rendimiento mejorado

**Campo**

La presente invención se refiere a un aerogenerador flotante, en particular para su uso a lo largo de las costas.

**5 Exposición de la técnica anterior**

La mayoría de los aerogeneradores instalados en tierra firme comprenden turbinas de flujo axial que generalmente incluyen tres palas y cuyo eje de rotación es paralelo a la dirección del viento incidente que llega al aerogenerador. Estos aerogeneradores se denominan HAWT (acrónimo en inglés de Horizontal-Axis Wind Turbine (“Aerogenerador de eje horizontal”). Las palas están sostenidas por una góndola en la extremidad superior de un mástil. Los otros aerogeneradores terrestres comprenden turbinas de flujo transversal cuyo eje de rotación es perpendicular a la dirección del viento, y está dispuesto horizontalmente y de manera más frecuente verticalmente, y se denominan VAWT (siglas en inglés de Vertical-Axis Wind Turbine (“Aerogenerador de eje vertical”). Las palas de los aerogeneradores arrastran en rotación un árbol que arrastra a su vez un generador eléctrico (también llamado generador).

Una tendencia actual consiste en la instalación de aerogeneradores a lo largo de las costas porque el viento es más intenso y más constante allí. Los aerogeneradores marinos actualmente en funcionamiento comprenden principalmente turbinas de flujo axial. El extremo inferior del mástil que sostiene la turbina de flujo axial se fija al fondo del mar a profundidades inferiores a 50-60 m, a través de varios sistemas adaptados a la naturaleza del suelo. Sin embargo, los sitios poco profundos son limitados en número y, por lo tanto, es deseable diseñar aerogeneradores marinos, llamados aerogeneradores flotantes, que incluyen una estructura de soporte flotante que esté unida al fondo marino mediante un sistema de anclaje.

Muchos de los conceptos propuestos para aerogeneradores flotantes utilizan los HAWT. Esta elección es tranquilizadora porque se inscribe en la continuación de las soluciones adoptadas para el aerogenerador terrestre o marino depositado sobre el fondo marino. Sin embargo, puede ser rebatido porque los HAWT parecen inadecuados para la energía eólica marina flotante por varias razones. Una razón es que la góndola, que contiene los órganos de transmisión de potencia (posiblemente con una caja de engranajes que sirven de multiplicador), el generador y la sala de control, se coloca en la parte superior del mástil. El posicionamiento en altura de la góndola depositada en la parte superior del mástil (a diferencia de los VAWT donde el contenido de la góndola se encuentra alojado cerca de la superficie del agua o incluso bajo el agua) hace que (a) el mantenimiento sea difícil en el mar debido a un acceso difícil (b) la estabilidad vertical en el cabeceo y balanceo es más difícil de compensar por la plataforma debido al gran peso de los órganos pesados que son el generador y el multiplicador y (c) una instalación más difícil que requiere grúas de grandes tamaños.

Además, los HAWT requieren regulaciones suplementarias tales como (d) una regulación aerodinámica de guiñada cuyo servomecanismo también se encuentra posado en el extremo superior del mástil en la conexión con la góndola, mientras que los VAWT son insensibles a la dirección del viento y (e) una regulación térmica (generador, multiplicador) en la góndola, pudiendo esta función ser crítica debido a las variaciones significativas de temperatura a esta altitud en el mar lejos de la influencia estabilizadora del agua. Finalmente, (f) las palas de los HAWT están sometidas a sollicitaciones de carga gravitatoria cíclicas como resultado del aumento de su peso durante el aumento de potencia de los aerogeneradores flotantes. Este aumento resulta de la optimización de los costos de este tipo de aerogenerador. Por lo tanto, da como resultado dificultades de cambio de escala en el diseño.

Parece más ventajoso desarrollar aerogeneradores flotantes utilizando VAWT en lugar de HAWT. Se han descrito muchos ejemplos de VAWT. Entre estos ejemplos, las turbinas verticales de tipo Savonius, clasificadas en los VAWT, pero que funcionan según un principio de arrastre diferencial entre palas opuestas, no se consideran aquí porque son incompatibles debido a sus rendimientos muy bajos con proyectos en el aerogenerador flotante, para los cuales los niveles de potencia deben ser muy altos para justificar los costos de instalación y mantenimiento. Los VAWT de un segundo tipo, por otro lado, funcionan según un principio de elevación en una sola pala y se dividen en turbinas Darrieus con palas en forma de “troposkien” o en turbinas H con palas rectas o helicoidales, o incluso en V. Por ejemplo, el documento WO2009/036107 describe un VAWT flotante que incluye una turbina Darrieus y el documento WO2010/120182 describe un VAWT flotante compuesto por una turbina en forma de H con palas rectas. Otro ejemplo de un VAWT flotante es conocido por el documento WO2013/175123.

Sin embargo, subsisten una serie de desventajas de los VAWT del segundo tipo, algunas de las cuales les han hecho perder la partida en tierra, y deben eliminarse o reducirse:

(i) Se reconoce que la potencia producida por los VAWT del segundo tipo, aunque mayor que la de los VAWT del primer tipo, sigue siendo inferior a la potencia producida por los HAWT del mismo tamaño. Se han intentado varias soluciones para reducir este inconveniente. Las turbinas en forma de H, de hecho, sufren en efecto pérdidas de disipación que se manifiestan en las conexiones de brazo-palas y en el extremo de las alas. El rendimiento óptimo es generalmente poco elevado. Dicho rendimiento se puede aumentar ligeramente reduciendo la resistencia aerodinámica con conexiones de brazo palas conformadas utilizando un material compuesto moldeado y, sobre todo, instalando un dispositivo de regulación del ángulo de ataque. Dicho dispositivo introduce complejidad mecánica en el ambiente marino hostil donde

- se debe reducir el mantenimiento. Por otro lado, el rendimiento óptimo de las turbinas Darrieus es significativamente mayor gracias a una solidez  $S = 2Nc/D$  (donde  $N$  es el número de palas,  $c$  es la cuerda y  $D/2$  es el radio de la turbina) reducido (por debajo de 0,3) y un parámetro de avance óptimo  $\lambda = \omega D/2V_i$  (siendo  $\omega$  la velocidad angular de rotación de la turbina y siendo  $V_i$  la velocidad del viento incidente) elevado (superior a 4). La potencia recogida, proporcional al par maestro de la turbina, es baja a menos que se aumente este par maestro. Ello implica aumentar considerablemente la altura del mástil, lo que es un hándicap grave para máquinas cuya sujeción está garantizada por tirantes.
- 5 (ii) Los arranques pueden ser difíciles, al quedar las palas inmovilizadas en posiciones angulares dadas.
- (iii) Las fuerzas aerodinámicas tangenciales y normales ejercidas sobre cada pala durante cada revolución de la turbina son pulsantes. Se transmiten a lo largo de los brazos de unión y a continuación sobre el eje de transmisión de la turbina.
- 10 Al pie de este árbol, resulta de ello un momento de flexión oscilante debido en particular a la componente normal de las fuerzas que causa mucha fatiga en las estructuras. Este momento tiene dos componentes:
- un primer componente que tiende a inclinar el aerogenerador de adelante hacia atrás o viceversa paralelo a la dirección del viento, y que se llama momento de flexión de "vaivén"; y
  - un segundo componente que tiende a inclinar el aerogenerador de izquierda a derecha o viceversa en un plano perpendicular a la dirección del viento, y se denomina momento "de un lado a otro".
- 15 Se sabe que la yuxtaposición de turbinas gemelas de rotación en sentido contrario permite definir turbomáquinas que eliminan o mitigan los inconvenientes (i) (ii) y (iii). Dichas turbomáquinas diseñadas principalmente para aplicaciones terrestres están equipadas principalmente con VAWT del primer tipo, y algunas equipadas con VAWT del segundo tipo. Una desventaja de la yuxtaposición de turbinas gemelas es, por el contrario, perder la insensibilidad del VAWT único a la
- 20 dirección del viento incidente: resulta necesaria una regulación de guiñada. Se puede resaltar el documento US8827631 que describe una turbina hidráulica con turbinas de este segundo tipo y el documento WO2013/175123 que describe un aerogenerador con turbinas de este segundo tipo flanqueadas por carenados laterales y soportadas por un montante central, componentes que emplean mucho material; la regulación aerodinámica que equipa esta última también es voluminosa. Por lo tanto, no puede seguir el aumento de potencia de los aerogeneradores flotantes.
- 25 Por lo tanto, sería deseable proponer un aerogenerador flotante que comprenda turbinas gemelas que atenúe, incluso elimine, algunos de los defectos mencionados con anterioridad a la vez que sea económico en material.
- Además, al estar los aerogeneradores flotantes lejos de la costa, las soluciones consideradas deben seguir siendo simples para limitar las costosas intervenciones.
- Compendio**
- 30 Un objeto de un modo de realización es superar todos o parte de los inconvenientes mencionados anteriormente de los aerogeneradores flotantes formados a partir de turbinas gemelas.
- Otro objeto de un modo de realización es aumentar el rendimiento de tales aerogeneradores sin usar demasiado material.
- Otro objeto de un modo de realización es amortiguar las variaciones de cargas normales que se ejercen sobre los enlaces de pivote de las turbinas durante su rotación.
- 35 Otro objeto de un modo de realización es asegurar pasivamente, gracias a la arquitectura del aerogenerador, su orientación cara al viento de manera que no sea necesario ningún control de guiñada.
- Así, un modo de realización prevé un aerogenerador flotante que comprende una plataforma flotante y una turbomáquina que descansa sobre la plataforma, comprendiendo la turbomáquina:
- 40 - primera y segunda turbinas de flujo transversal dispuestas simétricamente con respecto a un primer plano, cada turbina compuesta de palas que comprenden partes centrales y brazos, describiendo las partes centrales en rotación cilindros y prolongándose en los extremos por los brazos, estando los brazos, además, unidos a elementos de árbol mediante enlaces pivotantes, estando soportada cada turbina por dos carenados horizontales superior e inferior provistos de estructura de soporte, no comprendiendo árbol;
- 45 - una estructura de mantenimiento de la turbina compuesta por un sistema formado por dichos carenados superior e inferior unidos a una columna central vertical entre las turbinas y aguas arriba en relación con la dirección del viento de un segundo plano que contiene los ejes de rotación de las palas de las turbinas.
- Según un modo de realización, la turbomáquina está adaptada para pivotar con respecto a la plataforma flotante alrededor de un eje de pivote situado aguas arriba del segundo plano con respecto a la dirección del viento.
- 50 Según un modo de realización, los brazos son perpendiculares a los ejes de rotación de las palas.
- Según un modo de realización, la parte central de cada pala está unida a cada brazo correspondiente mediante una

porción acodada según un cuarto de círculo.

Según un modo de realización, la parte central de cada pala es recta.

Según un modo de realización, la parte central de cada pala tiene una flecha con un pequeño ángulo de inclinación (<5°) a la vez que permanece inscrita en el cilindro descrito por la turbina durante su rotación.

- 5 Según un modo de realización, para cada pala, la altura de la parte central de la pala medida paralelamente al eje de rotación de la pala, es mayor o igual a 2/3 de la altura, medida paralelamente al eje de rotación de la pala, entre los dos brazos unidos a la parte central de la pala.

Los carenados horizontales están:

- 10 - o bien provistos de una primera clase de estructura de soporte, denominándose entonces el ensamblaje carenado MMESS (en inglés Moderately Material Efficient Supporting Structure ("Estructura de Soporte de Material Moderadamente Eficiente")) que permite alojar y enmascarar al viento incidente los brazos, los elementos de árbol y los cubos que están totalmente alojados en el interior de los carenados. Según un modo de realización, cada carenado MMESS comprende un alojamiento parcialmente cerrado por un capó fijado al elemento del árbol del carenado, quedando una abertura anular entre la periferia del capó y el resto del carenado para el paso de las palas de la turbina.
- 15 Según un modo de realización, cada carenado MMESS aloja una fracción, que varía entre la mitad y la totalidad, de las porciones acodadas de las palas de la turbina. Así, dicho carenado tiene una envergadura que puede variar del diámetro de la turbina en una fracción de éste en relación con la fracción de la parte acodada que aloja. Según un modo de realización, los carenados MMESS también están unidos a un montante estabilizador vertical en el primer plano medio aguas abajo del segundo plano con respecto a la dirección del viento; o bien

- 20 - los carenados horizontales están provistos de una segunda clase de estructura de soporte, siendo denominado entonces el ensamblaje carenado HMESS (en inglés Highly Material Efficient supporting structure ("Estructura de Soporte de Material Muy Eficiente")) dejando al viento incidente los brazos, los elementos de árbol y los cubos alojados parcialmente dentro de los carenados. Cada carenado HMESS está formado por una semiala (recta, en flecha, trapezoidal, elíptica ...) en el extremo y en el seno de la cual está previsto un enlace pivotante que comprende un cubo giratorio que se extiende en el exterior de la semiala y sobre el que vienen a unirse exteriormente las palas de la turbina a través de un disco giratorio solidario del cubo. Dicho semiala tiene una envergadura que se extiende justo más allá de los elementos del enlace pivotante.

- 25 Según un modo de realización, cada carenado MMESS del aerogenerador flotante comprende, además, para cada turbina, un montante lateral vertical en el lado de la turbina opuesto al primer plano y que une los carenados superior e inferior de la turbina.

- 30 Según un modo de realización, cada carenado MMESS comprende un tubo anular unido por un primer tubo estructural a la columna central y por un segundo tubo estructural al montante estabilizador vertical.

Según un modo de realización, cada carenado HMESS comprende un tubo anular estructural alargado que sigue la envergadura de cada semiala y cerca del borde de ataque que une la columna central al enlace de pivote.

- 35 Según un modo de realización, cada turbina comprende una línea de tracción diagonal que une cada pala, desde un punto ubicado en la mitad superior de la pala, a un componente giratorio del enlace de pivote superior de la turbina y una segunda línea de tracción diagonal que une cada pala, desde un punto ubicado en la mitad inferior de la pala, a un componente giratorio del enlace de pivote inferior de la turbina.

- 40 Según un modo de realización, cada turbina comprende una línea de tracción horizontal que une cada pala de la turbina a las otras palas de la turbina a través de un nodo común colocado en el eje de rotación de la turbina a una altura ubicada en la proximidad de la mitad de la pala.

Según un modo de realización, cada turbina comprende un generador eléctrico arrastrado por las palas de la turbina y alojado en el carenado inferior de la turbina.

Según un modo de realización, el generador es un generador síncrono con imanes permanentes de ataque directo.

- 45 Según un modo de realización, el generador comprende un freno de disco.

Según un modo de realización, hay dispuestos cables de evacuación de la electricidad producida por el generador y/o de control y/o de mando del generador y/o del freno de disco, en el tubo anular estructural del carenado inferior de la turbina.

Según un modo de realización, los tubos anulares estructurales de los carenados superior e inferior de la turbina están adaptados al paso de un agente de mantenimiento.

- 50 Según un modo de realización, el aerogenerador flotante comprende, además, al menos un panel fotovoltaico fijado a la cara superior de uno de los carenados superiores.

**Breve descripción de los dibujos**

Estas características y ventajas, así como otras, se expondrán en detalle en la siguiente descripción de modos de realización particulares realizados a título no limitante en relación con las figuras adjuntas, entre las cuales:

- 5 La figura 1 es una vista en perspectiva, parcial y esquemática, de un modo de realización de un aerogenerador flotante con carenados MMESS;
- Las figuras 2A y 2B son vistas en despiece ordenado, parciales y esquemáticas, respectivamente de la parte alta y de la parte baja de una de las turbinas mostradas en la figura 1;
- Las figuras 3A y 3B son vistas en sección ampliadas, parciales y esquemáticas, de la parte alta y de la parte baja de una de las turbinas mostradas en la figura 1; y
- 10 La figura 4 es una vista en perspectiva, parcial y esquemática de un aerogenerador flotante con carenados HMESS.

**Descripción detallada**

15 Solo se han descrito y representado en las figuras los elementos útiles para la comprensión de la invención. En la siguiente descripción, a menos que se especifique lo contrario, las expresiones "aproximadamente", "sustancialmente" y "del orden de" significan el 10% aproximadamente, preferiblemente el 5% aproximadamente. Además, los términos "superior", "inferior", "por encima", "por debajo", "parte superior" y "base" se definen en relación con el eje de rotación de las turbinas del aerogenerador que corresponde, por ejemplo, sustancialmente a la dirección vertical.

La figura 1 es una vista en perspectiva, parcial y esquemática, de un modo de realización de un aerogenerador flotante 10 con carenados MMESS. El aerogenerador flotante 10 comprende una turbomáquina emergente 12 que descansa sobre una plataforma flotante 14.

20 La turbomáquina 12 comprende dos turbinas 24 yuxtapuestas de eje de rotación A y A' de flujo transversal soportada cada una por un carenado MMESS superior e inferior 42, 44, de una estructura 26 de mantenimiento, que tiene la forma de un elipsoide de revolución aplanado alrededor de dichos ejes de rotación, estando provistos dichos carenados de estructuras de soporte (representadas en la figura 2) que están conectadas a la columna central 28 por tubos estructurales 64 y al montante 30 estabilizador vertical por tubos estructurales 64, estando contenidos dicha columna y dicho montante estabilizador vertical en un plano medio vertical a cada lado del cual las dos turbinas 24 están colocadas simétricamente. La sección del montante estabilizador vertical, en un plano perpendicular a los ejes de rotación de las turbinas 24, es un perfil de ala simétrico.

30 De esta manera, resulta posible mantener las palas 32 de las turbinas de ejes A y A' mediante un enlace de pivote fijadas en los carenados MMESS superior e inferior 42, 44 que se detallarán en las figuras 2, 3A y 3B. Así, cada turbina 24 puede prescindir de un árbol como en las turbinas de flujo transversal que se han descrito anteriormente. La función de mantenimiento está así asegurada por la columna central 28 y el montante 30 estabilizador vertical. Esto permite desacoplar los dos cubos de una misma turbina permitiendo una desalineación entre estos dos cubos sin producir esfuerzos de flexión parásita que provienen del enlace de pivote superior hacia el enlace de pivote inferior. En particular, esto permite evitar la repercusión de los momentos de flexión que provienen del enlace de pivote superior hacia el enlace de pivote inferior.

35 Según un modo de realización, la columna 28 tiene una sección sensiblemente triangular, simétrica con respecto al plano medio, con una superficie aguas arriba en arco de círculo y dos caras laterales planas o cóncavas que se unen aguas abajo hacia una línea de fuga contenida en el plano medio. Esta columna en su parte de aguas arriba está conectada al soporte flotante por un mástil cilíndrico de eje O y su extensión en profundidad es como máximo de la mitad de un diámetro de turbina. Según un modo de realización, el ángulo entre el plano que contiene los ejes A y A' y el plano que contiene el eje A y tangente a la columna 28, en el lado de aguas arriba según la dirección del viento, es menor o igual a 30°.

40 La deformación de la columna en la dirección del viento es inversamente proporcional al momento cuadrático según el eje de cabeceo de la turbomáquina. Sin embargo, por su extensión en profundidad, el momento de esta columna es mucho más alto que el de un mástil circular del mismo par maestro. Así, la columna es capaz de absorber lo mejor posible los esfuerzos mecánicos y aerodinámicos longitudinales inestables en el tiempo que se le transmiten a través de los enlaces de pivote de las turbinas.

45 Según un modo de realización, cada turbina 24 comprende palas 32, que son al menos dos en número, y a modo de ejemplo tres en número en la figura 1. Las palas 32 para la turbina 24 representada a la derecha en la figura 1 están montadas móviles en rotación alrededor del eje A y las palas de la turbina 24 representada a la izquierda en la figura 1 están montadas móviles en rotación alrededor del eje A'. Preferiblemente, los ejes A y A' son paralelos. En movimiento, las palas 32 barren superficies inscritas en cilindros de revolución de diámetro D y respectivamente de eje A para la turbina 24 representada a la derecha en la figura 1 y A' para la turbina 24 representada a la izquierda en la figura 1. Cada pala 32 comprende una porción central 33 que está contenida en el cilindro de diámetro D. A modo de ejemplo, la porción central 33 es recta y paralela al eje A o A'. En esta figura solo la porción central 33 está expuesta al viento, pero

son posibles otros modos de realización de los carenados MMESS como se describirá más adelante.

5 Las palas 32 tienen perfiles distribuidos en estos cilindros de manera simétrica con respecto al plano medio que separa los cilindros. Por lo tanto, tienen un sentido de rotación opuesto, siendo este sentido tal que las palas 32 se mueven en contra del viento en la zona media. En un plano perpendicular al eje de rotación A o A', la sección de cada pala 32 puede  
 5 corresponder a un perfil del tipo biconvexo simétrico o asimétrico, hueco, o con doble curvatura. Según un modo de realización, el diámetro D está comprendido entre 20 m y 80 m.

10 En el modo de realización representado en la figura 1, las palas 32 de cada turbina 24 tienen una parte central recta 33, pero se puede usar cualquier tipo de palas procedentes de turbinas de flujo transversal siempre que la parte central 33 de la pala 32 barra un cilindro de revolución. Por ejemplo, la turbina puede estar provista de palas cuya parte central es helicoidal o de palas cuya parte central tiene forma de V, tales como las descritas en la patente US2011006534, no pudiendo sin embargo la flecha superar los 10° para no hacer caer el rendimiento. El uso de palas helicoidales o palas en forma de V tiene la ventaja de uniformizar el par proporcionado por las palas.

15 La plataforma 14 puede ser semi-sumergible y corresponder a una plataforma de tres flotadores. La plataforma 14 incluye tres columnas o cilindros 16 de flotación dispuestos en estrella. La plataforma 14 comprende además un mástil central 18, de eje O, conectado a los cilindros 16 de flotación mediante barras 20 de refuerzo. La plataforma 14 está estabilizada de modo que los ejes A y A' de las turbinas estén cerca de la posición vertical, asegurando la máxima potencia recogida, no solo por la rigidez hidrostática debida a las tres columnas 16 de flotación en forma de estrella, sino también por el lastre, que puede ser un balasto líquido, colocado en la parte inferior de las columnas. La distribución del líquido en estas columnas se puede controlar para que no se produzca un cambio significativo en el asiento. La  
 20 plataforma 14 se mantiene en su sitio mediante un sistema de anclaje, no mostrado, que comprende, por ejemplo, catenarias, unidas al fondo marino. La plataforma 14 de tres flotadores tiene de manera ventajosa un buen compromiso en términos de costo de materia prima, de costo de instalación y de resistencia en el mar. Se pueden usar otros tipos de plataformas flotantes. Según una variante, la plataforma 14 puede corresponder a la plataforma descrita en el documento WO2013/175124 que se considera parte integrante de la presente descripción. Según una variante, la plataforma 14  
 25 también puede corresponder a una barcaza, a una plataforma "spar" o a una plataforma con patas de tensión denominada TLP. El nivel del agua está representado esquemáticamente por las líneas 22 en la figura 1.

30 Preferiblemente, la turbomáquina 12 está montada sobre el mástil central 18 de la plataforma 14. Según una variante puede preverse un sistema de enlace de pivote, no visible en la figura 1, en la parte superior del mástil 18 para permitir la rotación libre de la turbomáquina 12 con respecto a la plataforma flotante 14 alrededor del eje O, sustancialmente vertical. Para este propósito, la columna 28 puede prolongarse mediante una porción cilíndrica de eje O que desempeña el papel de la parte principal del enlace de pivote y que penetra en una abertura cilíndrica de eje O prevista en el mástil 18 y que desempeña el papel de la parte hembra del enlace de pivote. Esta conexión también puede garantizarse mediante una variante de una corona de orientación que se encuentra en la parte superior de los mástiles de los HAWT y que incluye un gran rodamiento de rodillos.

35 Este enlace de pivote permite que la turbomáquina se oriente de cara al viento. En efecto las resultantes de las fuerzas normales ejercidas por cada turbina sobre los enlaces de pivote llevados por los carenados MMESS 42, 44 están equilibrados, al igual que los momentos que crean sobre el eje O porque el posicionamiento de los ejes A y A' aguas abajo del eje de rotación O tiende en efecto a estabilizar el aerogenerador en todo momento frente al viento, sin girar.

40 El montante 30 estabilizador vertical, presente en los aerogeneradores con carenados MMESS contribuye a mantener el eje de simetría de la turbomáquina 12 paralelo a la dirección del viento en funcionamiento normal. En efecto el montante 30 estabilizador vertical desempeña el papel de un estabilizador con un brazo de palanca fuerte. En conclusión y ventajosamente, no es necesario ningún comando en guiñada.

45 En un modo de realización simplificado donde no hay previsto un sistema de unión a la parte superior del mástil 18, una estabilización en guiñada del aerogenerador sigue siendo posible. El soporte flotante de la plataforma 14 representado en la figura 1 está sometido a este momento aerodinámico de enderezamiento que se añade al de las catenarias que controlan este tipo de soporte flotante en guiñada.

50 Las figuras 2A y 2B son vistas en despiece ordenado, parciales y esquemáticas, respectivamente, de la parte alta y de la parte baja de la turbina 24 representada a la derecha en la figura 1. Las turbinas 24 tienen estructuras simétricas entre sí con respecto a un plano medio. A continuación, se hará una descripción más detallada de la turbina 24 representada a la derecha en la figura 1 sabiendo que la turbina representada a la izquierda en la figura 1 tiene una estructura simétrica.

55 Cada pala 32 comprende un brazo superior 34, de preferencia sustancialmente perpendicular al eje A o A', en particular horizontal, y unido al extremo superior de la parte central 33 de la pala 32 y un brazo inferior 36, de preferencia sustancialmente perpendicular al eje A o A', en particular horizontal, y unido al extremo inferior de la parte central 33 de la pala 32. Según un modo de realización, para cada pala 32, un codo superior 38, que tiene de preferencia sustancialmente la forma de un cuarto de círculo de radio R, une la parte central de cada pala 32 al brazo superior 34 y un codo inferior 40, que tiene de preferencia sustancialmente la forma de un cuarto de círculo de radio R, une la parte central 33 de cada pala 32 al brazo inferior 36. La longitud L de cada brazo 34, 36 medida a partir del eje A es tal que  $R + L = D/2$ . Solo en el plano aerodinámico, el valor de R resulta de un compromiso destinado a maximizar la potencia

## ES 2 771 523 T3

- 5 producida por una turbina. De manera general, para dicha turbina que funciona en un medio infinito, un R pequeño aumenta la superficie barrida por la parte motriz 33 pero aumenta la resistencia a la interferencia, por lo tanto, la fuente de disipación asociada. Se debe buscar un óptimo para cada geometría precisa de la turbina (N, c, D, etc.). Un límite superior de R es 1/6 de la distancia, medida paralelamente al eje A, entre los brazos 34 y 36 unidos a la parte central 33 de la pala 32 o, en otras palabras, la altura medida paralelamente al eje A de la parte central 33 de cada pala 32 es mayor o igual a 2/3 de esta distancia.
- 10 Los brazos superiores 32 están conectados a un cubo superior 50, por medio de un disco 51 perforado y fijado al cubo 50. El cubo superior 50 está montado de forma giratoria por medio de rodamientos o cojinetes visibles en las figuras 3A y 3B, alrededor de un elemento superior 52 de árbol vertical de guiado de eje A, estando fijado el elemento superior 52 de árbol sobre la cara interna superior del carenado superior 42. Los brazos inferiores 36 están conectados a un cubo inferior 54 por medio de un disco 55 perforado y fijado al cubo 54. El cubo inferior 54 está montado de forma giratoria, por medio de rodamientos o cojinetes no visibles en estas figuras, alrededor de un elemento inferior 56 de árbol vertical de guiado de eje A, estando fijado el elemento 56 de árbol en la cara interna inferior del carenado inferior 42.
- 15 Los brazos 34, 36 y los codos 38, 40 tienen una forma perfilada, que puede ser diferente de la de las partes centrales 33 de las palas 32 para soportar el aumento de las tensiones de cizalladura ejercidas allí. El grosor máximo de la sección recta de los brazos 34, 36 de cada pala 32 puede ser mayor que el grosor máximo de la sección recta de la parte central 33 de la pala 32, por ejemplo, mayor o igual al doble del grosor máximo de la sección recta de la parte central 33 de la pala 32.
- 20 Según un modo de realización, el perfil de cada porción acodada 38, 40 garantiza una transición monótona de las características del perfil de la porción central de pala a la que la porción acodada está unida a las características del perfil del brazo al que está unida la porción acodada.
- 25 Cada pala 32 puede estar hecha de material compuesto usando fibras de carbono. En vista de la uniformidad de los esfuerzos sufridos en lo que se refiere a la parte central, se puede desarrollar la fabricación de palas en paneles idénticos a lo largo de dicha parte. Una fabricación de paneles también se puede emprender para los brazos superiores e inferiores, siendo los codos superiores e inferiores igualmente fabricados por separado. Estos paneles se pueden conectar a continuación in situ con sistemas de fundas claves para reconstituir la pala, reduciendo los costos de logística y de instalación. Finalmente, los paneles rectos de las palas se pueden fabricar a bajo costo siguiendo el proceso de pultrusión.
- 30 La turbina 24 que se acaba de describir representada a la derecha en la figura 1 está unida a los carenados MMESS inferior y superior. La descripción, siempre y cuando se limite a la geometría misma de las palas de la turbina, podría ser la misma de las palas de una turbina unida a los carenados HMESS correspondientes a otro modo de realización como se ha descrito en la figura 4 y todas las características de las palas de esta turbina enunciadas anteriormente siguen siendo válidas.
- 35 Según un modo de realización, en la parte superior de cada turbina 24, los brazos superiores 34 y los codos 38 están alojados en el seno de un alojamiento 46 previsto en el carenado superior MESS 42 de revolución. En la base de cada turbina 24, los brazos 36 y los codos 40 están alojados en el seno de un alojamiento 48 previsto en el carenado inferior 44 de revolución.
- 40 Cada carenado MMESS 42, 44 comprende un tubo 70 que discurre a lo largo de la periferia de una placa 71 sustancialmente plana. El tubo 70 está unido al tubo estructural 64 que se une aguas arriba a la columna central 28 y al tubo estructural 64 que se une aguas abajo al montante 30 estabilizador vertical. Cada carenado 42, 44 también comprende un conjunto de ranuras 72 de refuerzo que irradian desde una pieza cilíndrica 73 de eje A, siendo solidaria la parte cilíndrica, las ranuras 72 y el tubo 70 de la placa 71.
- 45 Según un modo de realización, el carenado 42 MMESS superior de la turbina 24 de eje A comprende además un capó circular 58 de eje A que cubre el alojamiento 46 y que está fijado sin posibilidad de rotación en el extremo inferior del elemento superior 52 de árbol vertical de guiado. Una abertura anular, no visible en la figura 1, cuyo ancho e es de tres a cinco grosores de las partes centrales 33 de las palas 32 y el radio igual a D/2, está previsto entre la periferia del alojamiento 46 y el capó 58 para permitir en el extremo superior de la parte central 33 de cada pala 32 penetrar en el alojamiento 46 y se conecte al cubo superior 50 a través del codo 38 y del brazo 34. El diámetro Dp del capó 58 es igual a D-e.
- 50 El carenado inferior MMESS 44 de la turbina 24 de eje A comprende además un capó circular 60 de eje A que cubre el alojamiento 48 y que se fija sin posibilidad de rotación en el extremo superior del elemento inferior 56 de árbol vertical de guiado. Una abertura anular 62, visible en la figura 1, cuyo ancho e es de tres a cinco veces el grosor de las partes centrales 33 de las palas 32 y el radio igual a D/2, está prevista entre la periferia del alojamiento 48 y el capó 60 para permitir que el extremo inferior de la parte central 33 de cada pala 32 penetre en el alojamiento 48 y se conecte al cubo inferior 50 a través del codo 38 y del brazo 34. El diámetro Dp del capó 60 es igual a D-e.
- 55 La turbina 24 de eje A se despliega así según este eje en tres zonas: una zona media entre los dos carenados superior e inferior 42, 44 en la que las partes centrales 33 de las palas 32, que están situadas en un cilindro de diámetro D, están sometidas al viento incidente y son motrices y dos zonas en los carenados superior e inferior 42, 44 que encierran los

brazos 34, 36, así como los cubos 50, 54. En estas dos últimas zonas, los brazos 34, 36 sufren arrastres de perfiles y no tienen efecto motor sobre el funcionamiento de la turbina 24. Sin embargo, estos arrastres en estos componentes resultan únicamente de un movimiento rotacional puro en este espacio cerrado porque dichos componentes escapan del componente del flujo asociado con el viento incidente lo que aumentaría la resistencia en ausencia de los carenados MMESS 42, 44. Esta proposición es en la medida en que los brazos horizontales 34 están suficientemente distantes de las caras superior e inferior de cada carenado superior 42 e inferior. Además, el carenado superior MMESS 42 provisto su capó 58 y el carenado inferior MMESS 44 provisto con su capó 60 desempeñan, para cada pala 32 y en cada posición angular de la pala 32 durante una revolución, el papel que desempeñaría dos aletas grandes de extremidad (en inglés winglets) rectas en los extremos de un ala de un avión, y reduce las resistencias aerodinámicas al final del ala a medida que ocurren en las turbinas Darrieus en forma de H o helicoidales.

Según otro modo de realización, puede ser ventajoso que el valor del diámetro del capó 58, 60 sea menor sin embargo que D-e por razones estructurales, permaneciendo estable la realización de un capó 58, 60 de grandes dimensiones, en funcionamiento para los aerogeneradores de gran tamaño, que pueden ser delicados. Una fracción, digamos hasta la mitad de los codos puede ser descubierta sin aumentar las resistencias aerodinámicas de interferencia. La ventaja es reducir el diámetro de los carenados MMESS inferior y superior y de los capós asociados.

La columna garantiza finalmente cuatro funciones aerodinámicas:

(i) La cara delantera redondeada de la columna 28 enmascara el movimiento contra el viento de las palas 32, zona en la que se encuentran frenadas y, por ello, mejora su rendimiento.

(ii) La columna por su presencia hace asimétrico el flujo global alrededor de cada turbina con respecto a un plano paralelo al flujo incidente y que pasa por el eje de rotación. Sin embargo, la simetría de este flujo para una turbina vertical en un medio infinito al menos en el arranque es el origen de los arranques difíciles, al quedar las palas inmovilizadas en posiciones angulares simétricas dadas.

(iii) Se ha mostrado cómo el posicionamiento y la geometría de esta columna contribuyen de varias maneras a la estabilización del aerogenerador frente al viento, por lo tanto, a su control de guiñada, particularmente como se mencionará durante la utilización de carenados MMESS.

(iv) También se ha mencionado que las palas 32 de la turbina de eje A son mantenidas por un enlace de pivote entre los carenados MMESS superior e inferior 42, 44 soportados a su vez por la columna central 28 de mantenimiento. La figura 2 permite precisar este punto al mostrar cómo las palas pivotan independientemente alrededor de los elementos de árbol superior 52 e inferior 56 y permiten que cada turbina 24 funcione sin árbol. La ausencia de árbol central que, en última instancia, resulta de la función de mantenimiento proporcionada por la columna central 28 también evita que los vórtices, en particular las liberaciones de vórtices Karman, perturben las palas 32 durante su paso a través del semi-disco aguas abajo durante su rotación alrededor del eje A. Además, la frecuencia de estos sistemas (parámetro sin dimensiones por  $V_i/a$ , donde a es el diámetro del árbol, y denominada entonces frecuencia de Strouhal), plantearía problemas ya que, al aumentar  $V_i$ , se aproxima a la frecuencia natural de un mástil. Por lo tanto, estos problemas se eliminan aquí.

Cada carenado MMESS 42, 44 también puede desempeñar un papel de ala con una contribución de momento de paso descendente.

Además, a través de los tubos estructurales 64 circulan todos los circuitos eléctricos para controlar/comandar órganos en el cárter del generador, como el freno de disco, el cable eléctrico para evacuar la energía recogida, y una posibilidad de acceso para los agentes de mantenimiento en el seno de los carenados por vías de acceso específicas (no representadas) fuera de los carenados. Se puede instalar un armario de control que gestiona las funciones del aerogenerador mediante diversos dispositivos eléctricos y autómatas programables al pie de la columna central 28 y/o al pie del mástil 18.

Según un modo de realización, para cada pala 32, una línea de tracción diagonal 66 anti-flexión une una pieza anular 67 montada de manera pivotante por un rodamiento o cojinete específico alrededor del extremo inferior del elemento superior 52 de árbol vertical de guiado a la pala 32 a una altura ubicada en la mitad superior de la misma y una línea diagonal de tracción anti-flexión (no representada) conecta una pieza anular montada de manera pivotante por un rodamiento o cojinete específico alrededor del extremo superior del elemento inferior 56 de árbol vertical de guiado, a la pala 32 a una altura situada en la mitad superior de la misma. La línea de tracción 66 puede corresponder a un cable, una cuerda, una cadena, un perfil, etc. Estas dos líneas, distribuidas convenientemente sobre la porción central 33 para uniformizar la deformación de la pala en una dirección radial, permiten luchar, por un lado, contra las fuerzas centrífugas que son predominantes frente a las fuerzas aerodinámicas (elevación y arrastre) en operación nominal y la línea superior, por otro lado, para mantener la horizontalidad de los brazos 34, 36 de la turbina 24 de eje A, que tiende a colapsarse con cada inmovilización de la turbina bajo la influencia de la gravedad.

Finalmente, para cada turbina 24, unos montantes laterales 68 verticales externos perfilados conectan ventajosamente los carenados MMESS 42, 44 de la turbina 24 en el lado de la turbina 24 opuesto al plano medio.

La columna central 28, el estabilizador 30 vertical, los montantes laterales 68 y los carenados 42, 44 pueden estar hechos de materiales utilizados en aeronáutica para la fabricación de alas, por ejemplo, materiales compuestos.

Las figuras 3A y 3B son vistas ampliadas en corte, parciales y esquemáticas, respectivamente, de la parte alta y de la parte baja de un aerogenerador flotante 10 con carenados MMESS de una de las turbinas 24 representadas en la figura 1.

5 Como se muestra en la figura 3A, el carenado superior 42 contiene un enlace de pivote 74 que une el cubo superior 50 al elemento superior 52 de árbol. Por ejemplo, el enlace de pivote 74 está formado por rodamientos.

10 Como se muestra en la figura 3B, el carenado inferior 44 contiene un enlace de pivote 76 que une el cubo inferior 54 al elemento inferior 56 de árbol. A modo de ejemplo, el enlace de pivote 76 está formado por rodamientos. El carenado inferior 44 contiene, además, el generador 80 que evacúa la potencia mecánica suministrada por la turbina 24. Según un modo de realización, el generador 80 es un generador síncrono con imanes permanentes con ataque directo. El estator 82 del generador 80 comprende un devanado 84 dispuesto sobre un soporte 86 colocado en un recinto 88 delimitado por la placa 71, la parte cilíndrica 73 y el disco 55. El rotor 90 del generador 80 comprende una pieza cilíndrica 92 de eje A fijada al disco 55 solidario del cubo 54 y equipado con imanes permanentes 94 que se colocan opuestos al devanado 84. El rotor 90 puede, además, incluir nervios 95 de refuerzo. El flujo intercambiado entre el rotor 90 y el estator 82 es por lo tanto radial. El generador 80 síncrono con imanes permanentes de ataque directo tiene la ventaja de poder operar a 15 velocidad variable, de no requerir un multiplicador que sería voluminoso en el carenado inferior 44 aumentando su grosor y de presentar una potencia de masa elevada. El generador 80 debe estar equipado con un freno de disco 96 que comprende un disco 97 solidario del rotor 55 y un estribo 98 fijado al carenado inferior 44.

20 La figura 4 es una vista en perspectiva, parcial y esquemática, de un modo de realización de un aerogenerador flotante 120 con carenados HMESS superiores 126 e inferiores 128. El aerogenerador flotante 120 comprende todos los elementos del aerogenerador flotante 10 representado en la figura 1, con la diferencia de que para cada turbina 24, el carenado MMESS superior 42 o inferior 44 es reemplazado por una estructura de soporte superior 126 o inferior 128 de volumen reducido conocido como carenado HMESS. Además, el montante 30 estabilizador vertical no está presente.

25 Cada carenado HMESS, superior o inferior 126, 128, incluye un semiala (recta, en flecha, trapezoidal, elíptica...) unida a la columna 28, y en cuyo extremo está prevista una conexión pivotante (no visible) para las turbinas 24. Los carenados HMESS superior e inferior 126, 128 comprenden elementos de árbol superior e inferior respectivamente (no visibles). Unos cubos superiores 50 e inferior 54 (parcialmente visibles) están montados giratorios, por medio de rodamientos o cojinetes no visibles en esta figura, en dichos elementos de árbol superior e inferior respectivamente, quedando una abertura circular para las prolongaciones en el exterior de los carenados HMESS de dichos cubos. Unos discos externos superior 51 e inferior 55, fijados en las partes externas de dichos cubos 50, 54, son arrastrados por los brazos 34 y 36 de 30 las palas 32 de la turbina, de los cuales son solidarios.

35 En este modo de realización, los carenados HMESS inferior y superior 126, 128 garantizan ciertas funciones comunes (y extraen de ellas las ventajas subsiguientes) con las de los carenados MMESS representados en las figuras 2A y 2B. En primer lugar, la función de soporte es garantizada parcialmente por tubos anulares estructurales alargados (no representados) dependiendo de la envergadura de cada semiala, en la proximidad del borde de ataque y unidos a la columna central. La función de soporte se garantiza a continuación por medios tradicionales (no representados) utilizados en las alas de los aviones: largueros paralelos a estos tubos, nervios y cables internos.

40 A los cables internos se les pueden añadir, para el carenado superior 126, cables externos de un sistema de protección 130, como se ha representado en la figura 4, que se unen por encima de las barras verticales en la parte superior de la columna 28 a los elementos de árbol de las semialas y, para el carenado inferior 128, barras externas 132 de soporte que se unen por debajo de la columna 28 a los elementos de árbol de las semialas.

45 Así, en lo que se refiere a los carenados HMESS inferior y superior, los tubos anulares estructurales ofrecen una posibilidad de acceso para los agentes de mantenimiento a los órganos de transmisión de potencia mecánica producida por las palas en el seno y fuera de los carenados. Finalmente, en lo que se refiere solo a los carenados HMESS inferiores, dichos tubos dan, además a dichos agentes de mantenimiento, un acceso a los circuitos eléctricos de control/comando de los órganos en el cárter del generador como en el freno de disco, al cable eléctrico de evacuación de la potencia recogida.

Finalmente, no hay necesidad de árbol de transmisión con las ventajas estructurales y aerodinámicas compartidas con los carenados MMESS.

50 Los carenados HMESS, para los cuales los codos 38, 40 y los brazos 34, 36 de las palas 32 permanecen externos a los carenados, dejan a la propia forma de las palas 32 la función de reducir las resistencias aerodinámicas parásitas. Los brazos 34, 36 que ya no están enmascarados pueden sufrir una resistencia aerodinámica más intensa que con un carenado MMESS. Por el contrario, el conjunto formado por un codo 38, 40 en el extremo de la parte activa 33 de una pala 32 que se prolonga por un brazo 34, 36 perpendicular al eje A superior e inferior puede ser asimilado a su vez a una aleta marginal (winglet) de superficie más pequeña que la de un carenado MMESS. El arrastre de interferencia también 55 se puede reducir con los carenados HMESS jugando con el radio de curvatura del codo 38, 40. La ausencia de árbol central también evita que los vórtices, en particular la liberación de vórtices de Karman, vengán a perturbar las palas 32 durante su paso a través del semi-disco aguas abajo en el curso de su rotación alrededor del eje A. En conclusión, las ventajas en términos de la reducción de los arrastres parásitos obtenidos en presencia de los carenados HMESS y de los

carenados MMESS siguen siendo en general fuertes y comparables.

Estas ventajas tienen un impacto significativo en las potencias suministradas por las turbinas 24 soportadas por estos dos tipos de carenados provistos de estructura de soporte. En efecto, resulta posible, gracias a la arquitectura general del aerogenerador común a los dos tipos de carenados, mantener las turbinas por sus extremos alto y bajo, sin invadir su zona de revolución, siendo la columna común 28 de soporte de los carenados exterior a estas zonas y, por lo tanto, combinar ventajosamente las características de las dos variantes principales de los VAWT que funcionan según el principio de las fuerzas de elevación. En las turbinas Darrieus se obtiene su rendimiento como resultado de una solidez S reducida y de su parámetro de avance óptimo  $\lambda$ , alto y en las turbinas H se obtiene un par maestro mucho más alto que el de las turbinas Darrieus para una altura dada, proveniente de su forma rectangular mantenida en particular por líneas de tracción.

Según un modo de realización, para combatir las fuerzas centrífugas y gravitatorias, siempre es posible usar, como en la figura 1, una línea de tracción diagonal 66 anti-flexión (no representada en esta figura 4) que une una pieza anular similar a la pieza 67 mostrada en la figura 2, pero fijada alrededor del centro del disco externo superior 51 a la pala 32 en un punto de unión situado en la mitad superior de la pala. Ventajosamente, una segunda línea diagonal de tracción (no representada) puede unir una pieza anular fijada alrededor del centro del disco inferior externo 55 a la pala 32 en un punto de unión situado en la mitad inferior de la pala 32. Cabe señalar que los carenados HMESS ofrecen un método de unión sobre el enlace de pivote diferente del descrito anteriormente para los carenados MMESS. Para estos últimos, dado que el disco era interno, era por tanto necesario introducir un rodamiento adicional alrededor del elemento externo único, soportando el capó, el extremo inferior del elemento superior 52 de árbol vertical fijo.

Según un modo de realización, para combatir solo contra las fuerzas centrífugas, también es posible introducir líneas de tracción anti-flexión, uniendo un punto situado en la proximidad del medio de las palas 32 a un punto situado sobre el eje de rotación, en un plano horizontal. Para una turbina con dos palas, tal como se representa en la figura 4, estas líneas de flexión se reducen a una sola línea. Inversamente, esta solución se puede utilizar en presencia de carenados MMESS.

Según un modo de realización, cada línea de tracción 68 o cada línea de tracción 66 de la figura 1, con su complemento en la mitad inferior de la pala 32, puede comprender un cable recubierto con un manguito perfilado, extendiéndose el manguito sustancialmente en toda la longitud del cable excepto de las zonas en las que el cable está en contacto con las palas 32. El manguito puede estar hecho de polímero. Puede tener la forma de un perfil simétrico.

No es necesario un control de guiñada en el modo de realización en donde está previsto un sistema de unión en la parte superior del mástil 18 descrito anteriormente. Las resultantes de las fuerzas normales ejercidas por cada turbina 24 sobre los enlaces de pivote llevados por los carenados-HMESS 126, 128, se equilibran al igual que los momentos que crean en O. El posicionamiento de los ejes A y A' aguas abajo del eje de rotación O tiende a estabilizar el aerogenerador en todo momento frente al viento, sin ponerlo a girar. La columna 28 alargada ventajosamente en los aerogeneradores 120 con carenados HMESS, que alcanzan, por ejemplo, la mitad del diámetro de una turbina acentúa aún más esta estabilización frente al viento. En efecto, la acción del viento que se ejerce sobre la superficie lateral de la columna que se encuentra (i) más expuesta al viento (ii) y está dispuesta principalmente aguas abajo del eje O de la columna 28, juega un papel de estabilizador. Por una tercera razón, la turbina 24, que está más expuesta al viento, enmascara conjuntamente, con la columna 28, la turbina 24, menos expuesta. El arrastre global ejercido por el viento sobre la primera turbina 24 es mayor que el arrastre global sobre la segunda turbina 24 y el par estimado resultante al pie de la columna 28 también es un par de enderezado.

En el modo de realización donde no está previsto dicho sistema de unión en la parte superior del mástil 18, el soporte flotante de plataforma 14 mostrado en la figura 1 está sujeto a este momento aerodinámico de enderezado que se añade al de las catenarias que controlan este soporte flotante en guiñada y contribuyen a mantener el eje de simetría de la turbomáquina 12 paralelo a la dirección del viento en funcionamiento normal.

Según el modo de realización mostrado en la figura 4, la turbina está provista de dos palas. Esta opción es muy favorable para estabilizar la turbina después de una parada de emergencia: esto requiere bloquear las dos turbinas en una configuración angular en la que sus dos palas permanezcan en un plano que contenga los ejes de rotación de las palas de las turbinas, configuración para la cual las fuerzas motrices son mínimas, incluso negativas.

Se han descrito anteriormente diversos modos de realización con diversas variantes. Se tendrá en cuenta que el experto en la técnica podrá combinar varios elementos de estos diversos modos de realización y variantes sin demostrar actividad de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Aerogenerador flotante (10) que comprende una plataforma 14 flotante y una turbomáquina (12) que descansa sobre la plataforma, comprendiendo la turbomáquina:
- 5 - una primera y segunda turbinas (24) con eje vertical dispuestas simétricamente con respecto a un primer plano, comprendiendo cada turbina un número N de palas (32) igual o superior a 2 que comprenden partes centrales (33) y brazos perfilados (34, 36), estando contenidos los ejes (A, A') de rotación de las palas de las turbinas en un segundo plano perpendicular al primer plano, describiendo las partes centrales de las palas en rotación cilindros alrededor de los ejes (A, A'), y prolongándose en los extremos por los brazos, estando los brazos, además, unidos a elementos de árbol (52, 56) mediante enlaces de pivote (74, 76), siendo los brazos (34, 36) perpendiculares a los ejes de rotación (A, A') de las palas (32), estando unida la parte central (33) de cada pala (32) a cada brazo (34, 36) mediante una porción acodada perfilada (38, 40), en el que, para cada pala (32), la altura de la parte central (33) de la pala medida paralelamente al eje de rotación (A, A') de la pala, es mayor o igual a 2/3 de la altura, medida paralelamente al eje de rotación (A, A') de la pala, entre los dos brazos (34, 36) unidos a la parte central de la pala y en el que cada turbina está soportada por dos carenados horizontales superior e inferior (42, 44; 126, 128) provistos de estructura de soporte y no comprende árbol que 15 una solidariamente los elementos de árbol; y
  - una estructura de mantenimiento de las turbinas compuesta que comprende dichos carenados horizontales superior e inferior provistos de estructuras de soporte, unidas a una columna (28) central vertical entre las turbinas.
2. Aerogenerador flotante según la reivindicación 1, en el que el radio de curvatura de cada porción acodada (38, 40) se desvía en cualquier punto en menos del 5% de un radio de un cuarto de círculo.
- 20 3. Aerogenerador flotante según la reivindicación 1 o 2, en el que el perfil de cada porción acodada (38, 40) garantiza una transición monótonica de las características del perfil de la parte central de la pala a la que la porción acodada está unida a las características del perfil del brazo al que está unida la porción acodada.
- 25 4. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los carenados horizontales superior e inferior de cada turbina están unidos a una columna central vertical entre las turbinas de sección sustancialmente triangular y simétrica con respecto al plano medio, con una superficie aguas arriba. con respecto a la dirección del viento en arco de círculo y dos caras laterales planas o cóncavas que se unen aguas abajo hacia una línea de fuga contenida en el plano medio. Esta columna en su parte de aguas arriba está conectada al soporte flotante por un mástil, sustancialmente cilíndrico, de eje O colocado aguas arriba del segundo plano que contiene los ejes de rotación de las palas de las turbinas.
- 30 5. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que cada turbina (24) comprende una línea de tracción diagonal (66) que une cada pala (32), desde un punto situado en la mitad superior de la pala, a un componente del enlace de pivote superior de la turbina y una segunda línea de tracción diagonal que une cada pala (32), desde un punto ubicado en la mitad inferior de la pala, a un componente giratorio del enlace de pivote inferior de las turbinas.
- 35 6. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que cada turbina (24) comprende una línea de tracción horizontal que une cada pala (32) de la turbina a las otras palas de la turbina a través de un nodo común colocado en el eje de rotación de la turbina a una altura ubicada en las proximidades de la mitad de la pala.
- 40 7. Aerogenerador flotante según la reivindicación 5 o 6, en la que cada línea de tracción está recubierta con un manguito perfilado, extendiéndose el manguito sustancialmente a lo largo de toda la línea de tracción, excepto en las zonas donde la línea de tracción está en contacto con las palas (32).
8. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las partes centrales de las palas (32) describen en rotación cilindros de diámetro D que son de solidez  $S = 2Nc/D$  menor de 0,2, siendo c la cuerda de los perfiles de las palas.
- 45 9. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la columna (28) se prolonga por una porción cilíndrica de eje O que desempeña el papel de la parte macho del enlace de pivote y que penetra en una abertura cilíndrica de eje O provista en un mástil (18) y que desempeña el papel de la parte hembra de un enlace de pivote por la cual la turbomáquina (12) está adaptada para pivotar con relación a la plataforma flotante (14).
- 50 10. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que cada carenado horizontal (42, 44; 126, 128) provisto de una estructura de soporte, superior e inferior, está formado por una semiala en el extremo. y en el seno de la cual está previsto un enlace de pivote que comprende un elemento de árbol fijo, un cubo giratorio (50, 54) que se prolonga fuera de la semiala y al cual vienen a unirse externamente por un disco (51, 55) los brazos (34, 36) de las palas (32) de la turbina (24).
- 55 11. Aerogenerador flotante según la reivindicación 10, en el que la estructura de soporte de cada carenado (42, 44; 126, 128) comprende largueros, nervios y cables internos al carenado y un tubo estructural anular alargado de acuerdo con la envergadura de cada semiala, en la proximidad del borde de ataque y unido a la columna (28).

- 5 12. Aerogenerador flotante según la reivindicación 11, que comprende, para el carenado superior, líneas de tracción externas de un sistema de tirantes que unen soportes en la parte superior de la columna a los elementos del eje de las medias alas y para el carenado inferior de las barras de soporte externas. que conectan la columna a los elementos de árbol de las semialas y para el carenado inferior de las barras externas de soporte que unen la columna a los elementos de árbol de las semialas.
13. Aerogenerador flotante según la reivindicación 11 o 12, en el que el tubo estructural anular está adaptado al paso de un agente de mantenimiento.
- 10 14. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que cada carenado horizontal superior e inferior (42, 44; 126, 128), provisto de una estructura de soporte, está formado por un elipsoide aplanado de revolución que aloja y enmascara. al viento, un enlace de pivote en su centro, que comprende un elemento de árbol fijo (52, 56) fijado dentro del carenado, un cubo (50, 54) que gira alrededor de dicho elemento de árbol, los brazos (34, 36) palas (32) de la turbina (24) conectados a un disco giratorio (51, 55) solidario del cubo giratorio y una fracción, que varía entre la mitad y la totalidad, de las porciones acodadas (38, 40) de las palas de la turbina.
- 15 15. Aerogenerador flotante según la reivindicación 14, en el que cada carenado (42, 44) de la turbina comprende un alojamiento (46, 48) parcialmente cerrado por un capó (58, 60) fijado al elemento de árbol (52, 56) del carenado, quedando una abertura anular (62) entre la periferia del capó y el resto del carenado para el paso de las palas (32) de la turbina.
16. Aerogenerador según la reivindicación 14 o 15, en el que la estructura (26) de retención comprende un montante (30) estabilizador vertical en el primer plano medio aguas abajo del segundo plano con respecto a la dirección del viento.
- 20 17. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, en el que la estructura de soporte de cada carenado (42, 44) comprende un tubo anular (70) unido por un primer tubo estructural (64) a la columna central (28) y por un segundo tubo estructural (64) al montante (30) estabilizador vertical.
18. Aerogenerador flotante según la reivindicación 17, en el que el primer tubo estructural (64) está adaptado al paso de un agente de mantenimiento.
- 25 19. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que cada turbina (24) comprende un generador eléctrico (80) accionado por las palas (32) de la turbina alojado en o debajo del carenado horizontal inferior provisto de su estructura de soporte.
20. Aerogenerador flotante según la reivindicación 19, en el que el generador (80) es un generador síncrono con imanes permanentes de ataque directo.
- 30 21. Un aerogenerador flotante según la reivindicación 19 o 20, en el que el generador (80) comprende un freno de disco (96).
22. Aerogenerador flotante según la reivindicación 19 en su relación con la reivindicación 17, en el que los cables para evacuar la electricidad producida por el generador (80) y/o para controlar y/o mandar el generador (80) y/o los frenos de disco están dispuestos en los tubos estructurales (64).
- 35 23. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 22, en el que cada pala (32) está hecha de material compuesto usando fibras de carbono.
24. Aerogenerador flotante según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 23, en el que cada pala (32) se fabrica en paneles a lo largo de la parte central, fabricándose los brazos superiores e inferiores, los codos superiores e inferiores por separado.
- 40 25. Aerogenerador flotante según la reivindicación 24, en el que estos paneles se conectan a continuación in situ para reconstruir el ala.

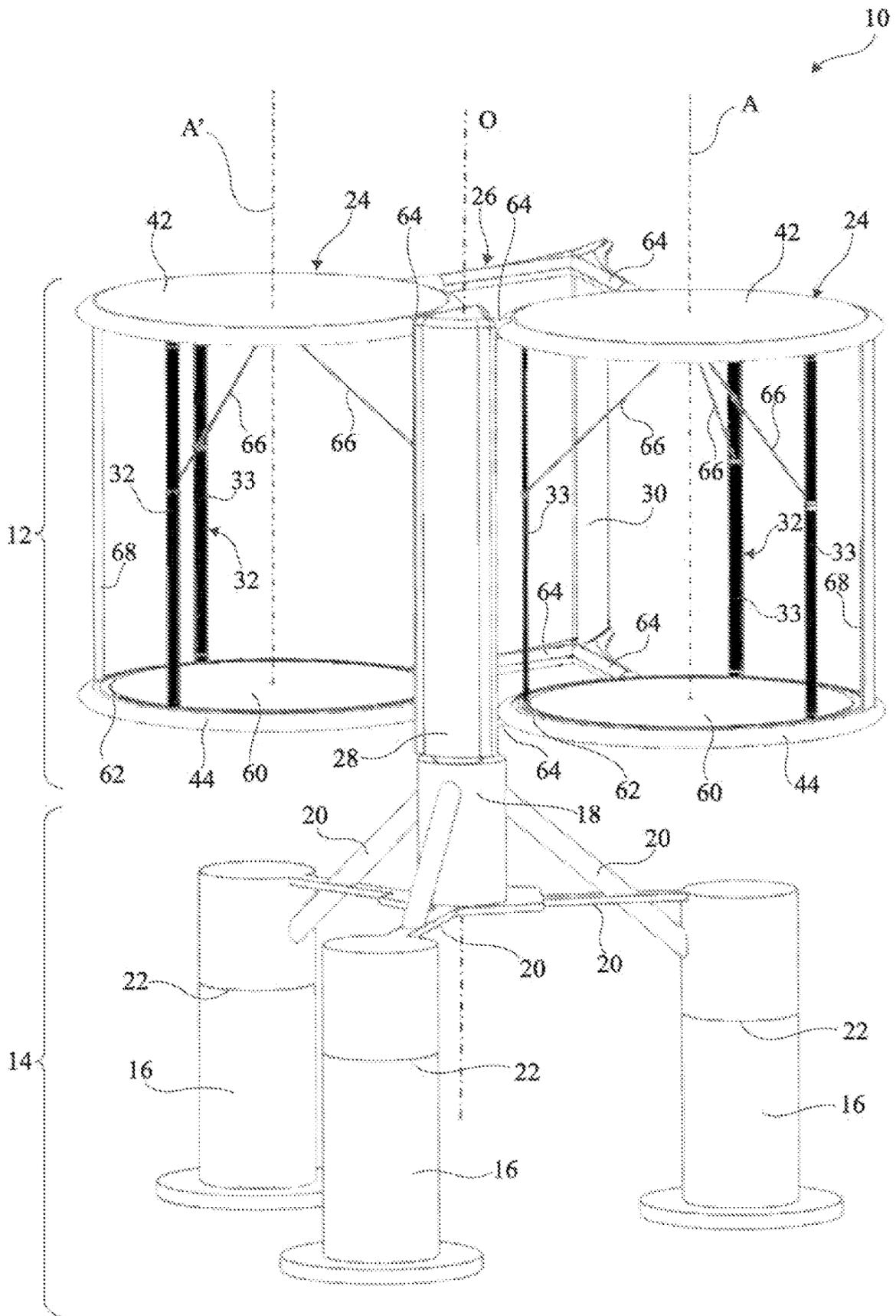


Fig 1



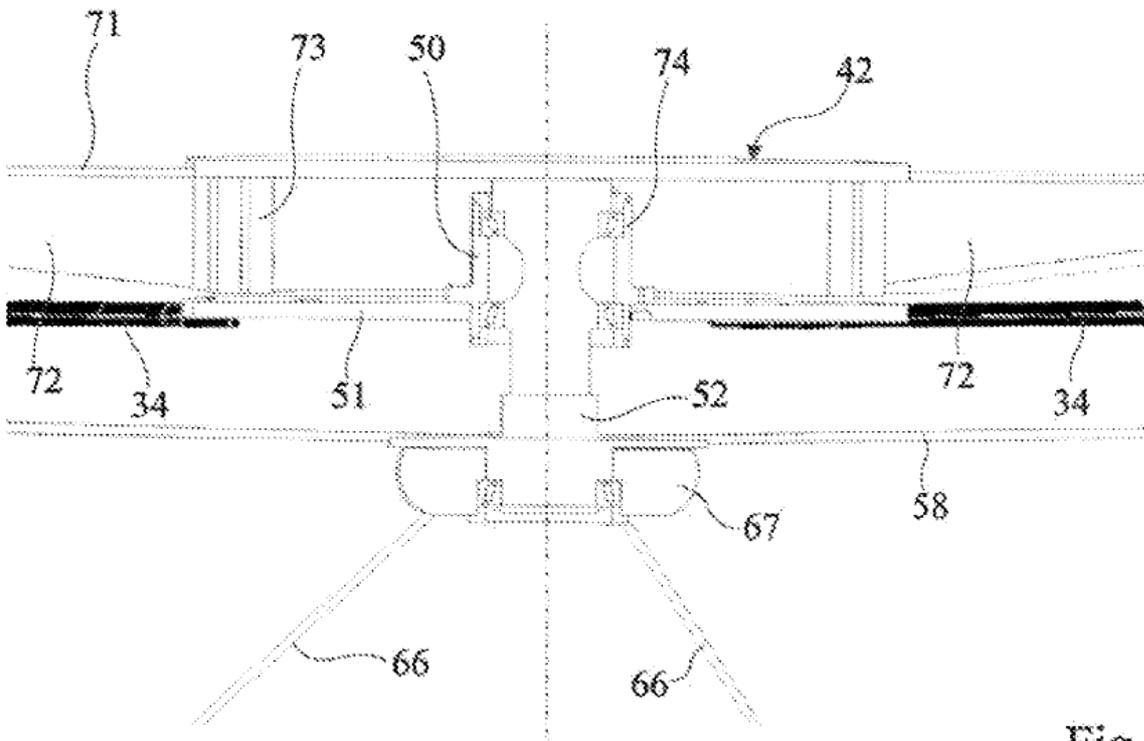


Fig 3A

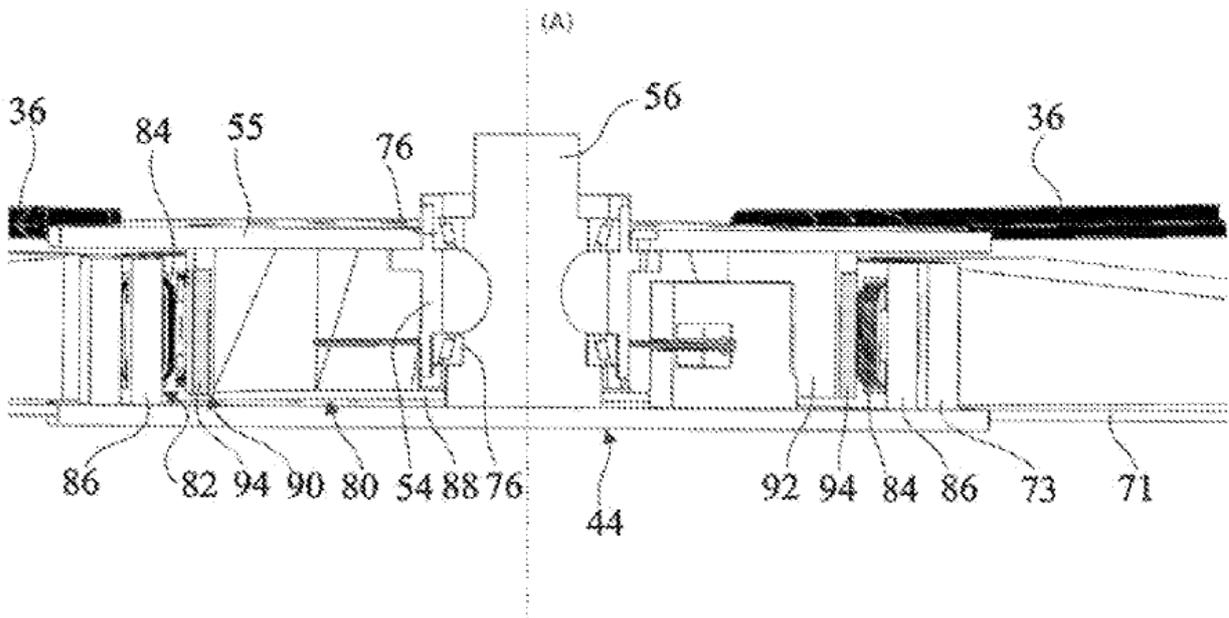


Fig 3B

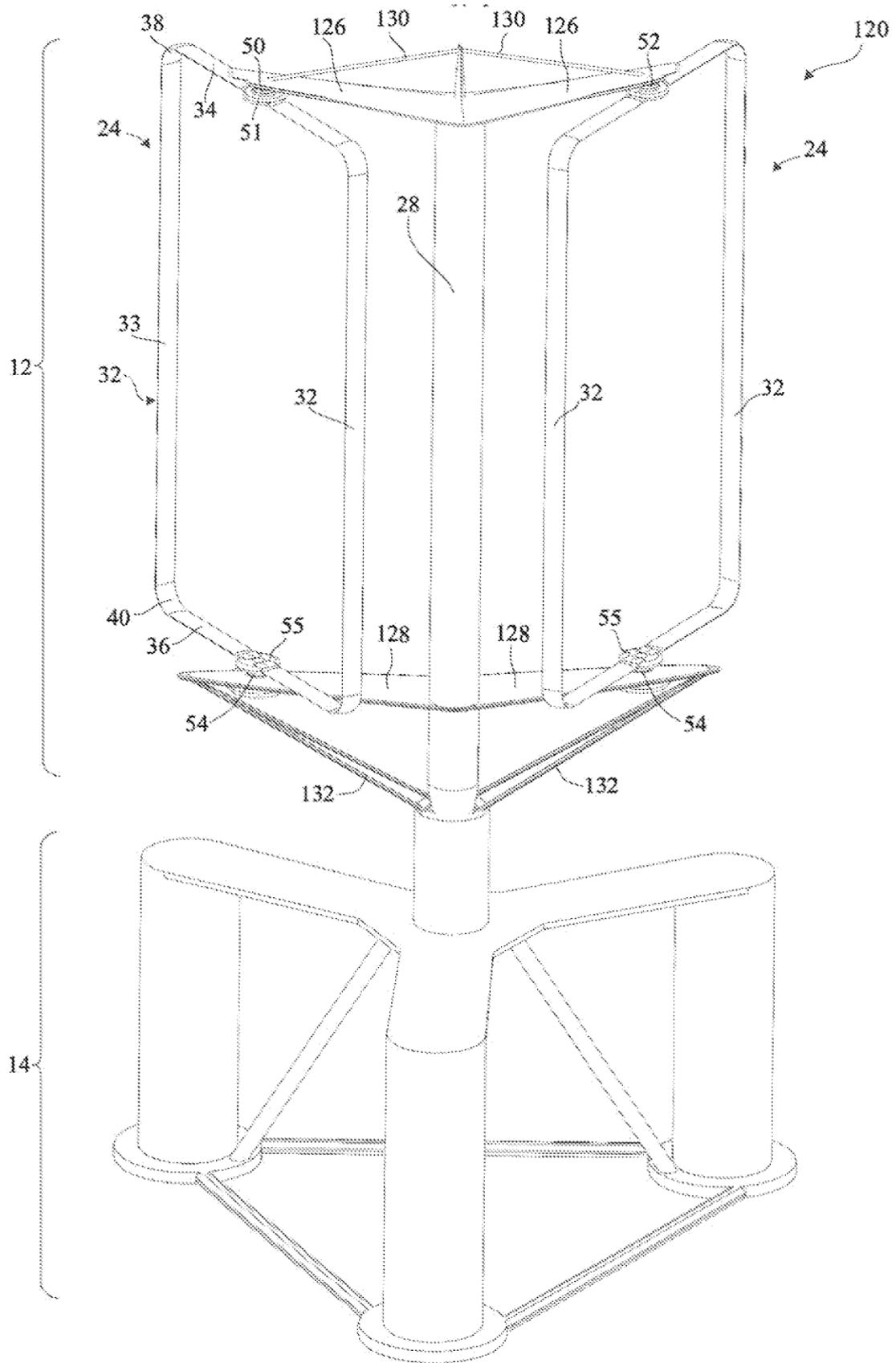


Fig 4