(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 977 128**

(51) Int. CI.:

F03D 13/25 (2006.01)
B63B 35/44 (2006.01)
B63B 1/12 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.12.2018 PCT/ES2018/070839**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2020 WO20136288**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2018 E 18944917 (6)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2024 EP 3904674**

(54) Título: **Plataforma flotante para aerogeneradores de gran potencia**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.08.2024

(73) Titular/es:

DRAGADOS, S.A. (50.0%)
Avda. Camino de Santiago 50D
28050 Madrid, ES y
FHECOR INGENIEROS CONSULTORES, S.A. (50.0%)

(72) Inventor/es:

VAZQUEZ ROMERO, MIGUEL;
GONZALEZ PATIÑO, NOELIA;
MARTIN DIAZ, ELENA;
PEREZ CALDENTEY, ALEJANDRO;
ORTOLANO GONZALEZ, JOSÉ MARÍA;
GUANCHE GARCIA, RAÚL;
AYLLON MARTINEZ, VICTOR;
BALLESTER MUÑOZ, FRANCISCO;
RICO ARENAL, JOKIN;
CEREZO LAZA, MARCOS y
LOSADA RODRÍGUEZ, IÑIGO JAVIER

(74) Agente/Representante:

URÍZAR VILLATE, Ignacio

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

Plataforma flotante para aerogeneradores de gran potencia

Sector de la técnica

La presente invención pertenece al sector de las estructuras en mar abierto (offshore) y, en particular, al de las estructuras flotantes de tipología semi-sumergible para servir como soporte a aerogeneradores marinos.

Pertenece por tanto a los campos de construcción offshore y naval.

Estado de la técnica

El campo de la eólica offshore parte de la técnica desarrollada en el sector de la industria del petróleo y gas, adaptando los diseños y requisitos de prestaciones a las particularidades de esta fuente de energía renovable.

De manera general, la eólica marina distingue tres tipologías diferentes en función del tipo de cimentación o de condiciones de sustentación del aerogenerador:

- Cimentaciones profundas, que son cimentaciones metálicas conformadas por uno o varios pilotes, que se hincan en el terreno natural para una adecuada transmisión al mismo de las cargas producidas por la estructura.
- Cimentaciones de gravedad, en las que las cargas de la estructura se transmiten al terreno natural a nivel de superficie a partir de una estructura monolítica.
- Cimentaciones flotantes, constituidas por plataformas flotantes que dan sustento al aerogenerador, el cual se encuentra situado a una profundidad tal que hace inviable alguna de las soluciones anteriores. Por lo general esta tipología está asociada a localizaciones muy alejadas de la costa, donde el calado es muy grande (y por tanto mayores son los costes de inversión) pero, por el contrario, el recurso eólico es mayor, pudiendo conseguir producciones de energía eólica suficientes para compensar este hecho.

En los últimos años se viene produciendo el desarrollo de diversas soluciones flotantes para servir de apoyo a las torres y aerogeneradores marinos. Más en concreto, la tipología de cimentaciones (o plataformas) flotantes para aerogeneradores marinos puede dividirse en los siguientes subtipos básicos:

a) Plataforma Semi sumergible
b) Plataforma tipo SPAR (Single Point Anchor Reservoir)
c) Plataforma tipo TLP (Tension Leg Plaform)
d) Plataforma tipo SWAY (híbrido entre una SPAR y una TLP)

Una de las características de todas ellas es la importancia que adquiere el sistema de fondeo o anclaje, el cual suele ser una parte significativa en el coste de la solución. Se trata de líneas compuestas por elastómeros, tendones, cables de acero, cadenas, anclas, etc., que se diseñan y dimensionan en función de las los esfuerzos que tenga que soportar a partir de las cargas que le transmite el conjunto de la estructura (plataforma, torre y aerogenerador), de las cargas ambientales y de las restricciones de movimientos máximos que se le impongan.

Esta es una de las características fundamentales que distinguen este tipo de cimentaciones flotantes para eólica offshore de las que se emplean en el sector del Oil&Gas, pues en las primeras, además de las cargas debidas al propio peso, oleaje, viento y corrientes, son de una magnitud muy elevada las cargas producidas por el propio aerogenerador durante su funcionamiento: empujes horizontales y momentos torsores originados por el aerogenerador y transmitidas a la estructura flotante a través de la torre que lo sustenta.

Por lo tanto, cada uno de los anteriores subtipos de plataformas flotantes para cimentación de aerogeneradores offshore, resuelven de forma diferente la manera de resistir estas cargas generando unos movimientos que estén siempre dentro de los límites exigidos para la operatividad de las turbinas.

Así, las plataformas tipo SPAR, TLP y SWAY confían gran parte de la estabilidad del sistema al desempeño de las líneas de fondeo, a las cuales se les hace trabajar a elevadas tensiones, con objeto de restringir los movimientos de la torre y turbina.

Por su parte, las plataformas semi-sumergibles presentan una mayor estabilidad naval, derivada del hecho de disponer una mayor capacidad de flotación debido a su mayor desplazamiento. Estas plataformas (que actúan como verdaderos flotadores) requieren de unas líneas de fondeo algo menos exigentes, por lo que su instalación offshore es menos compleja. Sin embargo, presentan el inconveniente de que, al ser de mayor tamaño, requieren mayores volúmenes de materiales para ser construidas, así como de procesos constructivos y de ensamblaje más complejos.

En este sentido, la mayor parte de las plataformas semi-sumergibles para aerogeneradores offshore que refiere el estado actual de la técnica, son estructuras metálicas, en las que plataforma (flotador) está conformado a partir de unos cilindros de eje horizontal o vertical unidos por algún sistema estructural que rigidiza el conjunto.

Sobre la base conceptual anterior y quedando fuera del análisis los otros subtipos (SPAR, TLP, SWAY), entre las plataformas semi-sumergibles para aerogeneradores offshore que refiere el estado actual de la técnica cabe distinguir las plataformas semisumergibles para aplicaciones en mar abierto, entre las que destacamos los documentos ES2387232(B2) y ES2387342(B2) de la Fundación Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, ambas referidas a plataformas semisumergibles: consistentes en una columna central y una pluralidad de columnas exteriores (cuatro o más en el primer caso, y tres en el segundo), unidos siempre por una losa en la zona inferior de los mismos, en la que tanto las columnas como la losa son preferiblemente de hormigón armado. La losa inferior está reforzada por una pluralidad de vigas que conectan la base de cada columna exterior con la base de la columna interior y la base de cada columna exterior con la base de cada columna exterior adyacente.

Además, cada columna dispone de una sección de refuerzo con mayor resistencia a una determinada altura intermedia, así como un conjunto de vigas que unen a dicha altura cada columna exterior con la columna interior y cada columna exterior con cada columna exterior adyacente.

Esta plataforma semi sumergible comprende además un sistema de fondeo formado por varias líneas de fondeo configuradas para ser ancladas a dicha sección de mayor resistencia de cada columna exterior, situada a una altura intermedia de las mismas.

De esta manera, dicha sección de mayor resistencia es imprescindible ya que se trata de la zona de la estructura más solicitada y donde más se concentran los esfuerzos.

En otro aspecto, en los citados documentos, se describe un método de construcción de este tipo de plataforma semi-sumergibles cuando su objeto es servir de apoyo a aerogeneradores marinos. En ese caso las fases constructivas comprenden las etapas de:

- colocación de una base resistente interior y al menos cuatro bases resistentes exteriores sobre la base de un dique flotante
- instalación de un encofrado trepante
- avance de la trepa para ejecución de las columnas hasta alcanzar el nivel de la sección de refuerzo intermedia, de forma que queden construidos un tronco sobre cada base resistente, simultáneamente con cual se va sumergiendo el dique flotante
- instalación de encofrados que tapan las bocas de dichos troncos
- colocación de una pluralidad de vigas de arriostramiento que unen cada tronco exterior con el tronco interior y cada tronco exterior con cada tronco exterior adyacente
- instalación de encofrados verticales para construir la sección de mayor resistencia
- colocación de armaduras de dichas zonas de mayor resistencia
- hormigonado de las mismas y desmontaje de los encofrados
- nueva instalación de los encofrados trepantes sobre las secciones de refuerzo ya construido
- trepado hasta un cierto nivel hasta construir los troncos por encima de las secciones de mayor resistencia, simultáneamente con lo cual se va sumergiendo el dique flotante
- y desmontaje de los encofrados trepantes
- remate de la parte superior de cada tronco
- hundimiento del dique flotante hasta dejar a flote la plataforma
- traslado de la plataforma hasta el muelle de armamento
- postensado vertical de los troncos
- instalación en el muelle de armamento de una torre, una góndola, un rotor de aerogenerador o un equipo auxiliar

De las fases constructivas anteriores se deduce la complejidad en la ejecución de la sección de refuerzo intermedia en cada una de las columnas. Principalmente, este diseño de la plataforma semi-sumergible y el proceso constructivo asociado presenta los siguientes inconvenientes:

- durante la ejecución de los cilindros debe detenerse la trepa a una altura intermedia, retirar dichos encofrados trepantes e instalar un nuevo sistema de encofrados para ejecutar dicha sección de refuerzo. Una vez ejecutada, debe reinstalarse el sistema de trepas inicial para proseguir el alzado de las columnas hasta su altura definitiva.
- la interrupción en el proceso de trepa de las columnas obliga a llevar a cabo tratamientos específicos en las secciones donde ha quedado interrumpida la trepa con objeto de garantizar la estanqueidad de las columnas en fase de servicio, pues estas secciones quedan sumergidas en fase de servicio.
- las vigas de arriostramiento, de hormigón armado, deben ser colocadas desde el muelle de armamento. Debido a sus dimensiones, desde el punto de vista práctico estas vigas deben ser colocadas una a una, requiriendo unos medios de elevación de enorme capacidad, tanto desde tierra como marítimos.

Pero además de los anteriores inconvenientes, el diseño de este sistema de arriostramiento intermedio provoca la aparición de un estado tensional en las columnas que obliga a ejecutar un postensado vertical de todas ellas una vez ha concluido la ejecución de la trepa. Este sistema de postensado, además de encarecer la solución, conlleva importantes dificultades técnicas, derivadas de la altura de las columnas.

Lo anterior se ve agravado por el hecho de que las líneas de fondeo quedan conectadas a los cilindros en estas secciones de refuerzo intermedias, provocando unas flexiones en las columnas que obliga a que el sistema de postensado tenga que ser muy singular y de una capacidad muy elevada.

Así pues, las invenciones citadas ES2387232(B2) y ES2387342(B2) plantean plataformas de hormigón que requieren el postensado vertical de las columnas, una vez ejecutadas. Esta característica supone las siguientes desventajas principales:

- Complejidad constructiva: la ejecución de estos postensados verticales, sobre cilindros de 30 m de altura, es muy singular y compleja:
    - Por una parte, obliga a adaptar el espesor de las paredes de las columnas, que quedará condicionado por la traza que deban seguir las vainas de pretensado y por los recubrimientos necesarios. Esto afectará al peso del conjunto de la plataforma, y a los resultados de calados y estabilidad, los cuales están fuertemente influidos por el peso del conjunto. Igualmente obliga a adoptar mayores calados durante las fases de fabricación, siendo éste un serio inconveniente para este tipo de soluciones.
    - Por otra parte, obliga a adoptar soluciones complicadas para materializar el anclaje de los cables de tesado a la cota inferior de los cilindros lo cual implica que operarios deban bajar hasta esa cota una vez concluido el alzado de las columnas, o bien adoptar sistemas de anclajes especiales, de ejecución más difícil de garantizar a priori.
- Encarecimiento de la solución: la complejidad de diseño y de ejecución implica un encarecimiento importante de la estructura, que puede llegar a comprometer su competitividad.
- Problemas de durabilidad: los criterios de durabilidad de las estructuras de hormigón postesado son exigentes cuando están afectadas del ambiente marino en zonas batidas por el oleaje, pues las estructuras se ven sometidas a ciclos de carga muy variables y de difícil cuantificación. En estas condiciones los sistemas de tesado son susceptibles de corrosión, pudiendo llegar a comprometer su integridad estructural. Además, gran parte de las ventajas a este respecto que se obtenían del empleo de hormigón en vez de estructuras metálicas se pierden, pues vuelven a incrementar los gastos en estrategias de mantenimiento.

Además, estas dos soluciones no permiten la construcción de los cilindros de manera continua, ya que requieren el desmontaje del sistema de encofrados trepantes, la instalación de otros encofrados, la ejecución de la sección de refuerzo, el montaje de nuevo del sistema de encofrados trepantes inicial para, finalmente, poder proseguir con la ejecución hasta la cota superior de los cilindros.

La invención objeto de esta solicitud, trata de resolver todos estos inconvenientes, tanto desde el punto de vista del diseño de la plataforma como de los procesos constructivos.

Explicación de la invención

La solución que aquí se presenta trata de resolver la problemática descrita en los párrafos precedentes.

Consiste en una plataforma semi-sumergible offshore para soporte de aerogeneradores marinos de gran potencia. En la actualidad se encuentra desarrollada a nivel comercial turbinas de 8 y 9 MW, mientras que es esperable que se introduzcan pronto en el mercado turbinas de 10 MW y mayores. Esta plataforma que se propone sirve como plataforma de sustentación de este tipo de turbinas de gran potencia.

Está conformada como estructura mixta de hormigón en algunos de sus elementos y de acero en otros, con objeto de aprovechar de la mejor manera posible las propiedades de estos materiales.

Esta plataforma está concebida para situarse en profundidades (calados) de más de 60 m, y preferiblemente entre 90 y 150 m. Para profundidades mayores, el diseño propuesto es válido, debiendo ajustar el diseño particular del sistema de fondeo.

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1 muestra una vista general en perspectiva de una plataforma realizada conforme a la presente invención.

La figura 2 es una vista de la subestructura de hormigón (1) que forma la base de la plataforma.

Las figuras 3 y 4 muestran sendas vistas en alzado y planta de una plataforma con un aerogenerador (15) montado en ella.

Las figuras 5 y 6 muestran en sendas vistas desplegadas la parte de la superestructura metálica (4) que apoya en los cilindros laterales (2) y en el cilindro central (21) respectivamente.

Realización de la invención

La plataforma está compuesta por una subestructura de hormigón (1), que constituye la base de la plataforma, sobre la que apoya una superestructura metálica (4), que constituye a su vez la conexión con la base (9) de la torre del aerogenerador.

La subestructura de hormigón (1), representa en detalle en la Fig. 2, incluye: Una losa inferior cuadrada (11), cinco cilindros huecos (2, 21) de hormigón armado distribuidos en los vértices y en el centro de un cuadrado, y una serie de vigas (3, 31) que unen los citados cilindros (2, 21) entre sí.

La losa inferior (11) sirve de base de la plataforma. Se trata de una pieza con una configuración cuadrada, preferentemente de vértices redondeados, realizada en de hormigón armado de un espesor de 0,50 m y de 1,00 m en la base de los cilindros huecos (2, 21).

La losa inferior (11) dispone de cuatro agujeros (16) en la zona existente entre dos cilindros perimetrales (2), cuya finalidad es permiten subir el periodo propio de oscilación en el movimiento de alteada (heave) de la plataforma en su conjunto, hasta dejarlo en algo más de 18 segundos. Esta cifra es importante porque permite alejarse de los periodos habituales de oleaje, de manera que se evita que la plataforma entre en resonancia con el oleaje, lo cual amplificaría los movimientos de alteada de la plataforma, haciendo disminuir notablemente la operatividad y producción de la turbina, además de inducir esfuerzos no deseados en las líneas de fondeo y en el conjunto de la estructura. Esta solución supone una muy importante ventaja respecto de otras alternativas que pueden referirse en el estado de la técnica, en los que los periodos propios de oscilación en el movimiento de alteada son bastante menores y, por tanto, los hace susceptibles de entrar en resonancia con oleajes habituales en regímenes operativos. Estos agujeros tienen forma de elipse, con unos ejes de dimensiones 8x4,50 m cada uno, lo cual supone un porcentaje de abertura del 4% respecto de la superficie total de la plataforma base. Estos agujeros optimizan el periodo propio resultante con un sistema constructivo muy sencillo, pues se materializan durante el propio hormigonado del resto de la plataforma base con unos encofrados reutilizables que hacen de negativo.

Sobre dicha losa inferior (11) se disponen cuatro cilindros (2), de 14,60 m de diámetro exterior, formando un cuadrado, y un cilindro central (21) de 9 m de diámetro. La altura de todos los cilindros es igual entre ellos y oscila entre los 27 y los 30 m desde la losa (11). Todos los cilindros se ejecutan mediante deslizado a partir de la losa (11), una vez ejecutada esta y por tanto quedan rígidamente unidos a dicha losa (11) formando un solo cuerpo con ella y con las vigas (3, 31). Como ya se ha indicado, cuatro de dichos cilindros (2) se disponen en las esquinas de la losa inferior (11) y el otro (21) en centro de la misma. Los cuatro cilindros exteriores (2) permiten alojar en su interior volúmenes variables de lastre líquido (agua), así como un volumen de lastre sólido si fuera necesario. Estos cilindros dotan de flotación y estabilidad naval a la plataforma. El cilindro central permanece sin lastre líquido y permite albergar el sistema de bombeo de dicho sistema de lastrado.

Sobre la losa inferior (11) se sitúan una serie de vigas radiales (31) que unen los cilindros exteriores (2) entre sí y con el cilindro central (21); y otras vigas periféricas (3) que unen por el centro de sus bases los cilindros exteriores (2). Todas estas vigas (3, 31) aportan rigidez estructural a la losa (11), al tiempo que sirven para arriostrar inferiormente los cilindros (2, 21) al quedar empotradas en ellos.

Ambos conjuntos de vigas (3, 31) son huecas y monolíticas con la losa (11). Las vigas son de hormigón pretensado y de sección cuadrada o rectangular. Este pretensado, a diferencia del propuesto en alguno de los documentos descritos anteriormente, se ejecuta en seco en elementos horizontales y no presenta complejidad constructiva especial. Por otra parte, se ubica en elementos permanentemente sumergidos por lo que sus condiciones ambientales son significativamente mejores que la de los cilindros que se encuentran en zona de marea y salpicadura.

La superestructura metálica (4) constituye la pieza de transición entre la subestructura de hormigón (1) que queda parcialmente sumergida, y la base de la torre del aerogenerador; dicha superestructura está conformada por los siguientes elementos: Unas tapas metálicas (5, 51) que cubren cada uno de los cinco cilindros (2, 21); unos pilares (6, 61) que parten del centro de las tapas (5, 51) y dos sistema de vigas (7, 71) que se unen dichos pilares (6, 61) en el centro con una pieza metálica (8) en la que se fija la base (9) de la torre del aerogenerador.

Las tapas metálicas (5) disponen en su parte inferior de unas bridas circulares (52) que se anclan a los cilindros (2) mediante unos pernos de anclaje. Cada una de estas tapas (5, 51) disponen de un sistema radial de rigidizadores (53) soldados a la placa de la tapa metálica (54).

Del centro de cada tapa (5) de los cilindros exteriores (2) parte un pilar vertical (6) de unos 9 m. de altura y 2,50 m. de diámetro. Y, de la parte superior de los citados pilares (6) parten dos sistemas de vigas:

- Un sistema de perfiles metálicos horizontales (7), de 1,50 m. de diámetro, que unen los pilares (6) de eje vertical de los cuatro cilindros exteriores (2), formando una estructura perimetral.

- Cuatro vigas radiales (71), de sección metálica variable, de forma que quedan inclinadas con caída hacia el exterior, transmitiendo la carga desde el empotramiento de la torre (9) del aerogenerador a cada uno de los cuatro pilares (6) en los que quedan empotradas.

De la tapa (54) del cilindro central (21) parte un pilar cilíndrico vertical (61), que tiene una altura de unos 9 m y un diámetro de 2,50 m. En su parte superior, este pilar queda coronado por una chapa metálica con rigidizadores radiales, que constituye una pieza (8) que tiene el mismo diámetro que la base (9) de la torre del aerogenerador. Esta pieza sirve para unir a modo de empotramiento el sistema de arriostramiento superior que conforman los perfiles tubulares (7), las vigas radiales (71) y el pilar vertical central (61). Además, sirve para materializar la conexión con la base (9) de la torre del aerogenerador.

Así definida, esta superestructura metálica o pieza de transición (4), además de servir de estructura de arriostramiento superior de los cilindros (2, 21), tiene la propiedad de reducir drásticamente los esfuerzos cortantes, las flexiones y torsiones transmitidas a los cilindros de hormigón, por lo que se evita la necesidad de disponer en estos de un sistema de postensado. Los cilindros de 2,50 m de diámetros tienen suficiente flexibilidad para reducir drásticamente la transmisión de esfuerzos de flexión a la infraestructura y funcionan, de hecho, como rótulas, sin los inconvenientes de mantenimiento y complejidad constructiva que podrían presentar unas rótulas clásicas.

El pilar metálico (61) que se sitúa por encima del cilindro central (21), que tiene un diámetro más pequeño y por tanto menor rigidez que el resto de los pilares (6), obliga a las cargas de flexión a ser transmitidas directamente a los cilindros laterales (2), mientras que el cilindro central (21) sólo recibe cargas de compresión, mucho más fáciles de resistir. Al disponer de una sección de escasa rigidez comparado con el conjunto, se consigue el mismo efecto de reducción de tensiones en el cilindro central de hormigón (21), salvando la dificultad que supone que éste tenga un diámetro menor que el de los cilindros exteriores (2) y, por tanto, una mayor tendencia a concentrar esfuerzos.

Así definida, esta superestructura metálica tiene un peso aproximado de 1440 toneladas.

Existen además otros elementos en esta cimentación que completan esta configuración básica e imprescindible para su funcionamiento; a saber:

Un sistema equivalente al doble casco con objeto de hacer frente a impactos accidentales de barcos. Se trata de una estructura metálica cilíndrica formada por chapas de 10 mm de espesor que queda adosada al interior de los cilindros laterales (2) y que evita, en el caso de situación accidental de impacto de un barco, la entrada de agua descontrolada en el interior del cilindro.

Un sistema de lastrado activo, consistente en un conjunto de tuberías que discurren por el interior de las vigas huecas inferiores (3, 31), así como de un conjunto de bombas alojadas en interior del cilindro central (21). Este sistema permite trasegar agua de unos cilindros (2) a otros si fuera necesario para compensar escoras que pueden producirse en fase de servicio debido al funcionamiento del aerogenerador y a las cargas de oleaje, viento y corrientes.

Un sistema de fondeo consistente en cuatro líneas (10), formadas por cadenas de unos 565 m de longitud cada una, que conforman catenarias. En los extremos de cada una de estas cadenas se disponen las anclas que quedan fijadas al fondo marino. En el otro extremo, estas líneas de fondeo quedan conectadas a la losa en cada una de sus esquinas mediante fairleads, con reenvío desde ese punto a la parte superior de los cilindros de hormigón, donde se dispone de un balconcillo donde se aloja un cabrestante que sirve para el manejo de las líneas.

Tanto en las tapas (5, 51) de los cilindros (2, 21), como en la superficie superior de las vigas (71) existen barandillas protectoras (12) que hacen transitables estas superficies (en la Fig. 1 tan solo se han representado barandillas (12) sobre una de las vigas (71), con el fin de apreciar claramente en las demás el diseño de dichas vigas). Así mismo en los pilares (6, 61) se disponen escaleras (13) que permiten el paso desde el nivel de las tapas (5) a la base de la columna (9) del aerogenerador sin más dificultad que el cambio de altura. Finalmente por el exterior de al menos uno de los cilindros exteriores (2) existe un sistema de atraque de barcos (14) (boat landing), que queda parcialmente sumergido, al que los barcos que proporcionan suministros a la plataforma se pueden aproximar de forma segura para el traslado de personal, equipos o víveres hasta la plataforma. (Ver Fig. 3 y 4).

Las tapas (5, 51) están dotadas de una boca hombre (55) a través de la que se puede acceder al interior de los cilindros (2, 21), para su inspección o reparación, de los equipos de bombeo, etc. Preferentemente también se instala un sistema de escaleras por el interior de los mismos que faciliten este acceso.

Aunque la fabricación y el funcionamiento de esta plataforma son óptimos cuando se forma con cuatro cilindros periféricos (2); no existen impedimentos técnicos para que no sea posible la realización de la misma con tres cilindros formando un triángulo equilátero, cinco, o incluso seis cilindros periféricos (2) formando respectivamente un pentágono o hexágono regular, por lo que, posibles realizaciones con un número de cilindros comprendido entre tres y seis se consideran equivalentes al desarrollo de la presente invención.

Todas las dimensiones expuestas anteriormente se han citado a nivel orientativo, no se trata de dimensiones exactas y por tanto pueden ser modificadas dentro de unos amplios márgenes.

El hormigón a emplear en la estructura es hormigón convencional si bien como alternativa pueden emplearse hormigones de baja densidad, reduciendo de esta manera el calado resultante. El armado del hormigón está formado por barras de acero convencional. Alternativamente pueden plantearse empleo barras de acero recubiertas de resinas, de fibras metálicas, fibras plásticas, barras de PRFV, o cualquier otro sistema no susceptible de corrosión.

El proceso constructivo de estas plataformas es secuencial, habiendo concebido el diseño para conseguir un proceso industrial que reduzca al máximo los ritmos de fabricación.

Igualmente se ha concebido para permitir insertar la instalación de la torre y de todos los elementos del aerogenerador dentro del proceso de fabricación en el muelle de fabricación en puerto, en el que se deben disponer 4 zonas de fabricación sucesivas (zona nº0 a zona nº3), que conformarán la línea de producción industrial de estas plataformas.

En la zona 0, se dispone una pontona auxiliar, de dimensiones algo mayores en planta que las de la losa (11). En esa pontona auxiliar se realiza el premontaje de la pontona de ferralla de la losa.

En la zona 1, se dispone una pontona sumergible de dimensiones algo mayores que las de la pontona auxiliar de ferralla de la losa. Esta pontona sumergible es el medio principal de fabricación y dispone de cuatro torretas (una en cada esquina) que le aportan la inercia suficiente en el plano de flotación cuando queda sumergida. En ella se realizan las siguientes etapas constructivas:

1. La pontona auxiliar de ferralla se introduce en la pontona sumergible principal y, mediante una estructura auxiliar que apoya en ésta, deja colgando la ferralla de la losa en su conjunto, que queda separada así de la pontona auxiliar. En ese momento, se sumerge ligeramente la pontona principal, se retira la pontona auxiliar, y se vuelve a reflotar la pontona principal, momento en el que se hace descender la ferralla de la losa dejándola finalmente apoyada en la pontona principal. En ese momento, queda lista para proceder a la instalación de los encofrados de la losa y a su hormigonado.

2. Completado el hormigonado de la losa (11) se ejecutan las vigas inferiores (3, 31) de hormigón pretensado. Se trata de un pretensado horizontal que se ejecuta en seco, por lo que no presenta ninguna complejidad especial.

3. A continuación, se procede a la instalación de los encofrados de los cilindros (2, 21). Se trata de encofrados deslizantes (no trepantes) tanto para conseguir elevados ritmos de producción como para asegurar las necesarias condiciones de estanqueidad de los cilindros.

4. Cuando se ha ejecutado el alzado de los cilindros en una altura de unos 12 m, la estructura así parcialmente construida posee suficiente capacidad de flotación, por lo que en ese momento se procede al hundimiento de la pontona sumergible para realizar la botadura de la estructura en este estado parcial de fabricación. La botadura consiste en el hundimiento de la pontona sumergible de apoyo por debajo del calado de la plataforma en flotación, momento en que ésta se separa de la pontona y puede sacarse de la misma tirando por medio de un remolcador, el cual traslada la plataforma a la zona de fabricación nº2 adyacente.

El hecho de realizar esta maniobra de botadura permite que el calado necesario del muelle de esta zona nº 2 no sea excesivo (unos 15 ó 16 m), pues la pontona sumergible principal tiene un puntal de unos 6 m, por lo que realizar la botadura en fases posteriores obligaría a disponer de unos calados mucho mayores que lo harían inviable. Ya con la plataforma a flote en la zona de fabricación nº 2 se procede a realizar las siguientes operaciones:

5. Inicialmente, al tratamiento de la junta de hormigonado para seguir a continuación con el hormigonado hasta finalizar toda la altura de los cilindros con el mismo sistema de encofrado que se ha utilizado en la zona nº 1.

6. En caso de que sea exigido, a continuación se procede a la instalación de la virola de acero interior en cada uno de los cilindros.

7. Colocación de las piezas metálicas que conforman el tape superior de los cinco cilindros. Esta maniobra se realiza por medio de una grúa terrestre ubicada en el muelle. Estas piezas conforman parte de la

superestructura (o pieza de transición) descrita en párrafos precedentes. Una vez colocadas, se procede al tesado de los pernos de anclaje que unen rígidamente estos tapes a las paredes de los cilindros.

8. Traslado de la plataforma a la zona de fabricación nº 3. En esta etapa de fabricación la plataforma se traslada flotando mediante tiro desde un remolcador.

En dicha zona nº 3 de fabricación se lleva a cabo el resto de la fabricación de la plataforma y del montaje del aerogenerador:

9. Lastrado de la plataforma mediante introducción de agua de mar en el interior de los cuatro cilindros exteriores. Esta maniobra se realiza fácilmente mediante válvulas telecomandadas instaladas en la parte inferiores de las paredes de los cilindros. Mediante el lastrado se consigue apoyar la plataforma parcialmente construida en el lecho marino del muelle en esta zona nº3. El lecho de apoyo ha sido previamente nivelado. De esta manera se puede conseguir mucha mayor precisión en las siguientes maniobras a realizar.

10. Instalación del resto de la superestructura (pieza de transición) metálica. El peso de la superestructura metálica que queda por instalar en la plataforma es de unas 845 toneladas. Con objeto de evitar tener que hacer esta operación por medio de una gran grúa y para evitar además la necesidad de tener que reforzar significativamente la estructura metálica para permitir su izado con un medio así, se decide instalar esta parte a bordo de una pontona a modo de catamarán. Así, una vez montada en tierra, esta estructura metálica se instala a bordo de un catamarán mediante una maniobra de load-out similar a la que se realiza en otras operaciones para la industria offshore. Este load-out se realiza en el propio muelle de fabricación. La estructura queda apoyada en el catamarán mediante unos gatos (jacking system). A continuación se posiciona el catamarán en la zona nº 3, haciéndolo pasar parcialmente por el espacio existente entre los cilindros. Alternativamente en lugar de un catamarán pueden emplearse dos pontonas gemelas que se solidarizan mediante la propia estructura metálica. Una vez allí posicionada, se procede al descenso de los gatos y al desapeo de la estructura que queda instalada en la plataforma. Se trata de maniobra de float over, que es empleada en ocasiones en la instalación de plataformas o subestaciones offshore sobre sus sistemas de cimentación. Evidentemente en este caso esta maniobra presenta grandes simplificaciones, pues se realiza en las aguas abrigadas del puerto de fabricación y en el propio muelle.

11. Soldaduras para materializar la unión entre las dos partes de la superestructura ya instaladas.

12. Instalación en la misma zona de fabricación nº3 de la torre, la góndola, el rotor y las palas del aerogenerador mediante una grúa terrestre situada en el muelle.

Las fases de fabricación 10, 11 y 12 suponen el sucesivo incremento del peso del artefacto flotante, por lo que a lo largo de estas fases se va procediendo progresivamente al deslastrado de los cilindros para, una vez completado, se ponga a flote la plataforma, ya completamente construida y lista para ser remolcada a su lugar de instalación en aguas profundas.

Entre los inconvenientes y limitaciones que quedan superadas con esta invención, cabe destacar los siguientes:

- El diseño de esta plataforma supone un paso conceptual en el diseño respecto a las propuestas anteriores, pues la viabilidad de la aplicación de éstas a turbinas de gran capacidad y solicitadas por cargas mayores (de oleaje, viento, corrientes y del propio funcionamiento de la turbina) no es simple paso de escalar dimensiones o capacidades, sino que requieren un diseño nuevo como el que aquí se plantea.

- En este sentido, se traspasa de manera original la barrera tecnológica que supone hacer compatible las cargas a las que se ve sometida la plataforma, las curvas de respuesta del nuevo diseño que se propone permite hacer frente a estas solicitaciones y los procesos constructivos correspondientes para permitir la fabricación en serie de estas plataformas. Es conocido que, para mantener condiciones equivalentes de estabilidad naval, la manera en la que las plataformas semisumergibles hacen frente a cargas mayores es mediante:
  - un aumento de sus dimensiones, lo cual supone incrementar la distancia entre sus flotadores, lo cual redunda en un aumento de la complejidad estructural y peso de la plataforma
  - un aumento en las tensiones de trabajo de las líneas de fondeo, lo cual supone un encarecimiento y una mayor complejidad de instalación

  Por lo tanto la forma de respuesta de la plataforma antes estas solicitaciones y su comportamiento dinámico son únicos.

- El diseño de esta plataforma permite que los pesos se distribuyan en las distintas partes de la estructura de manera que, para un desplazamiento muy similar al de otras plataformas y dimensiones globales en planta, se mejoran las condiciones de estabilidad en fase de servicio y en las fases intermedias de fabricación. Igualmente se reducen los calados. Así, por ejemplo, esta plataforma en fase de servicio tiene un calado de 19 m para soportar una turbina de

10 MW, con un desplazamiento de unas 14.000 toneladas, frente a los 22 m para una turbina de 5 MW de las experiencias referidas anteriormente para las plataformas semisumergibles de hormigón, con un desplazamiento de unas 13.000 toneladas.

- La estructura metálica se conforma como una pieza de transición que, además de arriostrar los cilindros entre sí, sirve para transmitir a los cilindros cargas principalmente de compresión y para reducir drásticamente las flexiones y torsiones. Este hecho permite eliminar la necesidad de cualquier postesado en los cilindros, evitando los problemas ya referidos anteriormente.

  Esta estructura metálica, al conectarse con el cilindro central mediante una sección de mucha menor rigidez relativa, transmite al cilindro central únicamente esfuerzos de compresión, a modo de apoyo pseudorotulado, lo cual permite reducir el diámetro de dicho cilindro sin necesidad de emplear ningún tipo de postesado. De este hecho, se derivan además dos adicionales:
  - o Menores cargas de oleaje sobre la plataforma.
  - o Menor peso del conjunto, lo cual reduce los calados en fases de fabricación, remolque y servicio.

- La superestructura metálica queda limitada a la pieza de superestructura, que se encuentra fuera del agua y de la zona de salpicaduras, por lo que su mantenimiento es mucho más sencillo que si estuviera situado a cotas inferiores y en contacto permanente con el agua del mar.

- La virola de acero interior que se instala en el interior de los cilindros permite asegurar la estabilidad de la plataforma frente a situaciones accidentales de impacto de un barco. Esta solución, es equivalente a una solución de doble casco, con la ventaja de que queda integrada en la propia estructura de los cilindros, y supone una clara ventaja competitiva frente a soluciones monocasco, ya sean de hormigón o metálicas.

- El diseño evita la necesidad de niveles de arriostramiento intermedio de los cilindros de hormigón, lo cual dificultaría mucho el proceso constructivo. Además libera de gran cantidad de cargas al cilindro central. De esta manera, los cilindros laterales, además de su función como flotadores, tienen una función estructural primordial, aprovechando las capacidades resistentes de cada elemento de la plataforma de la manera más eficiente posible.

- El hormigón empleado es convencional, paso necesario para asegurar la viabilidad técnico-económica del concepto.

- El diseño permite que los elementos de hormigón pretensado estén permanente sumergidos y en una zona de la estructura alejada de las áreas expuesta a las cargas del oleaje. Además, se trata de sistemas de pretensado horizontal que se ejecutan en seco, por lo que pueden considerarse como habituales. Todo ello permite considerar esta solución estructural como perfectamente viable y durable.

- Al tener tres ejes de simetría se reduce al máximo la complejidad en el sistema de lastre activo necesario durante el servicio del aerogenerador, pues en reposo la plataforma está en equilibrio y no descompensado.

- La plataforma así conformada puede ser enteramente construida (incluyendo el montaje de la torre y del aerogenerador) en un único muelle de fabricación de 300 m de largo, evitando la necesidad de ocupación de grandes superficies terrestres o de astilleros. En cuanto a los calados necesarios en dicho muelle, oscila alrededor de 16 m, pudiendo reducirse en el caso de adaptar ligeramente las geometrías de los distintos elementos o emplear hormigones más ligeros.

- La plataforma así conformada puede ser fabricada de manera industrial, quedando optimizadas las distintas etapas constructivas en fases secuenciales en un mismo muelle que se conforma como una línea completa de producción, que permiten la producción de una plataforma completa (torre y aerogenerador incluido) cada 35 días.

- El diseño del proceso constructivo está directamente enfocado a la consecución de los anteriores objetivos para una plataforma que soporte aerogeneradores de gran potencia: concentrar la localización de las fases constructivas, limitar el calado necesario en el muelle de fabricación, simplificar las maniobras y medios necesarios y conseguir un ritmo de producción muy elevado. Ninguna de las referencias encontradas en el estado del arte cumple simultáneamente con todas las condiciones anteriores.

Una vez descrita la naturaleza de la invención, así como un ejemplo de realización preferente, resulta de manera evidente que la invención es susceptible de aplicación industrial, en el sector indicado.

Asimismo se hace constar a los efectos oportunos que los materiales, forma, tamaño y disposición de los elementos descritos podrán ser modificados, siempre y cuando ello no suponga una alteración de las características esenciales de la invención que se reivindican a continuación:

REIVINDICACIONES

1.- Plataforma flotante para aerogeneradores de gran potencia, del tipo de las que incluye una base resistente (11), que dispone en cada esquina de una línea de fondeo a través de la que se ancla al fondo marino manteniéndose en posición semisumergida, sobre cuya base (11) se construyen un cilindro central (21) y al menos cuatro cilindros exteriores (2), todos ellos de hormigón armado, cuyo cilindro central (21) se prolonga verticalmente en la torre del aerogenerador (15), **caracterizada** por que comprende:

- una subestructura de hormigón (1), que constituye la base de la plataforma, y está formada por:
  - una losa inferior cuadrada (11) que constituye la base de la plataforma;
  - una serie de vigas (3, 31) que aportan rigidez estructural a la losa (11), quedando anexas y por encima de la misma, al tiempo que arriostran inferiormente los cilindros (2, 21), al quedar empotradas en ellos;
  - cinco cilindros huecos (2, 21) de hormigón armado distribuidos en los vértices y en el centro de la losa inferior (1), ejecutados mediante deslizado a partir de la losa (11), una vez ejecutada esta y rígidamente unidos formando un solo cuerpo con dicha losa (11) y con unas vigas (3, 31) que los unen; y
- una superestructura metálica (4), que apoya una subestructura de hormigón (1) y constituye la base de conexión con la torre del aerogenerador, que acopla en el centro de la misma, que está formada por:
  - unas tapas metálicas (5, 51) que cubren cada uno de los cilindros periféricos (21) y el cilindro central (21);
  - unos pilares verticales (6, 61) que parten de las tapas (5, 51) situadas en los cilindros (2, 21), que quedan relacionados entre sí mediante vigas (7, 71); y
  - sendos sistemas de vigas (7, 71) que unen, por un lado, perimetralmente los pilares verticales (6) de los cuatro cilindros exteriores (2) entre sí y, por otro, diagonalmente cada pilar (6) con el pilar central (61) y con una pieza metálica central (8), en la que se fija la base (9) de la torre del aerogenerador, transmitiendo la carga desde la base (9) a cada uno de los cuatro pilares (6), en los que quedan empotradas estas vigas radiales (71).

2.- Plataforma flotante, según la reivindicación 1, **caracterizada** por que los cilindros exteriores (2) alojan en su interior volúmenes variables de lastre líquido (agua) y/o un volumen de lastre sólido, a fin de dotar de flotación y estabilidad naval a la plataforma, mientras que el cilindro central (21) albergar un sistema de bombeo de agua de lastre a los cilindros exteriores (2).

3.- Plataforma flotante, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que la losa inferior (11) dispone de cuatro agujeros elípticos (16) en la zona existente entre dos cilindros perimetrales (2) consecutivos, calculados para que el periodo propio de oscilación en el movimiento de alteada de la plataforma en su conjunto sea superior a 18 segundos, alejándose así de los periodos habituales de oleaje, para evitar que la plataforma entre en resonancia con el oleaje.

4.- Plataforma flotante, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que las vigas que aportan rigidez estructural a la base (1), que se disponen radialmente (31) uniendo los cilindros exteriores (2) con el cilindro central (21) y periféricamente (3) uniendo por el centro de sus bases los cilindros exteriores (2) entre sí, son huecas y se fabrican monolíticas con la losa (11), de hormigón pretensado en seco mediante elementos horizontales, de sección cuadrada o rectangular, y quedan empotradas en los cilindros (2, 21) en la fabricación posterior de estos.

5.- Plataforma flotante, según la reivindicación 4, **caracterizada** por que de las vigas huecas inferiores (3, 31) albergan un conjunto de tuberías que discurren por el interior de las mismas conectando los cilindros exteriores (2) con el cilindro central (21), que alberga un conjunto de bombeo en su interior de agua de lastre a los cilindros exteriores (2).

6.- Plataforma flotante, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que las tapas metálicas (5) que cubren cada uno de los cilindros periféricos (2) y el cilindro central (21) disponen en su parte inferior de unas bridas circulares (52) que se anclan a los cilindros mediante unos pernos de anclaje e interiormente de un sistema radial de rigidizadores (53) soldados a la placa de la tapa metálica superior (54) a la que se fija el correspondiente pilar vertical (6, 61).

7.- Plataforma flotante, según la reivindicación 6, **caracterizada** por que el pilar metálico (61) que se sitúa por encima del cilindro central (21) está coronado por una chapa metálica con rigidizadores radiales, que constituye una pieza (8) con el mismo diámetro que la base (9) de la torre del aerogenerador, que sirve para unir a modo de empotramiento el sistema de arriostramiento superior que conforman las vigas perimetrales (7), las vigas radiales (71) y el pilar vertical central (61).

8.- Plataforma flotante, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el pilar metálico (61) que se sitúa por encima del cilindro central (21) tiene un diámetro más pequeño que el resto de los pilares periféricos (6) transmitiendo las cargas de flexión directamente a los cilindros laterales (2), para que el cilindro central (21) sólo reciba cargas de compresión, comportándose a este efecto el conjunto de la superestructura (4) como una rótula.

9.- Plataforma flotante, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que los cilindros laterales (2) presentan una estructura metálica cilíndrica, que queda adosada al interior de los mismos y que evita, en el caso de situación accidental de impacto de un barco, la entrada de agua descontrolada en el interior del cilindro (2) correspondiente.

10.- Método de construcción de la plataforma flotante para aerogeneradores de gran potencia de las reivindicaciones anteriores, **que comprende** las siguientes etapas constructivas:

a) premontaje de la ferralla de la losa y disposición de la misma en una pontona sumergible, de dimensiones algo mayores que dicha losa, e instalación de los encofrados de la losa y su hormigonado;
b) ejecución de las vigas inferiores (3, 31) de hormigón mediante un pretensado horizontal que se ejecuta en seco;
c) instalación de unos encofrados deslizantes en el centro y en las esquinas, en los que se hormigonan los cilindros (2, 21) hasta una altura intermedia, por encima de la línea de flotabilidad de la plataforma;
d) hundimiento de la pontona sumergible para realizar la botadura de la subestructura (1) en este estado parcial de fabricación, por debajo del calado de la plataforma en flotación, momento en que ésta se separa de la pontona y se saca de la misma tirando por medio de un remolcador, para trasladarse a otra zona de fabricación adyacente;
e) continuación del proceso de hormigonado hasta finalizar toda la altura de los cilindros (2, 21) con el mismo sistema de encofrado que se ha utilizado anteriormente;
f) colocación de las piezas metálicas que conforman las tapas superiores (5, 51) de los cilindros (2, 21) por medio de una grúa terrestre ubicada en el muelle y fijación de las mismas mediante pernos de anclaje que las unen rígidamente a las paredes de los cilindros;
g) traslado de la plataforma a otra zona de fabricación flotando mediante tiro desde un remolcador;
h) lastrado de la plataforma mediante introducción de agua de mar en el interior de los cuatro cilindros exteriores (2) hasta apoyar la plataforma parcialmente construida en el lecho marino del muelle en esta zona;
i) instalación del resto de la superestructura metálica (4) y realización de soldaduras necesarias para materializar la unión entre las dos partes de la superestructura ya instaladas;
j) instalación de la torre, la góndola, el rotor y las palas del aerogenerador mediante una grúa terrestre situada en el muelle, al tiempo que va procediendo progresivamente al deslastrado de los cilindros para, una vez completado el proceso de montaje, la plataforma quede a flote, completamente construida y lista para ser remolcada a su lugar de instalación en aguas profundas.

11.- Método, según la reivindicación 10, **caracterizado** por que se desarrolla en un muelle-factoría que incluye cuatro zonas que conforman una línea de producción industrial, cada una de las cuales comprende:

a) una zona previa, en la que se dispone una pontona auxiliar, de dimensiones algo mayores en planta que las de la losa (11) de la plataforma, en la que se realiza el premontaje de la ferralla de la losa;
b) una primera zona, en la que se dispone una pontona sumergible de dimensiones algo mayores que las de la pontona auxiliar que soporta la ferralla de la losa, a la que se traspasa la ferralla de la losa (11) en su conjunto, dejándola previamente suspendida y separada de la pontona auxiliar, para luego retirarla y se sustituirla por la pontona principal, sobre la que finalmente se deposita la ferralla, lista para proceder a la instalación de los encofrados de la losa y a su hormigonado y el de los cilindros (2, 21) hasta una altura intermedia, todo ello a medida que la pontona sumergible desciende manteniendo en todo momento la zona de hormigonado por encima del nivel del agua;
c) una segunda zona, a la cual se traslada la plataforma una vez hundida la pontona sumergible que la soportaba totalmente, hasta dejar la plataforma flotando, siendo entonces remolcada hasta esta zona de fabricación, donde la plataforma en construcción queda flotando y se va hundiendo paulatinamente a medida que continúa el hormigonado de los cilindros y la colocación de las piezas metálicas que conforman las tapas superiores (5, 51) de los mismos; y
d) una tercera zona, a la que se traslada la plataforma flotando y tirando de ella desde un remolcador, en la cual se ha nivelado el lecho marino y presenta un calado tal que al lastrar la plataforma quede apoyada en el lecho mariono en posición semisumergida, en disposición de instalar a continuación el resto de la superestructura metálica (4), la torre, la góndola, el rotor y las palas del aerogenerador mediante una grúa terrestre situada en el muelle, mientras se va procediendo progresivamente al deslastrado de los cilindros para, una vez completado el proceso de montaje la plataforma quede a flote, completamente construida y lista para ser remolcada a su lugar de instalación en aguas profundas.

12.- Método, según las reivindicaciones 10 y 11, **caracterizado** por que la fase de instalación del resto de la superestructura metálica (4) sobre las tapas (5, 51) de los cilindros (2, 21) se realiza a bordo de una pontona a modo de catamarán, en la que se instala dicha superestructura en el propio muelle de fabricación, una vez montada en tierra, dejándola apoyada mediante unos gatos en el catamarán; para a continuación posicionar el catamarán en la zona en la que se encuentra la plataforma parcialmente montada haciéndolo pasar parcialmente por el espacio existente entre los cilindros (2) y, una vez posicionada por encima de la subestructura (1) en su lugar de fijación definitivo, proceder al descenso de los gatos hasta dejarla instalada sobre la misma.

Fig. 1

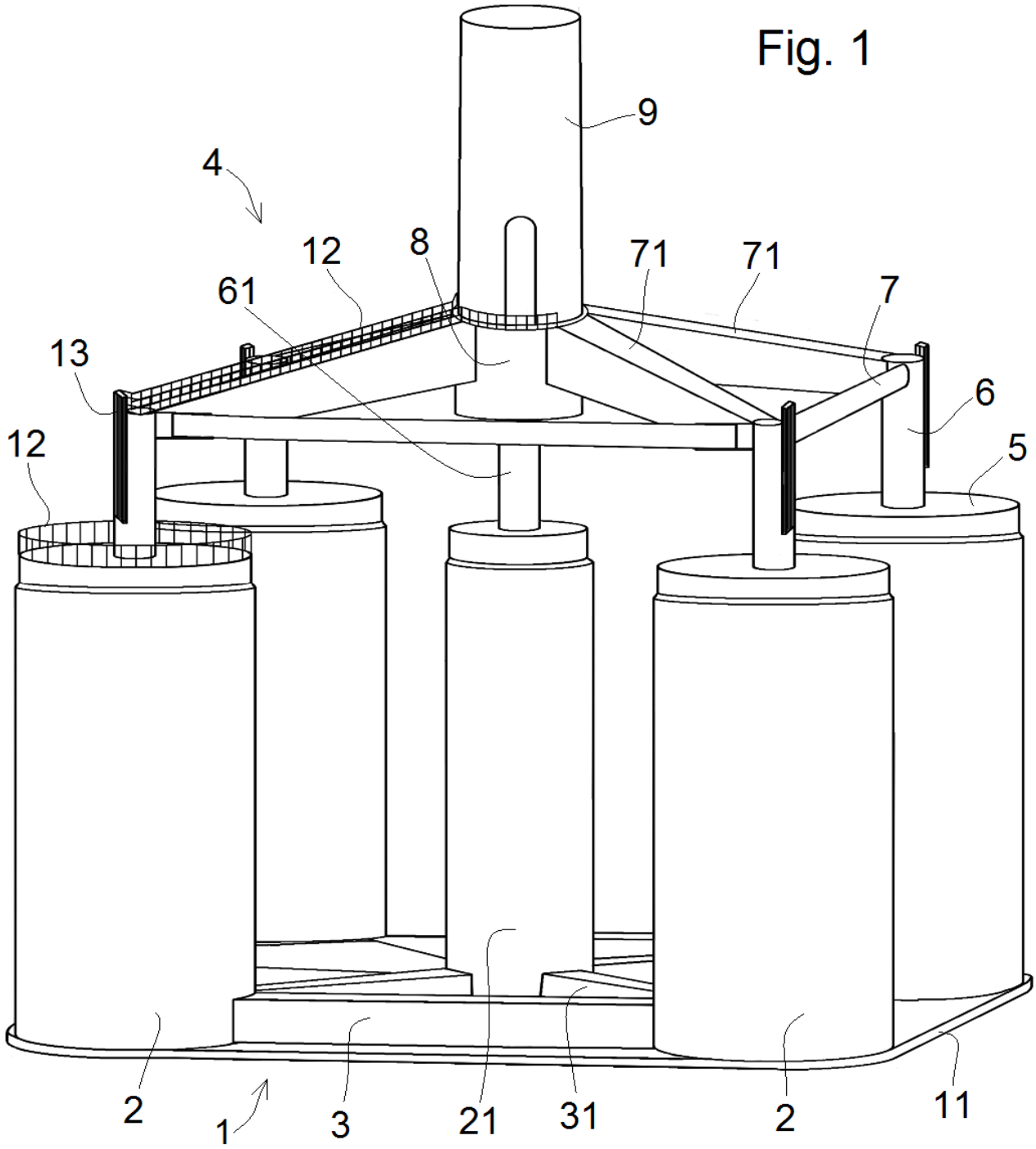


Fig. 2

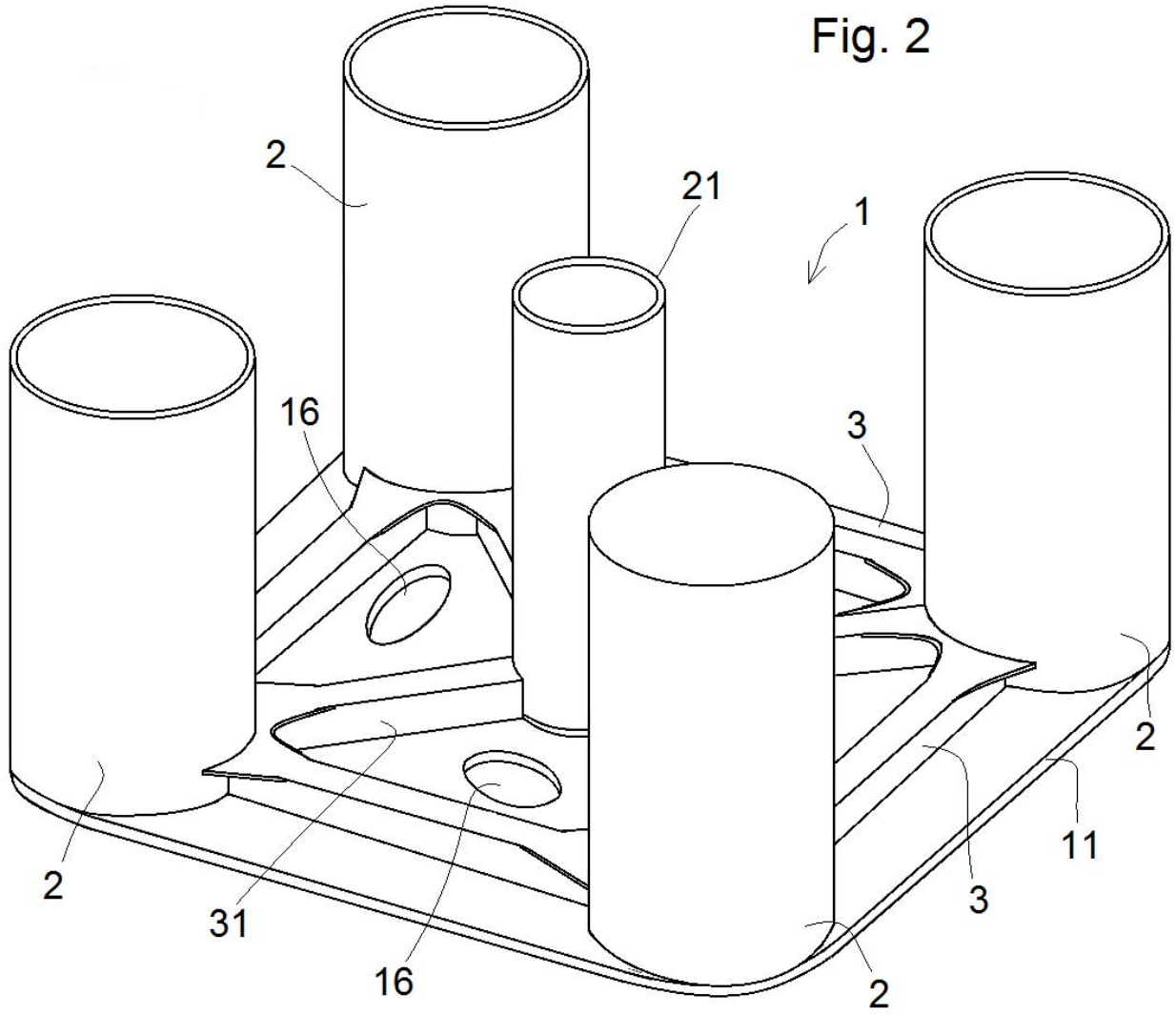


Fig. 3

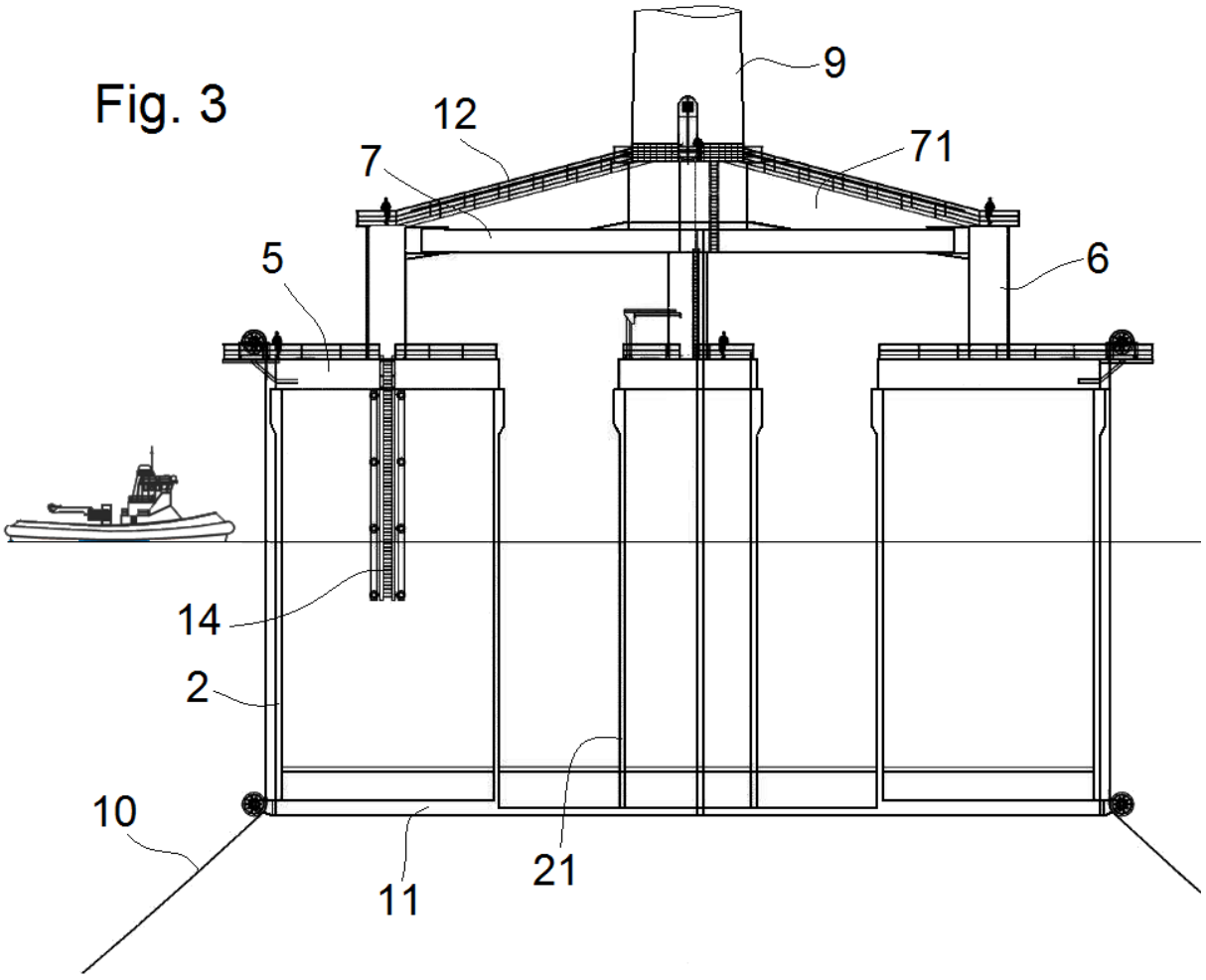


Fig. 4

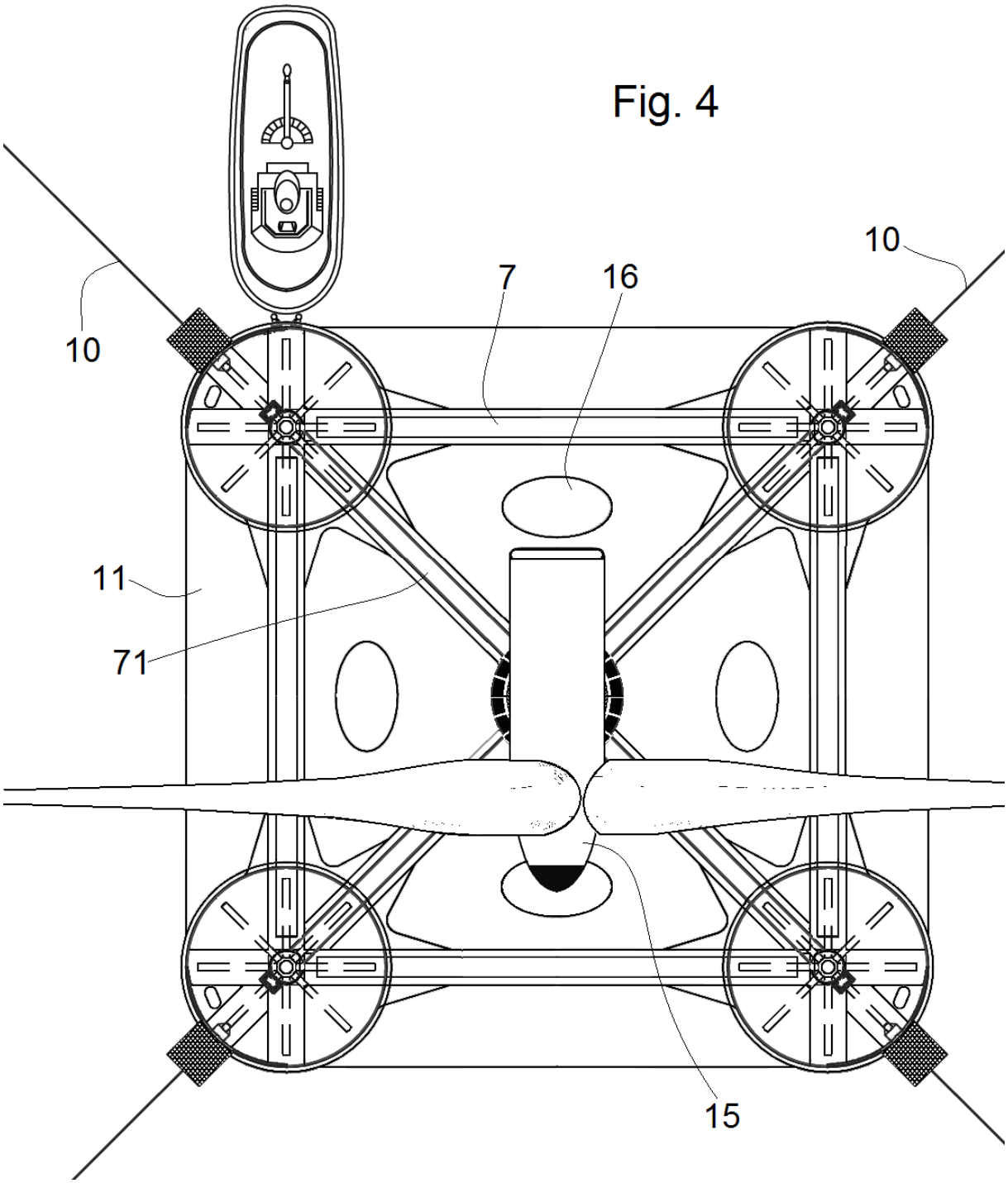
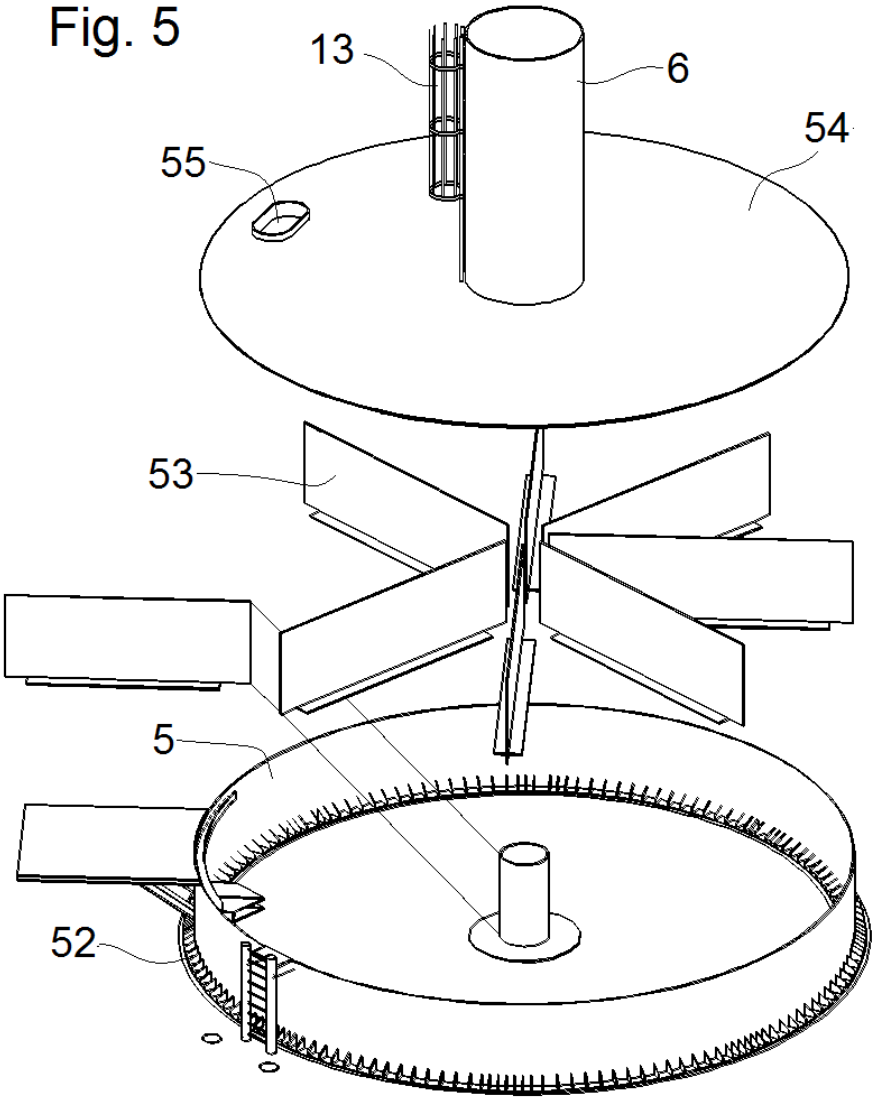


Fig. 5



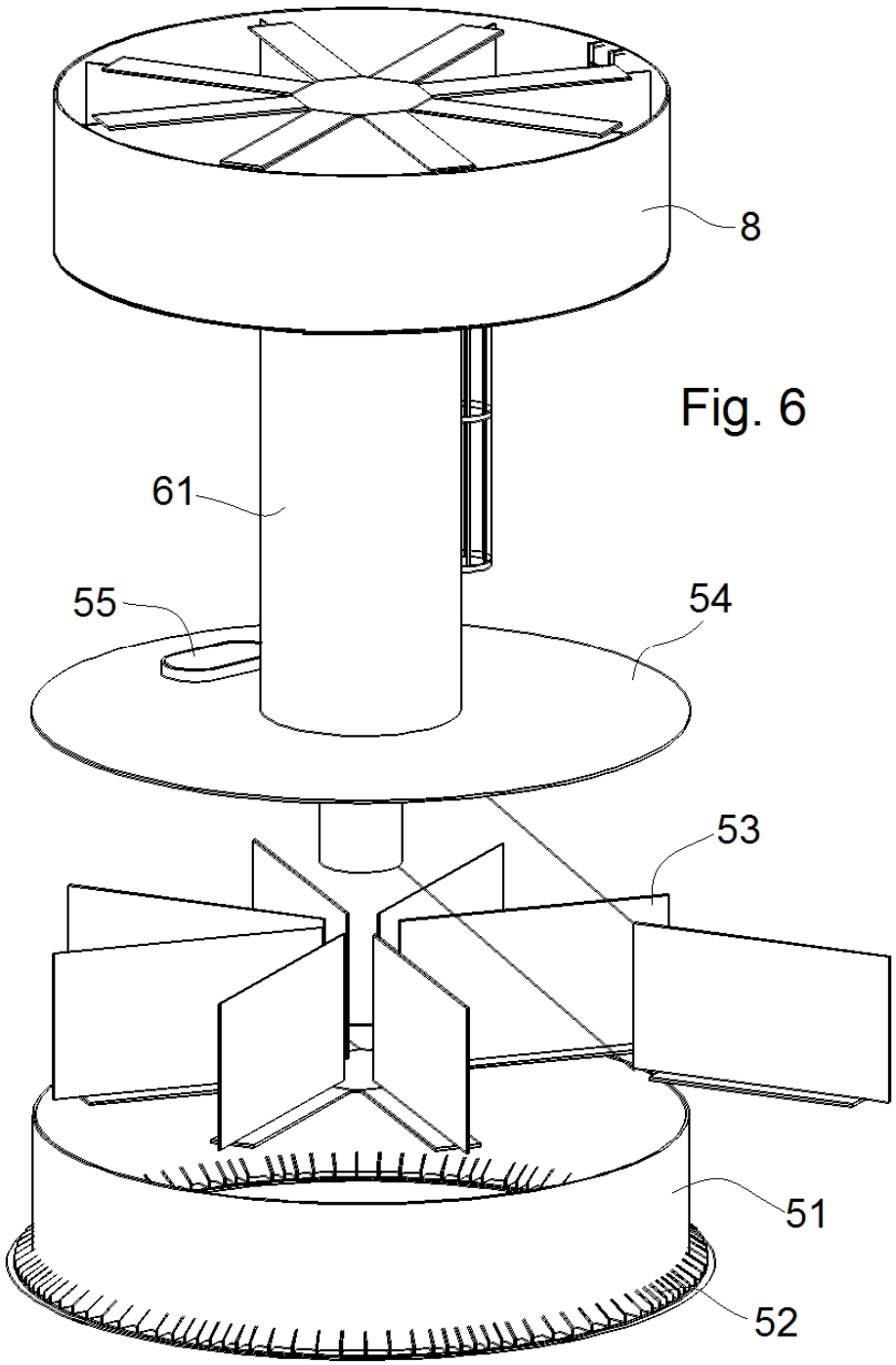


Fig. 6