

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 433 590**

51 Int. Cl.:

F03D 11/00 (2006.01)

F03D 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.12.2009 E 09775346 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2013 EP 2382389**

54 Título: **Turbinas eólicas marinas desmontables con sistema de amarre preinstalado**

30 Prioridad:

18.12.2008 EP 08172164

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

11.12.2013

73 Titular/es:

**SINGLE BUOY MOORINGS INC. (100.0%)
Route de Fribourg 5
1723 Marly, CH**

72 Inventor/es:

**BOUREAU, SOPHIE y
WILLE, HEIN**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 433 590 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

Turbinas eólicas marinas desmontables con sistema de amarre preinstalado

5 Antecedentes de la invención

10 [0001] La invención se refiere a un dispositivo generador de energía eólica flotante que comprende al menos dos turbinas eólicas montadas sobre una estructura abierta flotante, cada una de dichas al menos dos turbinas eólicas presentan una pala y una parte de rotor montada en la parte superior de una torre, dicha estructura abierta flotante está amarrada al lecho marino con un sistema de amarre y conectada a un cable de exportación de energía de alto voltaje único para exportar la electricidad generada por al menos dos molinos.

15 [0002] Dispositivos de este tipo se conocen de la bibliografía, donde varias propuestas se han hecho con respecto a la construcción de tal dispositivo. No se conoce, en particular para las turbinas eólicas que tienen grandes dimensiones, cómo los diferentes problemas relacionados con su instalación se resuelven.

20 [0003] Una solución del estado de la técnica típica para asegurar las turbinas eólicas marinas fue colocarlas sobre cimientos especiales, que bien se descenden sobre el fondo del mar bien se fuerzan en el lecho marino. Además, la práctica de la industria eólica marina actual es erigir grandes turbinas eólicas diseñadas para su uso en tierra, bajo condiciones marítimas complejas en el mar con la ayuda de una barcaza autoelevable destinada a crear una plataforma de trabajo estable para las operaciones en el mar. El equipo de instalación específico que se utiliza actualmente plantea un riesgo de retrasos importantes en las obras de instalación, por ejemplo cuando la barcaza autoelevable se encuentra con una avería.

25 [0004] Los conceptos de turbina eólica marina no flotante señalan hacia una serie de desventajas tales como la puesta en marcha, reparación y mantenimiento de las turbinas eólicas que se necesita efectuar en alta mar. Esto incluye los altos costes asociados al trabajo en alta mar debido al viaje, la distancia, el tiempo de inactividad y la eliminación de tales cimientos después del cierre y el desmantelamiento del parque eólico. Estas pueden ser vulnerables a las malas condiciones meteorológicas y por una mala accesibilidad a la instalación. Otro asunto clave es el riesgo sustancial de tiempo de inactividad extendido de la instalación durante altos vientos. Bajo estas condiciones, las cargas de la turbina dinámica están al máximo, rendimientos más favorables y simultáneamente las implicaciones de una avería son más severas debido al difícil acceso a la turbina. El desmantelamiento y la eliminación obligatoria de los cimientos permanentes al final de la vida operativa del parque eólico se considera también que es un coste subestimado asociado a las turbinas eólicas fijadas en alta mar, para lo que se debe apartar sumas sustanciales. Las turbinas eólicas marinas flotantes se pueden instalar en sitios con profundidades de agua muy superiores, fuera de la vista desde tierra, con menos interferencia en la migración de los pájaros y una producción de potencia aumentada debido a las condiciones de viento más fuertes y más estables. Además, el concepto flotante puede permitir el uso de remolcadores convencionales no especializados, que están fácilmente disponibles en cualquier mercado. Esto limita el posible tiempo de inactividad a un mínimo. Es por lo tanto un objeto de la presente invención proponer un sistema de turbinas eólicas flotantes.

45 [0005] La solicitud de patente del estado de la técnica W02006/121337 divulga una instalación de turbina eólica flotante para una turbina eólica flotante, que comprende un cilindro de hormigón flotante largo sumergido que es lastrado. Las líneas de anclaje individuales están conectadas cada una, a una cierta distancia desde el cilindro flotante en un punto de fijación sobre la línea de anclaje individual, a líneas dobles conectadas al cilindro flotante en una disposición en forma de delta. Esta configuración está, por lo tanto, limitada a turbinas eólicas únicas para aguas profundas ya que esta característica prominente, el cilindro de hormigón lastrado, hace que el diseño sea inadecuado para aguas poco profundas. La presente invención propone un sistema que es adecuado para turbinas eólicas múltiples para aguas poco y muy profundas.

50 [0006] La solicitud de patente US2008089746 divulga una plataforma flotante para una única turbina eólica que se puede instalar en aguas profundas o poco profundas. La plataforma se fija en posición usando cadenas fuertes conectadas a pesos pesados sobre el lecho marino. Mediante el cambio de la longitud de las cadenas, se puede instalar a profundidades muy diferentes. La plataforma comprende una estructura de acero con seis tuberías de acero huecas interconectadas que proporcionan la flotabilidad necesaria requerida durante el transporte marítimo, al igual que durante la operación en alta mar. La turbina eólica en sí está localizada sobre una torre de acero tubular sobre la plataforma. Una vez que la plataforma con la turbina completamente ensamblada ha llegado a su destino, el ensamblaje es temporalmente lastrado. Este lastre extra fuerza la plataforma hacia abajo en el agua y crea el juego libre necesario para enganchar las seis cadenas fijadas al contrapeso a la plataforma. Cuando el lastre extra se retira, la flotabilidad crea una fuerza ascendente por la cual las cadenas se tensan para proporcionar algo de estabilidad. En esta configuración, la flotabilidad necesaria requerida para el transporte marítimo está integrada en la plataforma para una turbina eólica única.

65 - La patente NL1008318 divulga un isla de turbina eólica que comprende varias turbinas eólicas equidistantes unas con respecto a las otras y colocadas sobre un cubo anclado al lecho marino por cables. Cada rotor de turbina eólica está sobre la parte superior de un pilar que está unido por tubos de hormigón

horizontales y fijado al cubo por cables de fijación radiales. Un mecanismo de accionamiento gira para llevar los rotores al viento. No se menciona nada sobre el método de instalación, que es un punto clave en el diseño de un sistema flotante que necesita ser transportado por el mar.

5 - La patente WO2007/009464 divulga una planta para explotar en el mar energía eólica que comprende diferentes turbinas eólicas que se instalan sobre una estructura que comprende barras longitudinales, medios de soporte y medios de anclaje. La estructura está también provista de elementos de flotabilidad provistos de lastre y la planta está adaptada de modo que se pueda ajustar dependiendo de la dirección del viento. En esta invención, la planta es una estructura flotable, soportada por la flotabilidad de elementos de flotabilidad o flotadores en el agua. Durante el remolque, se utiliza la flotabilidad completa de los flotadores, por lo tanto, durante el remolque la planta está alta en el agua, con todas las barras sobre el nivel del agua del mar, al igual que la mayor parte de la estructura de soporte. En esta configuración, la estabilidad es muy débil, el centro de gravedad está bien por encima del centro de flotabilidad y la estructura está permanentemente amenazada de inclinación. La estabilidad sólo se obtiene una vez que la planta se lleva al sitio de producción, cuando los medios de flotabilidad se lastran hasta que se obtiene tal equilibrio entre flotabilidad y masa.

[0007] La empresa de consultoría de ingeniería noruega *Force Technology* ha desarrollado una estructura flotante no tripulada eólica marina que se autoorienta hacia el viento y alberga tres turbinas eólicas montadas en cada esquina de una estructura de cimentación de acero soldada tipo celosía triangular flotante. La estructura de cimentación está anclada al lecho marino y se puede girar según cambie la dirección del viento. No obstante, en tal configuración, las turbinas eólicas están demasiado cerca unas de las otras e incluso si una es más alta que la otra, su eficiencia será limitada y no óptima.

[0008] La patente US6294844 divulga un convertidor de energía eólica de veleta que comprende turbinas eólicas que se montan sobre un bastidor provisto de cuerpos flotantes y medios de soporte que están dispuestos a cierta distancia desde el plano de las turbinas eólicas para mantenerlas sustancialmente orientadas de forma vertical. No obstante, esta construcción general alta y costosa con largas palas tiene un altísimo centro de gravedad que produce un comportamiento inestable del sistema flotante en condiciones meteorológicas difíciles.

[0009] La solicitud de patente WO02/073032 divulga una planta de generación de energía eólica flotante marina con sistema de amarre de punto único que fija un flotador al fondo marino, una o más unidades de generación de energía eólica están colocadas sobre el flotador. El flotador siempre se dirige a una orientación constante hacia el viento, la planta es horizontalmente giratoria alrededor del punto de amarre. En esta configuración, la fatiga y la tensión aplicada en el cable eléctrico son importantes, ya que aunque la estructura es bastante estable, el movimiento de la estructura debido a las olas y al viento tendrá un efecto de fatiga grande sobre el cable, especialmente en el punto de conexión.

[0010] Para aumentar la producción y hacer que la inversión valga la pena, muchos diseños existentes de turbinas eólicas marinas están usando un único generador de turbina eólica muy grande. No obstante, la instalación, el mantenimiento y la reparación de turbinas eólicas marinas muy grandes son operaciones muy costosas y frecuentemente dependen de buques de instalación dedicados especialmente diseñados.

[0011] La DE-A-3 224 976 divulga un sistema de amarre de un convertidor de energía eólica que incluye pivote giratorio eléctrico.

[0012] Por lo tanto, es un objetivo de la presente invención proporcionar un sistema flotante que asegure estabilidad general suficiente durante el transporte marítimo, que pueda resistir las enormes cargas dinámicas y las fuerzas de aceleración impuestas sobre la estructura en un modo de transporte flotante cuando se instale. Es otro objetivo de la presente invención proporcionar una solución rentable y un método con respecto a los costes de mantenimiento y de instalación de un sistema de turbina eólica flotante. Es otro objetivo de la presente invención proporcionar un sistema y un método de instalación que combine las tecnologías bien conocidas y probadas de la industria marina. También es un objetivo de la presente invención proporcionar un diseño para un sistema de turbina eólica marina flotante que evite los problemas de fatiga de los cables eléctricos.

[0013] La presente invención proporciona un dispositivo generador de energía flotante conforme a la reivindicación 1.

[0014] La presente invención también proporciona un método de instalación para un dispositivo generador de energía eólica flotante marino según la reivindicación 12.

[0015] La presente invención además proporciona una solución rentable para un sistema de convertidor de energía eólica que asegura estabilidad suficiente en general durante el transporte por mar. El uso de múltiples turbinas eólicas marinas de escala más pequeña es también una forma de aumentar la producción. Aunque tener varias turbinas eólicas pueden implicar tener más frecuentemente mantenimiento y reparación, estas operaciones son mucho menos costosas. De hecho, la producción no se tiene que detener para el cambio de una turbina eólica.

También el transporte en el mar es mucho más fácil en comparación con un flotador para una turbina muy grande, ya que varias más pequeñas proporcionan a un centro de gravedad del flotador que está mucho más abajo que el centro de gravedad de un molino flotante muy grande. Por lo tanto, la estabilidad durante el transporte y durante la operación se mejora. La estabilidad durante el transporte se puede mejorar reduciendo incluso más el centro de gravedad, lastrando la estructura de soporte, usando molinos de eje vertical, o en el caso de turbinas eólicas de eje horizontal, transportarlas sin el rotor y las palas.

Breve descripción de los dibujos

[0016] Las formas de realización preferidas de la invención se describen a continuación con referencia a los dibujos anexos, en los que:

La figura 1 muestra una vista frontal de un convertidor de energía eólica amarrado extendido.

La figura 2 muestra una vista frontal de un convertidor de energía eólica amarrado de tendón que dispone de palas retráctiles.

La figura 3 muestra una vista frontal de un convertidor de energía eólica amarrado de tendón, combinado con un sistema de convertidor de energía de las olas.

La figura 4 muestra una vista lateral de un sistema convertidor de energía eólica amarrado extendido catenario.

La figura 4a muestra un detalle de la conexión entre la estructura del convertidor de energía eólica y un cable eléctrico de exportación.

La figura 5 muestra una vista lateral del convertidor de energía eólica amarrado semitenso.

La figura 6 muestra una vista lateral de una energía eólica amarrada de tendón.

La figura 7 muestra una vista transversal detallada de la toma de potencia del sistema mostrado en la figura 3.

La figura 8 muestra una vista lateral de un convertidor de energía eólica de veleta según la presente invención.

La figura 9 muestra una vista desde arriba del convertidor de energía eólica mostrado en la figura 8.

Las figuras 10 a 12 muestran vistas laterales de formas de realización alternativas del diseño de convertidor de energía eólica de veleta mostrado en la figura 8.

Las figuras 13 y 14 muestran los diferentes pasos de la instalación de un convertidor de energía eólica amarrado extendido según la presente invención.

La figura 15 muestra un paso de la instalación de un convertidor de energía eólica amarrado de tendón según la presente invención.

Las figuras 16 a 19 muestran pasos diferentes de la instalación de un convertidor de energía eólica de veleta según la presente invención.

Las figuras 20 y 21 muestran la instalación de un parque eólico marino de convertidores de energía eólica, según la presente invención.

Descripción detallada de las figuras

[0017] Las figuras 1 a 3 muestran convertidores de energía eólica marinos similares. En cada figura una estructura abierta flotante 1 soporta tres turbinas eólicas 2, cada turbina eólica consta de una pala y una parte de rotor 3 montada en la parte superior de una torre 4. Las turbinas eólicas 2 de esta configuración particular son molinos de eje vertical. La estructura abierta flotante 1 es un cuerpo flotante alargado, las turbinas eólicas 2 están montadas a lo largo del eje longitudinal de la estructura abierta flotante 1. La estructura abierta flotante 1 comprende un bastidor, hecho de partes huecas verticales y horizontales 5a, 5b y 5c. Estas partes huecas proporcionan la flotabilidad necesaria requerida para la estabilidad durante el transporte marítimo, al igual que durante el funcionamiento en alta mar. Algunas de las partes huecas pueden ser lastrables con agua de mar de modo que se ajuste la flotabilidad de la estructura abierta flotante. Estas características son formas posibles de bajar el centro de gravedad y mejorar la estabilidad durante el transporte y la instalación. Además, en las figuras 1 a 3, la estructura abierta flotante 1 está conectada a un cable de exportación único de alta tensión sumergido 7 para recolectar la energía generada por las

turbinas eólicas y transformar la energía antes de exportar la electricidad generada por las turbinas eólicas 2 a través de la línea de exportación de energía. El cable de exportación 7 está conectado a la estructura abierta flotante 1 a través de una única unidad electrónica de potencia de control 8.

5 [0018] Como se muestra en la figura 1, la estructura abierta flotante 1 está amarrada al lecho marino con líneas de amarre catenarias 6 unidas en ambas extremidades del eje longitudinal de la estructura abierta flotante 1. La parte hueca superior horizontal 5b proporciona una plataforma que permite al personal circular y tener un fácil acceso a las torres de turbinas eólicas y a la unidad electrónica de potencia de control para inspección, mantenimiento, etc.

10 [0019] En la figura 2, las turbinas eólicas de eje vertical son retráctiles (o plegables, no mostrado) y se muestran en diferentes estados: un estado completamente retractado 9a, un estado de abertura intermedia 9b y un estado completamente abierto 9c. En la figura 2, la estructura abierta flotante 1 comprende un bastidor más ligero que el mostrado en la figura 1. Tiene tubos 10a que interconectan tubos superiores e inferiores horizontales 10b y 10c con tubos horizontales 10d que están dispuestos en ángulos rectos del eje longitudinal de la unidad flotante 1. La estructura abierta flotante 1 está amarrada al lecho marino con líneas de amarro tensionadas o tendones 6 unidos en ambas extremidades de los extremos longitudinales de la estructura abierta flotante 1. En esta configuración operativa y amarrada, el centro de gravedad puede ser bajo y puede estar por debajo, en o incluso sobre el centro de flotabilidad.

20 [0020] El acceso 11 del personal a las turbinas eólicas para mantenimiento e inspección está provisto en cada parte de torre 4 y la unidad electrónica de potencia de mando única está integrada en una de las torres de turbinas eólicas 4.

25 [0021] En la figura 3, la estructura abierta flotante 1 está también amarrada al lecho marino con líneas de amarre tensionadas o tendones 6 unidos en las esquinas de la estructura abierta flotante 1. La estructura abierta flotante 1 soporta un sistema generador de potencia de olas sumergido 12 compuesto por paneles pivotantes sumergidos 13 que recogen la energía de los frentes de presión de las olas que pasan por inclinación o movimiento rotativo en el bastidor formado por tubos de interconexión 10a, 10b y 10c. La potencia producida se exporta a la unidad electrónica de potencia de control única 8 que recoge también la electricidad producida por las turbinas eólicas 2. La electricidad producida se transfiere después a los usuarios y/o a la costa vía un cable de exportación 7.

30 [0022] En figuras 4 a 6, los convertidores de energía eólica marinos son idénticos a los descritos en las figuras 1 a 3. En estas figuras se muestran diferentes sistemas de amarre. La figura 4 muestra, por ejemplo, una vista lateral de un convertidor de energía eólica según la presente invención. Dos líneas de amarre catenarias 6a y 6b están unidas a la extremidad mostrada de la estructura abierta flotante 1.

35 [0023] El cable de electricidad de exportación 7 tiene una configuración de "S suave" según se extiende hacia el fondo del mar vía una boya intermedia 15 que está anclada al lecho marino. Desde la boya intermedia 15 el cable de exportación 7 se extiende en una curva suave hacia el fondo del mar 16. Esta configuración permite desacoplar la parte del cable de electricidad 7 que se encuentra sobre o en el lecho marino del movimiento de la estructura abierta flotante 1 debido a las olas y al viento.

40 [0024] Otra opción para reducir la fatiga del cable de electricidad 7 se muestra en la fig. 4a que representa un detalle de la fig. 4, fig. 5 o fig. 6. El punto de conexión C entre el cable de electricidad sumergido 7 y el cable a bordo que va a la unidad electrónica de potencia 8 sobre la estructura flotante 1 representa un punto importante sometido a gran cantidad de tensión y fatiga. La estructura abierta flotante 1, aunque es muy estable, se mueve alrededor de su posición de diseño media debido al oleaje, el balanceo y la oscilación y cambia su orientación angular con respecto a su posición media también, debido a la inclinación, balanceo y guiñada. Este es el motivo de que dichas compensaciones de unidad flotante angular relativa/cable de electricidad puedan dar como resultado cargas de plegado altas y tensión mientras que las compensaciones transicionales y combinadas angulares y traduccionales pueden resultar en variaciones altas en las tensiones eficaces en los sistemas de agarre de cable. Para desacoplar los movimientos de la estructura abierta flotante 1, el cable en sí podría tener un diseño multibobina o se puede guiar a través de un tubo que tiene una forma multibobina. Las bobinas S pueden formar líneas continua o segmentadas, dispuestas en bucles y/o espirales L, de modo que cualquier plegado de la parte superior del cable de electricidad 7 se transforme principalmente en torsión en las bobinas S. Si es necesario se puede usar un estrangulador de plegado además en la parte del cable 7 que cuelga directamente por debajo de la multibobina.

45 [0025] En la figura 5, el convertidor de energía eólica está amarrado (semi) tenso al lecho marino vía líneas de amarre tensas inclinadas 18. Las líneas de amarre tensas 18 están compuestas por cable (acero o fibras sintéticas) para la mayor parte de la columna de agua y disponen de una cadena pesada 19 cerca del lecho marino. Las anclas 17 usadas pueden ser de diferente tipo, tal como anclas verticalmente cargadas, anclas de gravedad, pilas de succión, pilas conducidas, etc..

50 [0026] En la figura 6, el convertidor de energía eólica está amarrado tenso al lecho marino vía líneas de amarre tensas verticales o tendones 20. El sistema de amarre puede estar provisto de líneas de amarre catenarias laterales adicionales 21 que reducen el desplazamiento lateral de mantener el convertidor de energía eólica debido a fuertes

vientos y/o corrientes. Las anclas 17 usadas pueden ser de diferentes tipos tales como anclas verticalmente cargadas, anclas de gravedad, pilas de succión, pilas dirigidas, etc..

[0027] La figura 7 muestra una vista transversal detallada de la toma de potencia del sistema mostrado en la figura 3 donde el convertidor de energía eólica está acoplado a un convertidor de energía de olas. La configuración del convertidor de energía eólica es similar a los descritos en las figuras precedentes. En la figura 7, la extremidad detallada de la estructura abierta flotante 1 está compuesta por elementos huecos cilíndricos 10a, 10c y 10d, con líneas de amarre tensionadas 6 conectadas a la parte inferior 22 de los elementos cilíndricos 10a. El convertidor de energía eólica está amarrado tenso al lecho marino vía líneas de amarre tensas inclinadas 18. En la otra extremidad de la estructura abierta flotante 1, hay una configuración idéntica. En cada torre de turbina eólica 4 un acceso fácil 11 está provisto por encima de la superficie del agua. Fijados al bastidor hay dos paneles pivotantes sumergidos 13, uno a cada lado. Estos paneles pivotantes 13 están colocados en una profundidad activa de olas para la recogida óptima de la energía de las olas. En la figura 7, una extremidad de los paneles está fijada de manera pivotante al bastidor de la estructura abierta flotante 1, la otra extremidad está conectada vía una barra o cable 23 al mecanismo de control o sistema de toma de potencia 24 localizado en la torre 4 de la turbina eólica 2. En la presente forma de realización, el sistema de toma de potencia 24 usa la extensión del cable 23 bajo cargas de olas. Al pivotar bajo la acción de las olas, los paneles 13 tensionarán el cable 23, que pasa vía un piñón 28, que luego activa el cable de toma de potencia 25 conectado al generador lineal 27. El sistema de toma de potencia 24 también se puede usar como un accionador para controlar y optimizar la producción de potencia (diferentes técnicas de control conocidas se pueden utilizar, tales como control reactivo, control de fase, retención). Puede usar una combinación de diferentes sistemas tales como sistema electromecánico, sistema de polímeros electro activos, sistema hidráulico, sistema mecánico o sistema piezoeléctrico (esta lista no es limitativa). El cable 13 y el cable de toma de potencia 25 pueden estar hechos de material sintético extensible (SSM), tal como polímeros electro activos (EAP) que generan electricidad cuando la distancia entre sus extremidades cambia, como cuando son estirados. La electricidad producida por la turbina eólica y la unidad generadora de potencia de olas es transferida vía la unidad de control de potencia central al cable de exportación de electricidad.

[0028] Las figuras 8 a 12 muestran convertidores de energía eólica según la invención que están conectados a través de un brazo pivotante a sus sistemas de amarre, cada convertidor de energía eólica puede hacer veleta.

[0029] La figura 8 muestra un convertidor de energía eólica como se describe en la figura 4. La única diferencia está en lo que se refiere al sistema de amarre. En esta forma de realización, un brazo rígido conecta el convertidor de energía eólica a una boya de amarre flotante única 30 anclada por varias líneas de amarre o cadenas 31 que se extienden en curvas catenarias desde la boya 30 al lecho marino. El brazo rígido es una horquilla de conexión rígida pivotante 29 que hace una conexión mecánica entre la estructura abierta flotante 1 y la boya de amarre 30. La boya de amarre 30 en esta forma de realización particular es una boya tipo CALM que tiene sobre su eje de rotación 34 una plataforma giratoria eléctrica central 32, el estátor está conectado al cable de exportación de electricidad sumergido 33 y el rotor está conectado vía un cable de electricidad 7 a la unidad electrónica de potencia 8 sobre la estructura abierta flotante 1.

[0030] La figura 9 es una vista desde arriba de la forma de realización mostrada en la figura 8. La boya de amarre 30 en esta forma de realización particular dispone de líneas de amarre agrupadas 31 que pueden ser por ejemplo una disposición de línea de amarre 3x2, 3x3 o 3x4. En cada grupo hay al menos una línea de amarre por cuestiones de redundancia en caso de que una línea de amarre se rompa. El cable de electricidad 7 va desde la unidad electrónica de potencia de control 8 a la plataforma giratoria central 32 en el espacio entre dos grupos de líneas de amarre. En esta figura, la dirección del viento se muestra por la flecha 35; todas las turbinas eólicas 2 montadas sobre la estructura abierta flotante 1 están posicionan a favor del viento con respecto al punto de veleta 34 del sistema de amarre 30.

[0031] Las figuras 10 y 11 muestran otras formas de realización para los sistemas de amarre. En la figura 10, un brazo de armazón rígido pivotante 39 conecta una parte basada en el mar 37 y una parte de superficie de mar 38. El brazo de armazón rígido 39 rota alrededor del eje central 36 de la parte basada en el mar 37. La parte de la superficie del mar 38 está conectada a la estructura abierta flotante 1 del convertidor de energía eólica vía una horquilla de conexión rígida pivotante 29. El cable de electricidad 7 va desde la unidad electrónica de potencia de control 8 hasta el pivote eléctrico central en la parte de la superficie del mar 38 del sistema de amarre. El cable de exportación 33 es soportado por el brazo de armazón rígido 39 desde la parte de la superficie del mar 38 hasta el lecho marino.

[0032] En la figura 11, el sistema de amarre está también provisto de cadenas de amarre laterales 31 que crean una fuerza restauradora cuando la estructura abierta flotante se desplazada lateralmente. Cables, cadenas o tubos 40 conectan un punto de amarre de una parte basada en el mar 37 y una parte de la superficie del mar 38. La parte de la superficie del mar 38 tiene una forma alargada vertical con conexiones para las líneas de amarre laterales 31. Por encima del nivel del mar, la parte 38a está conectada a una horquilla de conexión rígida pivotante 29 en un punto de conexión de veleta 4 sobre el que se encuentra un pivote eléctrico.

[0033] La figura 12 muestra una forma de realización donde el sistema de amarre es un sistema de tipo de mástil para entornos de aguas profundas. El convertidor de energía eólica está conectado vía una horquilla de conexión rígida pivotante 29 a una unidad flotante de columna única vertical y de gran calado 42 que está amarrada tensa al lecho marino a través de cables 43. Como se muestra en la forma de realización precedente, la parte del sistema de amarre por encima del nivel del mar tiene un punto de conexión de veleta 41, donde la horquilla de conexión rígida pivotante 29 está unida.

[0034] Según la presente invención, se pueden usar muchas tecnologías probadas y bien conocidas en el dominio de los sistemas de amarre para amarrar un convertidor de energía eólica que comprende diferentes turbinas eólicas de escala pequeña y que tiene una configuración que aumenta la estabilidad de la estructura total manteniendo el centro de gravedad lo más bajo posible cuando está en funcionamiento. Además, la estructura abierta flotante del convertidor de energía eólica es adaptable a cualquier tipo de molino, aunque sólo se muestren turbinas eólicas de eje vertical, la invención no se limita al uso de tales molinos, molinos de eje horizontal contra el viento o a favor del viento, diferentes tipos de turbinas eólicas con diferentes formas de aletas o longitudes, o tipo de generadores, un diseño de torre diferente, la altura se puede adaptar a la estructura abierta flotante según la invención. Debería también observarse que el sistema de veleta puede ser un sistema tanto semi como completamente de veleta. El uso de tecnología bien probada y de turbinas eólicas de escala más pequeña proporciona ventajas importantes como se ha mencionado anteriormente, pero otros factores pueden aún mejorar el dispositivo y reducir aún los costes totales.

[0035] Por lo tanto, también es un objetivo de la presente invención proporcionar un método de instalación para un dispositivo generador de energía eólica flotante marino según la presente invención. Los costes de instalación de tal dispositivo es un asunto importante, especialmente cuando el coste total durante su tiempo de vida se toma en cuenta incluyendo transporte para reparaciones y fines de mantenimiento. Es un objetivo de la presente invención proporcionar una estabilidad de la estructura durante el transporte marítimo. Según la invención, la estructura abierta flotante dispone de medios para bajar el centro de gravedad y/o elevar el centro de flotabilidad durante el transporte, por ejemplo, a través de tanques de lastre que se lastran durante el modo de transporte o añadiendo elementos de flotabilidad temporales. Por lo tanto, el centro de gravedad de la estructura abierta flotante se puede colocar por debajo del centro de flotabilidad, lo que es ideal para la estabilidad durante el transporte en el mar. Según la invención, el coste de la instalación marina total se reduce además usando, por ejemplo, líneas de amarre preinstaladas, una rejilla de electricidad preinstalada, proporcionando acceso fácil a la instalación y los buques de mantenimiento, etc.

[0036] Las figuras 13 a 14 muestran diferentes pasos de la instalación de un convertidor de energía eólica flotante amarrado extendido según la invención.

[0037] La figura 13 muestra que las líneas de amarre del sistema de amarre 43 están preinstaladas antes de que la estructura abierta flotante 1 haya llegado al lugar y antes de que se conecte al sistema de amarre. Representa también una situación donde la estructura flotante abierta está desconectada del sistema de amarre y remolcada a la costa para fines de mantenimiento y reparación. En la figura 13 un remolcador convencional no especializado 44 remolca una estructura abierta flotante 1 sobre la que tres turbinas eólicas 2 están montadas. Las palas de las turbinas eólicas se retractan o se pliegan durante el transporte por mar. El sistema de amarre 43 se fija (temporalmente) a una boya temporal 46 de modo que flota independientemente cuando no está conectado a la estructura abierta flotante 1. Otro remolcador no especializado o buque de instalación 45 se utiliza para instalar las líneas de amarre 31, desconectándolas de la estructura flotante temporal 46, llevándolas a la estructura abierta flotante 1 y conectándolas a esta (o a la inversa cuando la estructura flotante está desconectada de su sistema de amarre para mantenimiento en la costa). Al igual que para las líneas de amarre del sistema de amarre, el cable de exportación 7 está preinstalado antes de la llegada y la conexión de la estructura abierta flotante 1 y puede estar conectado a la boya temporal 46 también.

[0038] Una vez que la estructura abierta flotante es amarrada vía el sistema de amarre al lecho marino y el cable de exportación 7 conectado a la unidad electrónica de potencia única 8, las turbinas eólicas están preparadas para el funcionamiento mediante su expansión o despliegue (o añadiendo las palas de la turbina eólica, en el caso de molinos de eje horizontal). El remolcador no especializado o buque de instalación 45 remolca la boya temporal 46 de nuevo a la costa. El remolcador no especializado 44 o cualquier buque de mantenimiento, puede amarrarse a sí mismo a la estructura abierta flotante 1, preferiblemente a favor del viento de las turbinas eólicas, en una zona de desembarco más protectora.

[0039] La figura 15 muestra un paso de la instalación de un convertidor de energía eólica flotante amarrado de tendón. El método de remolque en el sitio de la estructura abierta flotante es muy similar al descrito en la figura 13. Si la estructura abierta flotante 1 no es lastrable o no lo suficientemente estable, elementos de flotabilidad temporales 47 se pueden añadir para levantar el centro de flotabilidad con respecto al centro de gravedad durante el modo de transporte. También el sistema de amarre puede estar provisto de elementos de flotabilidad temporales 46 para mantener éste flotante cuando la estructura abierta flotante 1 no está conectada a éste. Por lo tanto, durante el transporte de la estructura abierta flotante el centro de gravedad se mantiene lo más bajo posible para mejorar la estabilidad de la estructura total. La estructura abierta flotante 1 se puede lastrar durante el modo de transporte y/o

de transmisión en circuito, y se puede deslazar parcialmente o completamente en el modo operativo. La instalación completa comprende los siguientes pasos:

- 5 - pre-instalar en el sitio en alta mar las líneas de amarre de un sistema de amarre de tendón, los tendones verticalmente orientados están provistos de flotabilidad temporal,
- remolcar al sitio la estructura abierta flotante lastrada 1 con turbinas eólicas 2,
- 10 - conectar la estructura abierta flotante 1 a los tendones de amarre preinstalados 18 del sistema de amarre y ejercer una fuerza de tensión sobre los tendones conectados por deslazar de la estructura abierta flotante 1,
- recuperar la flotabilidad temporal desde los tendones,
- 15 - preparar cada turbina eólica 2 para modo operativo por expansión, despliegue o adición de las palas de la turbina eólica.

[0040] Las figuras 16 a 19 muestran pasos diferentes de la instalación de un convertidor de energía eólica flotante de veleta según la invención.

20 [0041] La figura 16 muestra una vista desde arriba del sistema justo cuando el sistema de amarre no está conectado a la estructura abierta flotante, por ejemplo durante la instalación en el sitio de la estructura abierta flotante 1. Se muestra que el sistema de amarre incluye una horquilla de conexión pivotante 29 y una boya de amarre 30 que está anclada al lecho marino con puntos de anclaje y líneas de anclaje con forma catenaria 31. En una forma de
25 realización alternativa (no mostrada) la horquilla es parte de la estructura abierta flotante y no es parte del sistema de amarre. El método de instalación comprende los siguientes pasos:

- 30 - preinstalar un sistema de amarre de monopunto que comprende una boya 30 anclada al lecho marino con puntos de anclaje y líneas de anclaje en forma catenaria 31, y una plataforma giratoria sobre la que se coloca pivote eléctrico y al que una horquilla de conexión pivotante 29 está unida, el cable de exportación 33 está preinstalado ya también.
- remolcar la estructura abierta flotante con turbinas eólicas 2 al sitio,
- 35 - posicionar los puntos conectores 50 de la estructura abierta flotante cara a cara con a los puntos de conexión 51 de la horquilla de conexión rígida pivotante y hacer una conexión mecánica entre la estructura abierta flotante 1 y el sistema de amarre preinstalado con la ayuda de un remolcador 44 como se muestra en las figuras 17 y 18.
- 40 - crear una conexión eléctrica entre un cable de electricidad 7 de la turbina eólica y el cable de exportación de electricidad 33 vía el pivote eléctrico (como se muestra en la figura 19).

[0042] Una de las ventajas principales del sistema y el método según la presente invención es que el sistema es desconectable, la estructura abierta flotante con turbinas eólicas se puede desconectar del sistema de amarre y ser
45 arrastrada a la costa para fines de reparación y mantenimiento. Por lo tanto, una primera estructura abierta flotante con turbinas eólicas se pueden desconectar del sistema de amarre y remolcar a la costa y ser sustituida por una segunda estructura abierta flotante con turbinas eólicas conectable al sistema de amarre reduciendo así el tiempo de apagado total, mientras se realiza el mantenimiento o la reparación en la primera estructura abierta flotante.

50 [0043] Otra ventaja es que es posible parar y reparar una única turbina eólica mientras que las demás turbinas eólicas de la estructura abierta flotante 1 se mantienen en completa operación. Por lo tanto, la eliminación y la sustitución de una pala y parte de rotor montada en la parte superior de una torre de una única turbina eólica no implica parar la producción.

55 [0044] Las figuras 20 y 21 muestran la instalación de un parque de convertidores de energía eólica según la presente invención. El principio es el mismo que el que se ha descrito para una única estructura abierta flotante. Los sistemas de amarre están preinstalados, al igual que un cable de exportación 33 que interconecta cada sistema de amarre preinstalado. En la forma de realización particular mostrada en la figura 20 y 21, los sistemas de amarre
60 monopunto preinstalado 53 comprenden una boya 30 anclada al lecho marino con puntos de anclaje y líneas de anclaje de forma catenaria 31, y una plataforma giratoria sobre la que se coloca un pivote eléctrico 32 y al que está unida una horquilla de conexión pivotante 29.

[0045] En la figura 21, se muestran múltiples estructuras abiertas flotantes 1 conectadas a las boyas de amarre 30. La dirección del viento se indica con la flecha 66, y como todos los sistemas de turbina eólica están colocados a
65 favor del viento con respecto con su sistema de amarre de veleta 53, las turbinas eólicas están colocadas perpendiculares a la dirección del viento, que es la posición óptima.

5 [0046] Un cable de electricidad 7 se ha instalado entre cada estructura abierta flotante y cada pivote eléctrico 32. La electricidad producida se envía a una unidad transformadora de potencia central 70 como se indica por las flechas 60, 61 y 62. La unidad transformadora de potencia central 70 transforma la electricidad producida recogida de múltiples sistemas convertidores de energía eólica y la envía de la forma más efectiva (CA o CD, dependiendo de la longitud del cable de exportación) a la rejilla o a la costa.

10 [0047] Según la presente invención, un dispositivo convertidor de energía eólica está provisto, a este dispositivo se le da alta estabilidad durante el transporte por el mar y durante el funcionamiento. Es adaptable a todos los tipos de turbinas eólicas y está amarrado al lecho marino vía sistemas de amarre bien probados y conocidos que pueden ser todo ventajas dependiendo de las condiciones medioambientales y la profundidad del agua del sitio. El método de instalación propuesto en esta solicitud de patente reduce el camino crítico del procedimiento de instalación y reduce el coste total.

15 [0048] Como será aparente para los expertos en la técnica, a la luz de la descripción precedente, muchas alteraciones y modificaciones son posibles en la práctica de esta invención sin apartarse del alcance, tal y como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo generador de energía flotante que comprende al menos dos turbinas eólicas montadas sobre una estructura abierta flotante que comprende un bastidor de tubos huecos interconectados sumergidos (10b, 10c, 10d) 5
amarrados al lecho marino vía un sistema de amarre, cada turbina eólica presenta, en el modo operativo, una pala y una parte de rotor montada en la parte superior de una torre y está conectada vía un cable a un cable de exportación de potencia de alta tensión sumergido (33) para exportar la electricidad generada por al menos dos molinos, el sistema de amarre comprende una plataforma giratoria que se extiende al menos parcialmente por encima del nivel del agua y está por encima del nivel del agua unida a una estructura abierta vía un brazo de manera que la 10
estructura abierta puede hacer veleta alrededor de un eje de rotación del sistema de amarre, el sistema de amarre soporta sobre su eje de rotación un pivote eléctrico (32), cuyo estátor está conectado al cable de exportación de potencia de alta tensión sumergido (33) y cuyo rotor está conectado a los cables de las turbinas eólicas, **caracterizado por el hecho de que** la estructura abierta flotante comprende una unidad electrónica de potencia de control central (8) colocada sobre la estructura abierta flotante conectada a la unidad electrónica de potencia de 15
control (8) colocada sobre la estructura abierta flotante conectada a los cables de las turbinas eólicas y al rotor del pivote (32) donde la estructura abierta flotante está conectada a la plataforma giratoria vía una horquilla pivotante (29) que comprende dos brazos interconectados que se extienden desde puntos de conexión separados entre sí sobre la estructura abierta hasta la plataforma giratoria, los brazos forman un ángulo agudo.
2. Dispositivo generador de energía flotante según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** la estructura abierta flotante (1) está provista de tanques de lastre que se lastran durante el modo de transporte. 20
3. Dispositivo generador de energía flotante según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** al menos dos turbinas eólicas (2) están provistas de palas retráctiles o plegables. 25
4. Dispositivo generador de energía flotante según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el cable de exportación (33) de uno o más dispositivos generadores de energía flotantes está conectado al cable de exportación (33) o unidad del sistema electrónico de potencia de un dispositivo 30
generador de energía flotante central, para crear un parque eólico marino de dispositivos generadores de energía flotantes.
5. Dispositivo generador de energía flotante según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** la estructura abierta flotante (1) proporciona un área de desembarque protegida para un buque de mantenimiento. 35
6. Dispositivo generador de energía flotante según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** la estructura abierta flotante (1) se puede conectar y desconectar del brazo. 40
7. Dispositivo generador de energía flotante según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la estructura abierta flotante (1) soporta al menos un sistema generador de potencia de olas sumergido, la potencia producida se exporta a la unidad electrónica de potencia de mando único que recoge también la electricidad producida por los molinos. 45
8. Dispositivo generador de energía flotante según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, donde están provistos medios de desacoplamiento para limitar la tensión ejercida en el cable de exportación de potencia de alta tensión (33). 50
9. Dispositivo generador de energía flotante según la reivindicación 8, **caracterizado por el hecho de que** los medios de desacoplamiento comprenden medios de flotabilidad provistos sobre el cable de exportación de potencia de alta tensión (33) para que el cable tenga una configuración de "S suave" al extenderse hacia el fondo del mar. 55
10. Dispositivo generador de energía flotante según la reivindicación 8, **caracterizado por el hecho de que** los medios de desacoplamiento comprenden unos medios de cable multibobina helicoidales que tienen un primer extremo conectado a dicho cable de exportación de potencia de alta tensión (33) y que tienen un segundo extremo conectado a la unidad electrónica de potencia de control central presente sobre la estructura abierta flotante, dichos 60
medios de cable helicoidales pueden transformar el plegado de la parte superior de la exportación de la potencia de alta tensión principalmente en la torsión en las bobinas.
11. Dispositivo generador de energía flotante según las reivindicaciones 9 y 10, **caracterizado por el hecho de que** los medios de desacoplamiento comprenden tanto medios de flotabilidad proporcionados sobre el cable de exportación de potencia de alta tensión (33) como medios de cable multibobina helicoidales que tienen un primer extremo conectado a dicho cable de exportación de potencia de alta tensión y que tienen un segundo extremo conectado a la unidad electrónica de potencia de control central presente sobre la estructura abierta flotante. 65

12. Método para la instalación del dispositivo generador de energía flotante como se establece en cualquiera de las reivindicaciones 1-11, **caracterizado por** los pasos de preinstalación de un sistema de amarre monopunto que comprende una boya anclada al lecho marino con puntos de anclaje y líneas de anclaje de forma catenaria, y una plataforma giratoria sobre la que está colocado un pivote eléctrico y al que está unida una horquilla de conexión pivotante, remolque de la estructura abierta flotante con al menos dos turbinas eólicas al sitio, colocación de los puntos conectores de la estructura abierta flotante cara a cara con a los puntos de conexión de la horquilla de conexión rígida pivotante y realización de una conexión mecánica entre la estructura abierta flotante y el sistema de amarre preinstalado, creación de una conexión eléctrica entre un cable de electricidad de la turbina eólica y el cable de exportación eléctrico vía el pivote eléctrico.

5
10

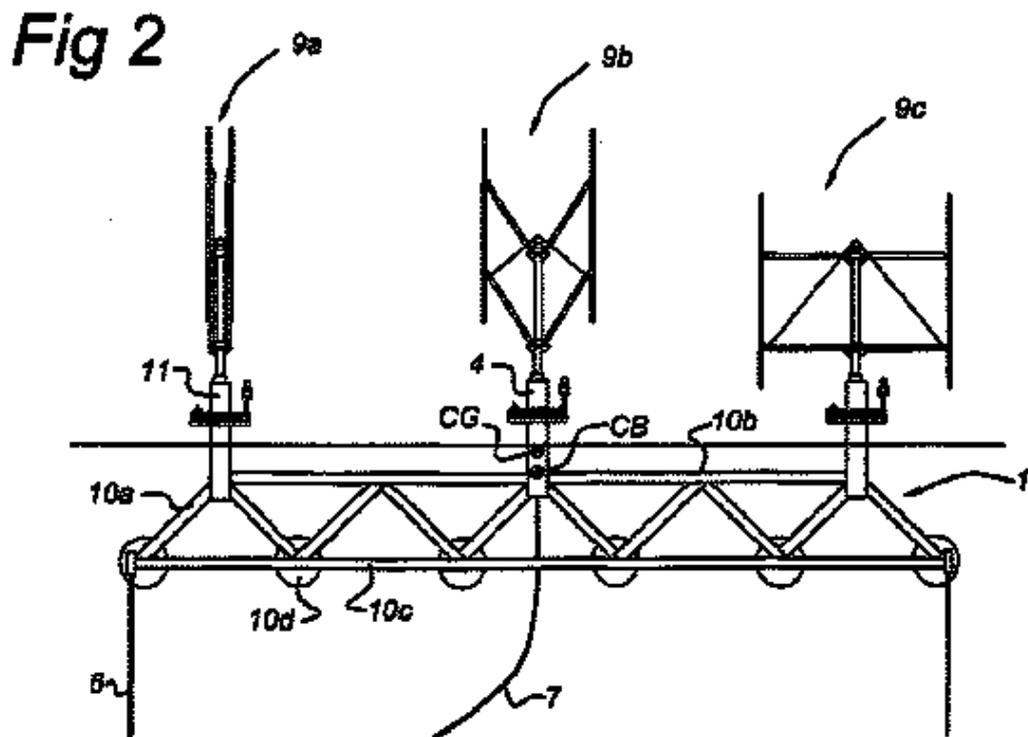
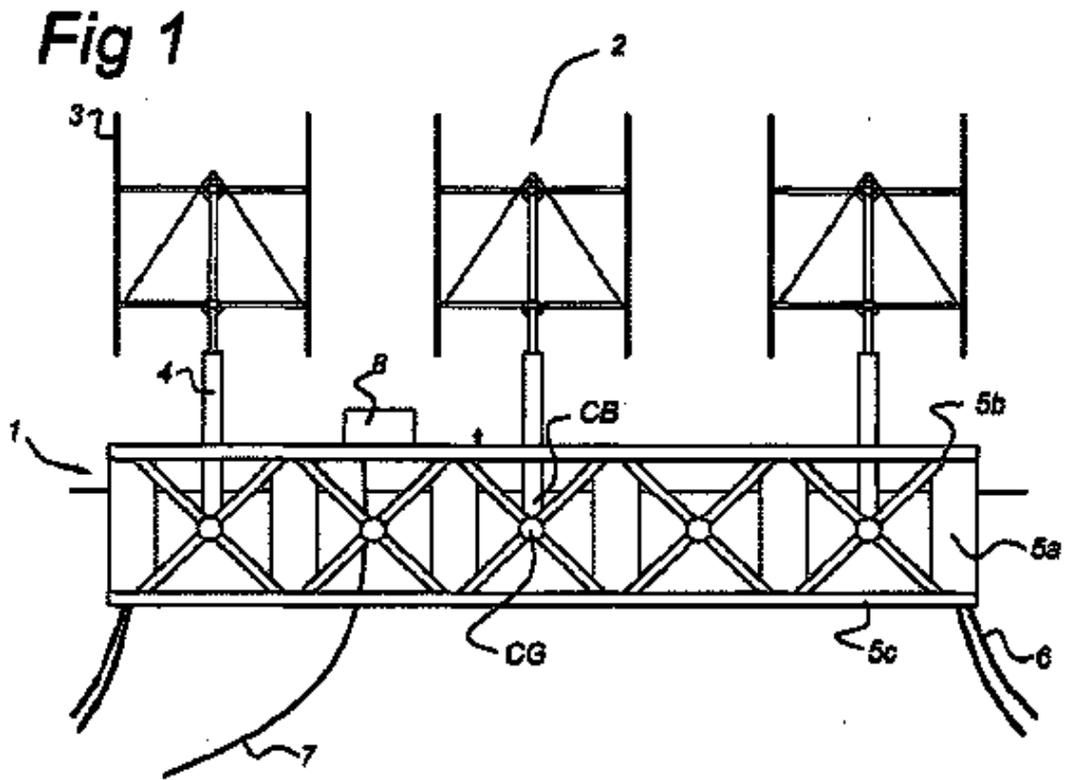


Fig 3

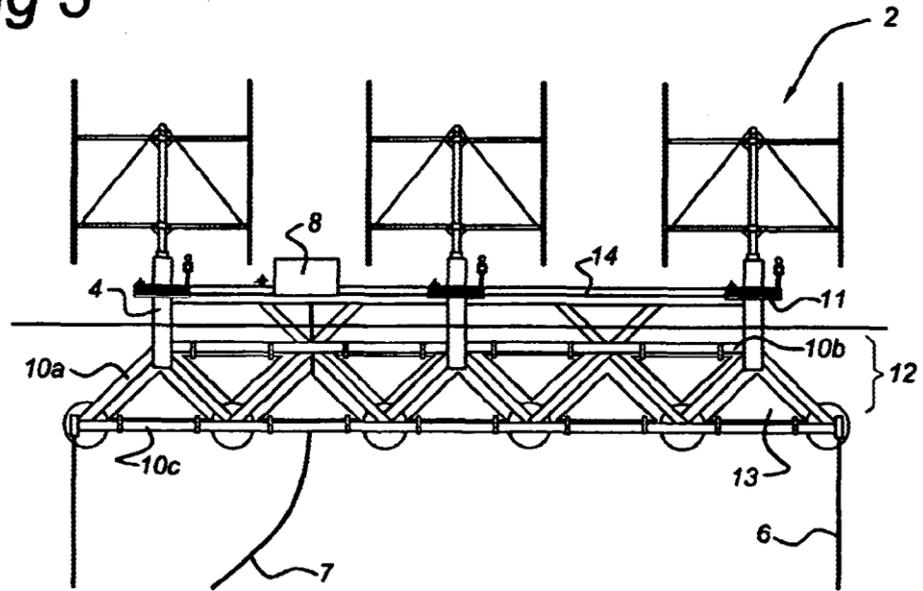


Fig 4

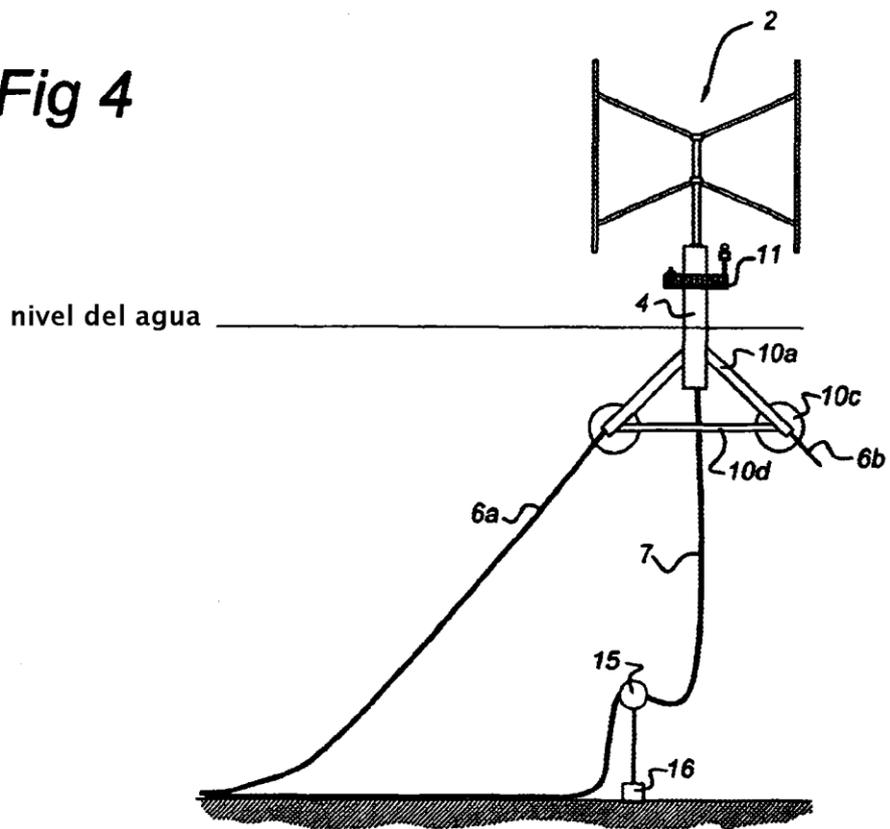


Fig 4a

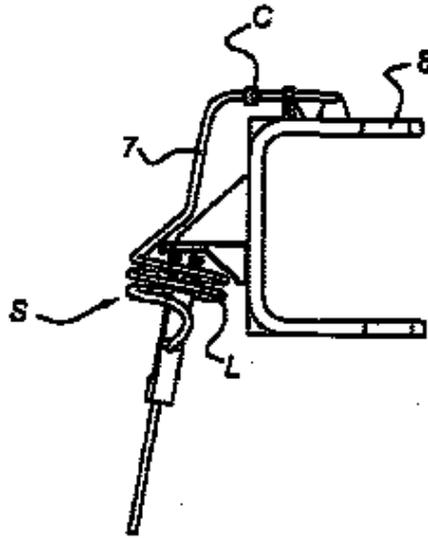


Fig 5

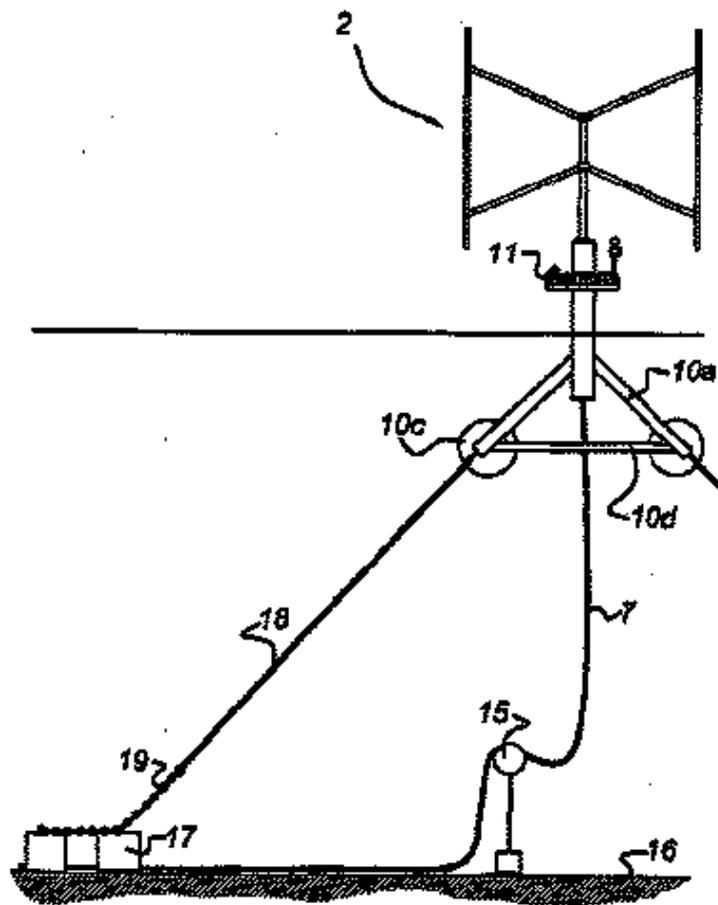


Fig 6

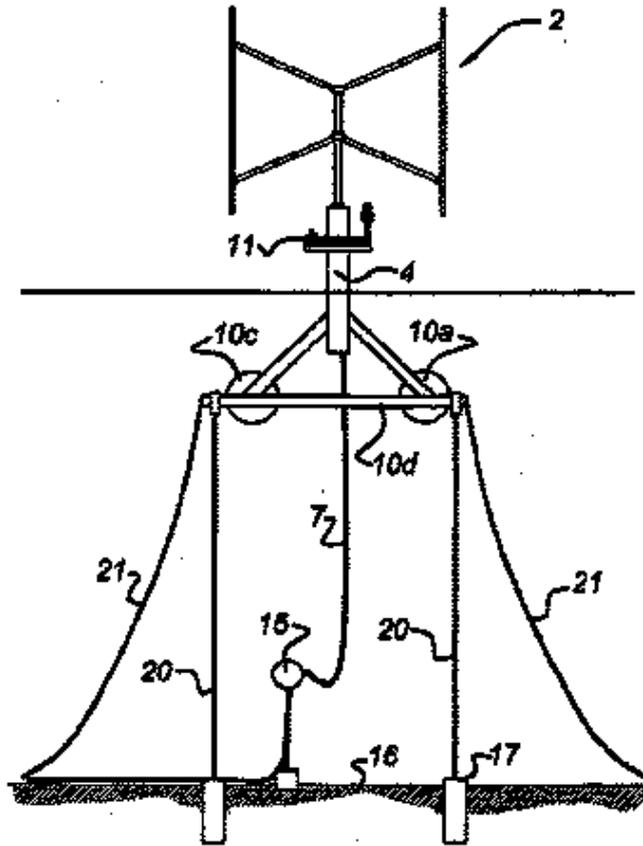


Fig 7

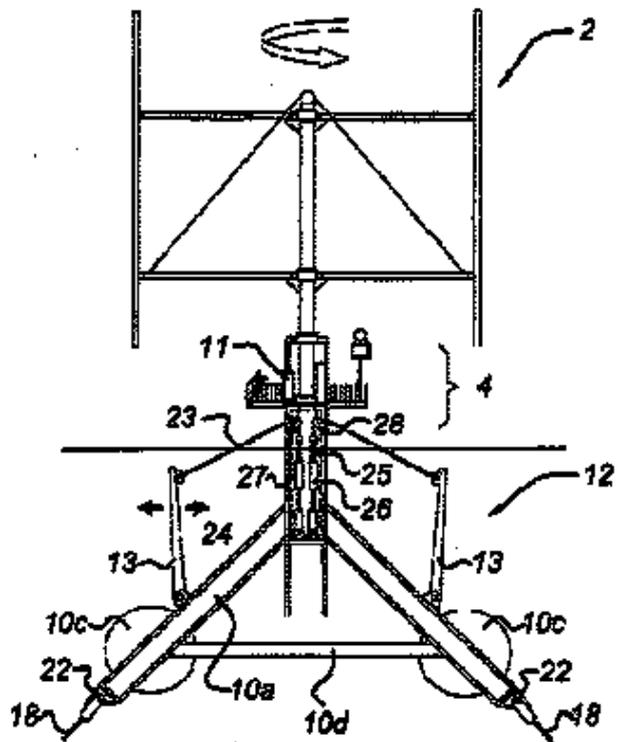


Fig 8

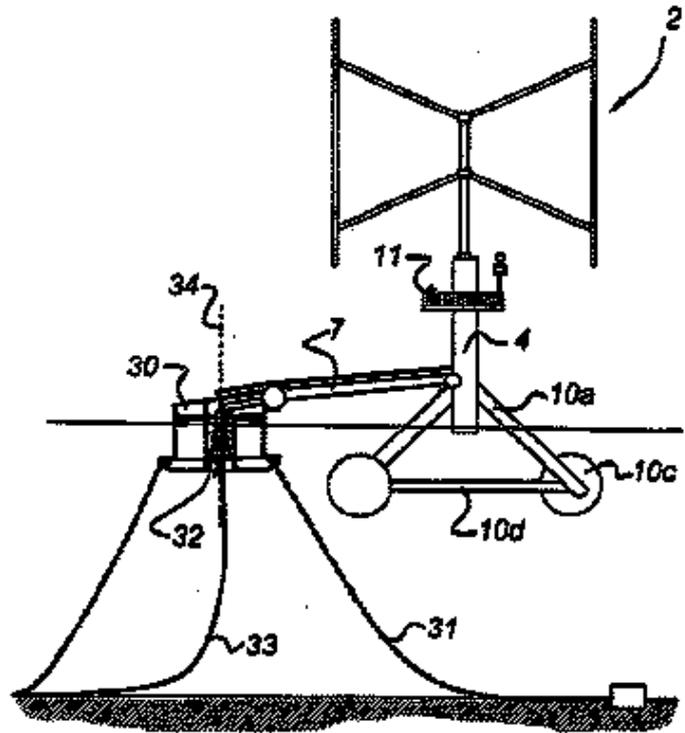


Fig 9

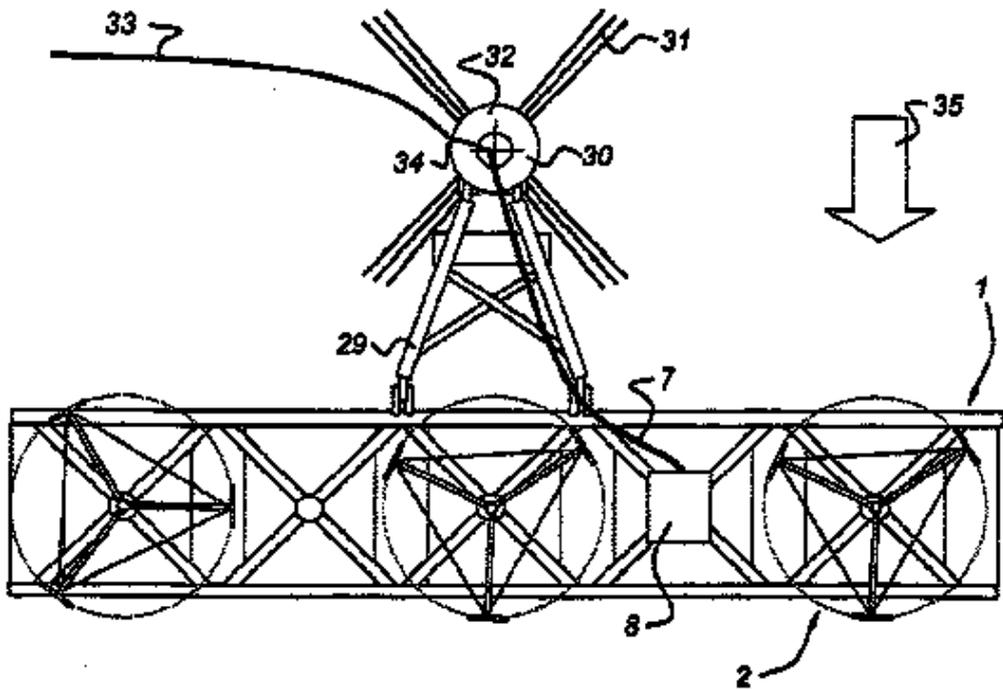


Fig 10

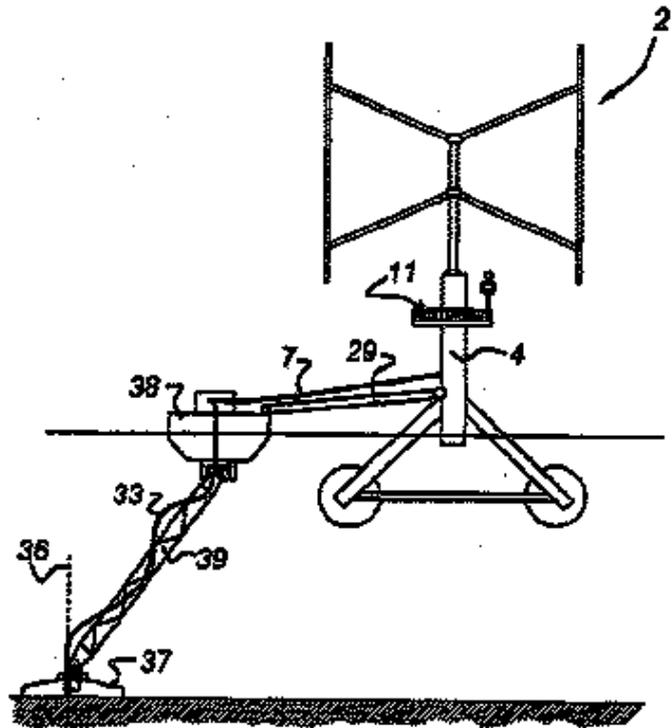


Fig 11

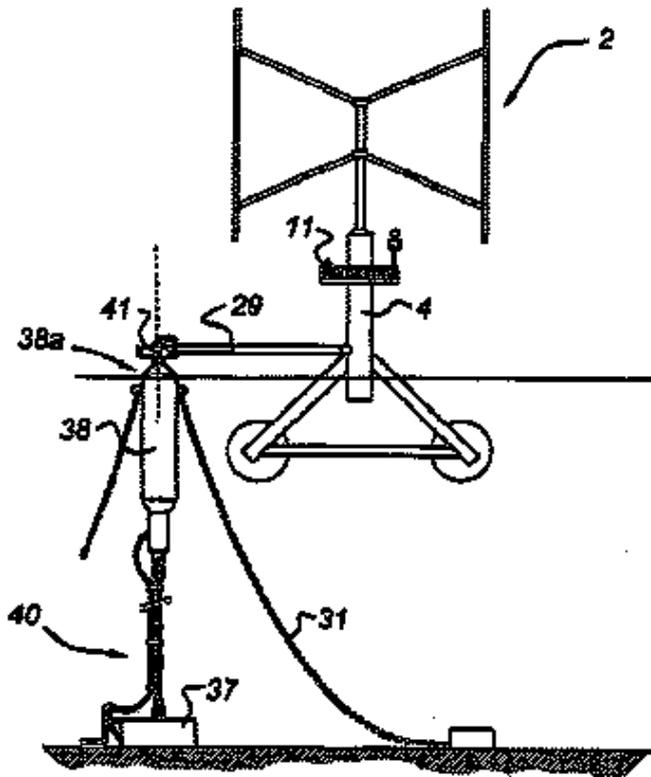


Fig 12

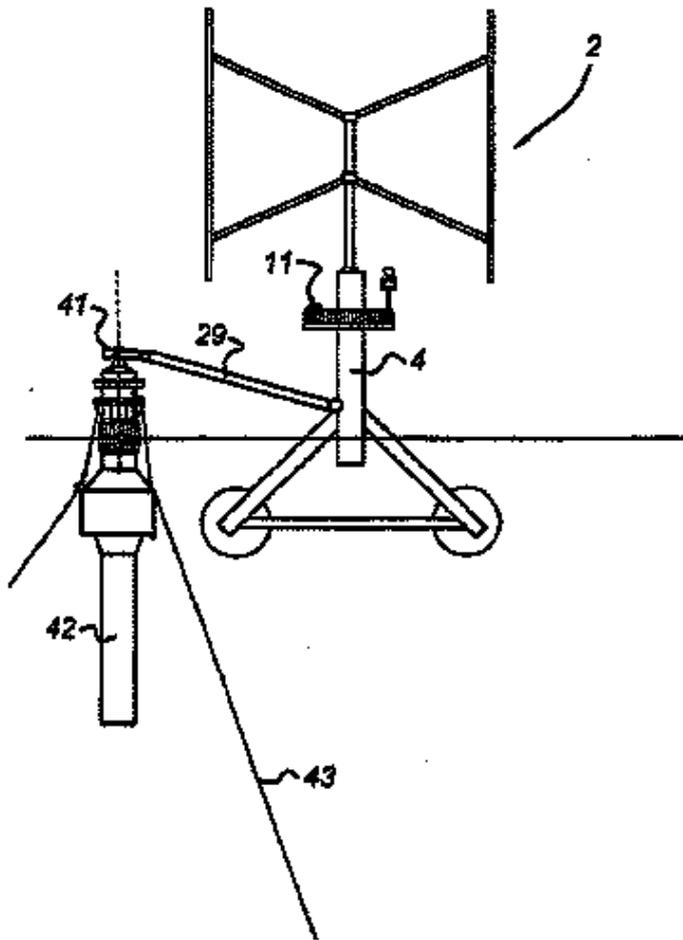


Fig 13

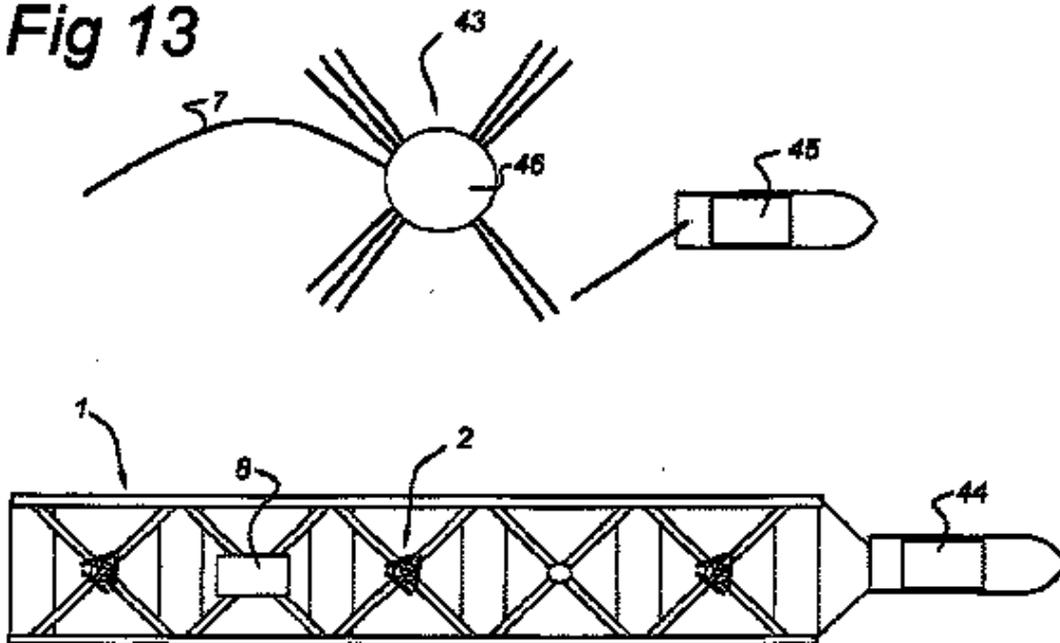


Fig 14

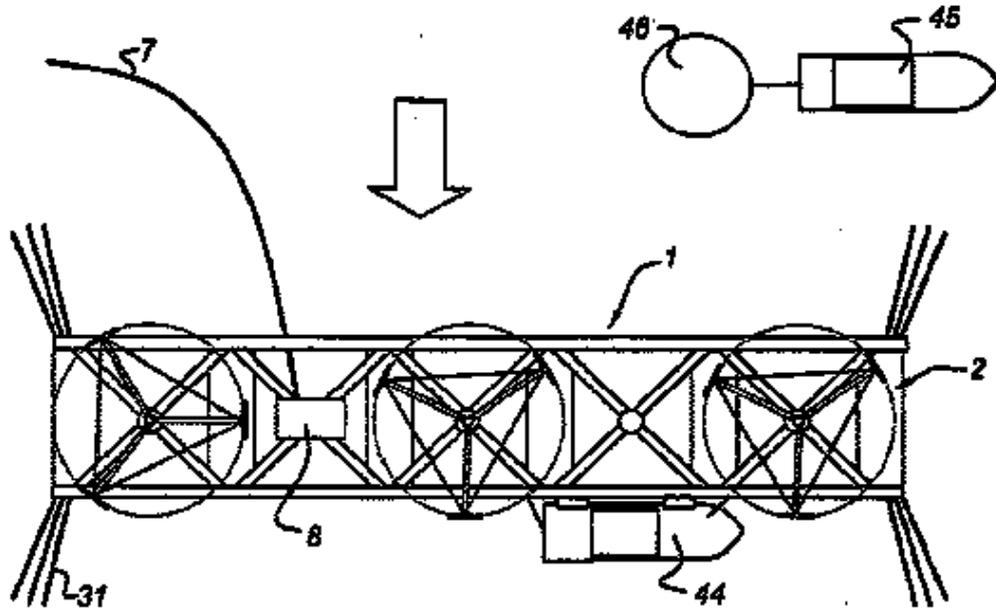


Fig 15

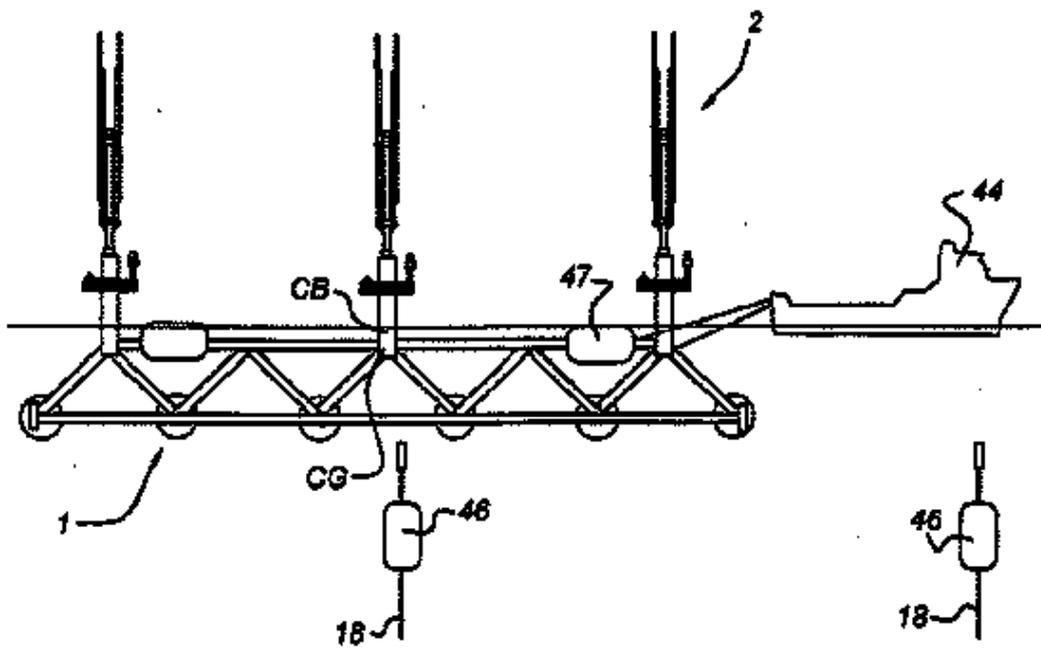


Fig 16

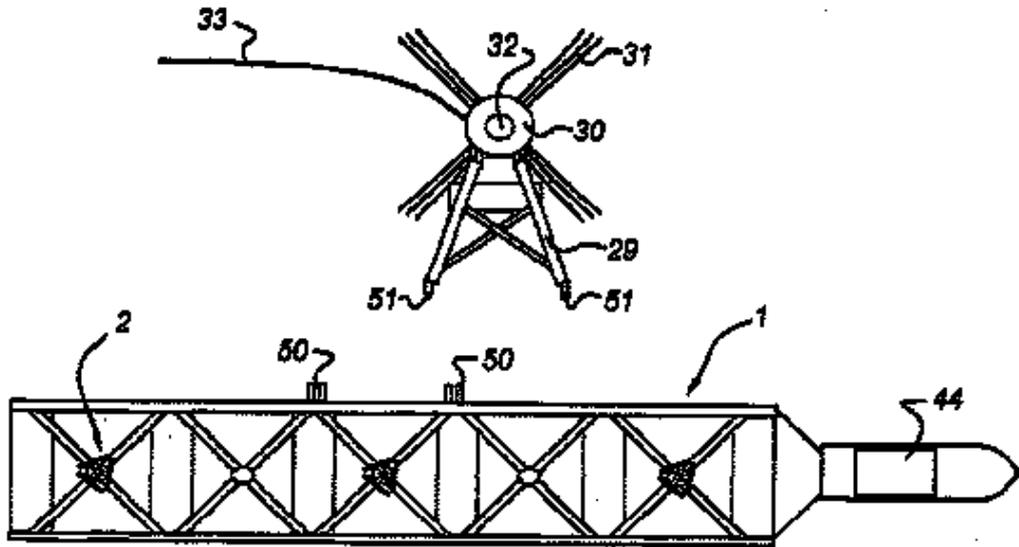


Fig 17

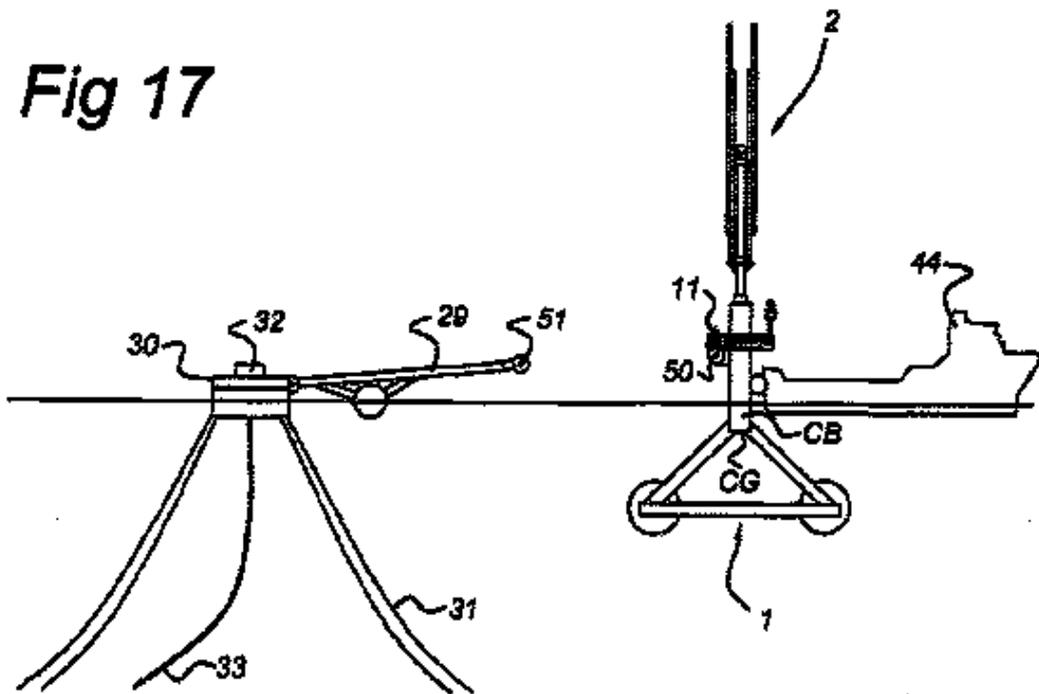


Fig 18

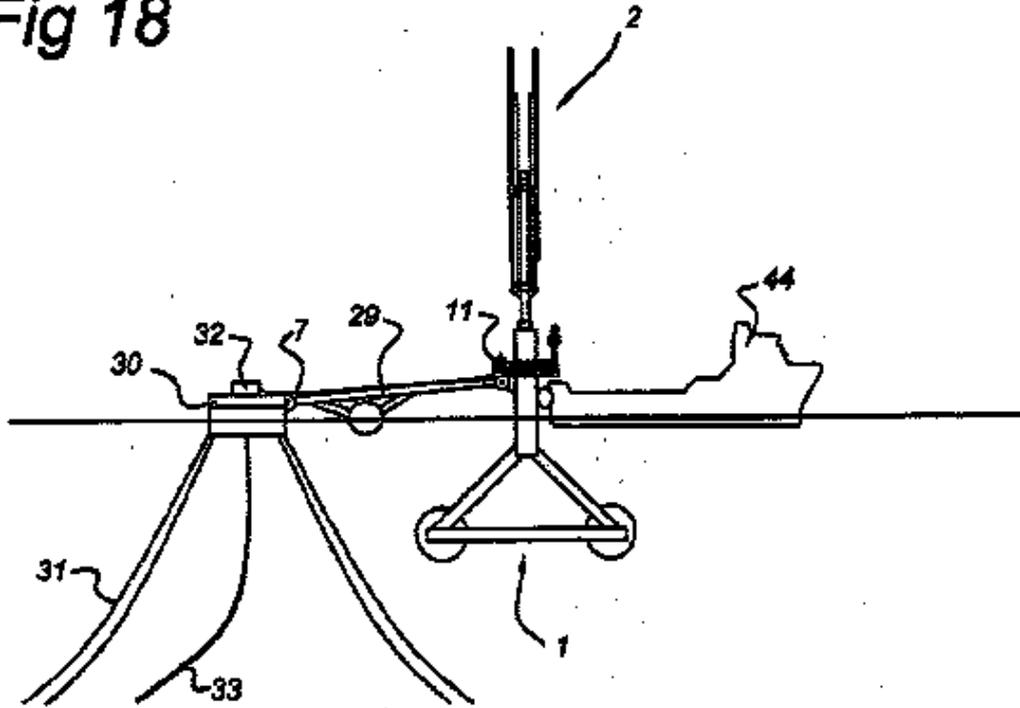


Fig 19

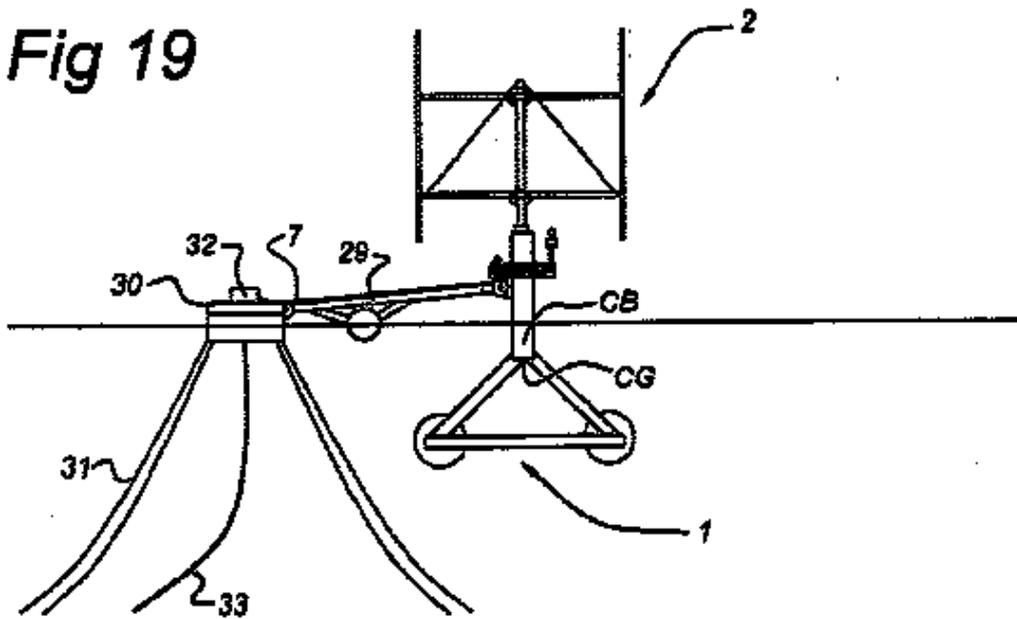


Fig 20

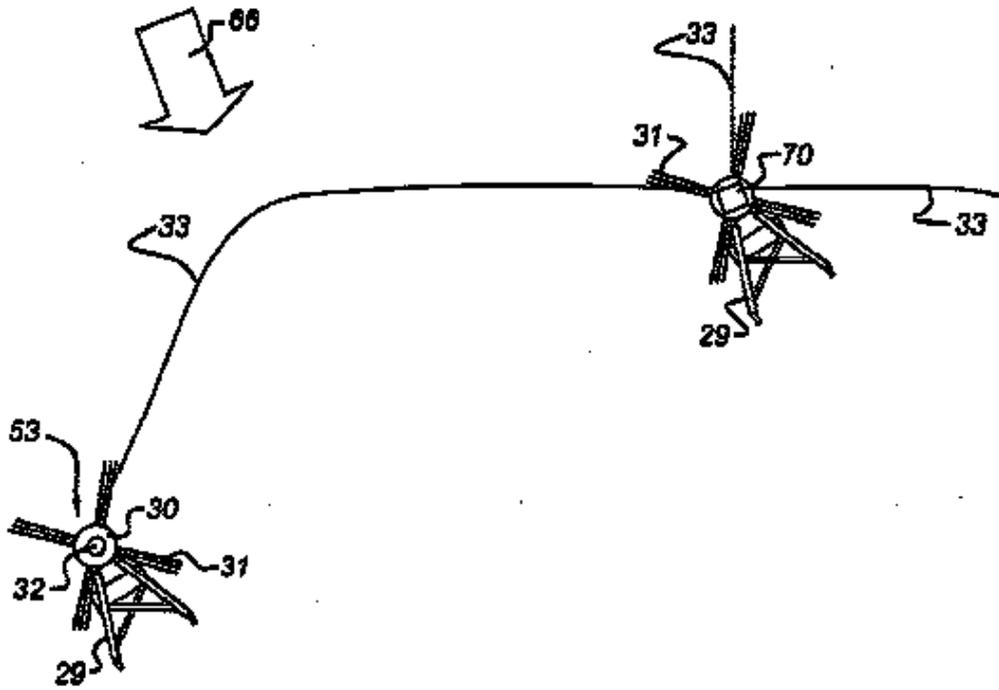


Fig 21

