

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 965 223**

51 Int. Cl.:

B63B 35/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2018** E 21162730 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2023** EP 3854669

54 Título: **Procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante**

30 Prioridad:

29.11.2017 FR 1761342

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.04.2024

73 Titular/es:

**SAIPEM S.A. (100.0%)
1/7 avenue San Fernando
78180 Montigny Le Bretonneux, FR**

72 Inventor/es:

**COLMARD, CHRISTOPHE;
FRANC, PAUL;
LE CLEZIO, JEAN-BAPTISTE;
GENTIL, FRÉDÉRIC;
DELAHAYE, THIERRY;
CHAZOT, NICOLAS y
HALLOT, RAYMOND**

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 965 223 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

Procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere al campo general de los aerogeneradores offshore, es decir implantados a lo largo de las costas, y más particularmente a las estructuras de soporte flotante para aerogeneradores offshore flotantes. La invención se refiere a un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de dicha estructura de soporte.

Estado de la técnica

Un aerogenerador offshore tiene como objetivo utilizar la energía del viento con el fin de producir electricidad gracias a una turbina y a un generador eléctrico. Existen dos tipos principales de aerogeneradores offshore: los aerogeneradores fijos, que se implantan en los fondos marinos (a pocas profundidades, normalmente inferiores a 50 m), y los aerogeneradores flotantes, que ofrecen la ventaja de poder ser construidos en tierra e implantados en unas zonas en las que la profundidad de los fondos marinos supera normalmente los 50 m.

Los aerogeneradores flotantes comprenden una turbina formada generalmente por un motor de varias palas giratorias de eje horizontal, y un generador eléctrico acoplado al motor, estando el motor y el generador fijados en un extremo superior de un mástil (o pilón) vertical. El extremo inferior del mástil está montado, por su parte, sobre una estructura de soporte flotante.

Existen cuatro familias principales de estructura de soporte flotante para aerogenerador offshore: las gabarras, las plataformas semisumergibles, las plataformas sobre montantes tensados (o plataformas TLP por "Tension-Leg Platform" en inglés), y las plataformas "spar", es decir unas plataformas con cimentación sumergida y con balasto estabilizado que están dotados de anclajes catenarios que permiten fijar el aerogenerador por enganche al fondo marino. Entre estas familias, las plataformas "spar" tienen una estructura relativamente simple y se basan en la utilización de tecnologías de fabricación y de instalación que están ampliamente probadas.

Se podrá hacer referencia en particular a las publicaciones WO 2005/021961 y JP 2015 009591 que describen unos ejemplos de realización de una plataforma "spar". La publicación WO 2006/121337 da los detalles de un sistema de anclaje de dicha plataforma "spar", mientras que la publicación WO 2006/132539 se refiere a un procedimiento de instalación en el mar de esta plataforma. Los documentos JP 2015-009591, JP 2002-285951, US 2013/019792, EP 3.153.398, WO 2017/157399, WO 2016/161931, US 2003/168864, US 2008/240864 y US 2017/051724 describen diferentes procedimientos de instalación de un aerogenerador offshore.

Las plataformas "spar" adolecen, sin embargo, de un cierto número de inconvenientes que limitan en gran medida su capacidad de utilización en el campo del aerogenerador offshore. Para un aerogenerador de potencia elevada, es necesario, para instalar el aerogenerador, disponer de una profundidad mínima del orden de un centenar de metros para desplegar una plataforma "spar". Más generalmente, es necesario disponer de una zona profunda y con unas condiciones de mar relativamente tranquilas para gestionar las fases críticas como son la inversión de la plataforma de la posición horizontal a la posición vertical, el balastado de la plataforma, y el ensamblaje de la turbina sobre la plataforma. Además, el recurso a unas plataformas "spar" requiere la utilización de barcos-grúa de gran capacidad, que son poco comunes y costosos, para instalar los aerogeneradores sobre las plataformas en el mar. Además, las plataformas "spar" presentan una gran resistencia en el agua, que limita las velocidades de desplazamiento de estas plataformas en el caso de su remolcado.

Estos inconvenientes de las plataformas "spar" limitan la implantación de aerogeneradores en unas zonas que disponen de un fiordo como base logística, lo cual, en la práctica, se encuentra en pocos lugares en el mundo, salvo en Noruega. Además, los costes que pueden alcanzar las plataformas (debidos en particular a la gran cantidad de acero con respecto a las necesidades de flotación) están limitados a unos valores elevados.

Por otro lado, la estabilidad de un aerogenerador flotante se puede descomponer en un problema de estabilidad estática y un problema de estabilidad dinámica. El problema de la estabilidad dinámica proviene de fuerzas no constantes en el tiempo que ejercen un par destabilizador para la estructura, que induce movimientos. Estos están relacionados con las fluctuaciones de la velocidad del viento sobre el aerogenerador o con las olas. La energía de las olas se concentra esencialmente en los primeros metros de mar por debajo de la superficie libre. Las estructuras de soporte flotante situadas mayoritariamente cerca de la superficie libre como las gabarras o las plataformas semisumergibles están sometidas en gran medida a las olas, de manera que estas estructuras se ven generalmente afectadas por problemas de estabilidad dinámica.

Objeto de la invención

La presente invención tiene, por lo tanto, como objetivo principal proponer una estructura de soporte flotante para

aerogenerador offshore que no adolezca de los inconvenientes citados anteriormente.

Este objetivo se alcanza gracias a un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore según la reivindicación 1.

5 La invención está constituida así por dos elementos (el flotador y el contrapeso) que están unidos entre sí por unas conexiones de balasto: el elemento flotante es fácil de transportar, su calado en fase de construcción y de instalación es bajo, y es compacto e instalable mediante unas soluciones de la industria offshore convencional, pudiendo el mástil del aerogenerador y la góndola ser instalados cuando tiene lugar la construcción del flotador.

10 La estructura de soporte flotante es destacable en particular por la estructura mínima del flotador, que presenta una forma de rueda de bicicleta llevada horizontalmente en la que el empuje de Arquímedes que se ejerce sobre ella sería proporcionado en parte por la estructura tubular central (que corresponde al buje de la rueda) y en parte por la estructura de forma tórica o poligonal (que corresponde al neumático de la rueda).

15 Por otro lado, la forma particular de la estructura principal del flotador permite obtener un empuje que se distribuye de manera continua alrededor del eje vertical, y no un empuje puntual. Asimismo, esta continuidad de forma permite evitar que las fuerzas del oleaje sobre el flotador varíen con las variaciones de incidencia, a diferencia de un flotador que tendría una distribución puntual.

20 Además, dicha estructura permite recurrir a una profundidad de inmersión del flotador que está comprendida normalmente entre 15 y 30 m. A esta profundidad, debido a la continuidad de forma de la estructura principal del flotador, la estructura de soporte flotante es casi transparente a los efectos del oleaje y de las corrientes de superficie, lo cual permite que el aerogenerador se libere al máximo de los problemas de estabilidad dinámica. De manera más general, el aerogenerador que utiliza dicha estructura de soporte flotante se podrá implantar en unas zonas económicamente accesibles ya que bastará con un mínimo de profundidad de agua del orden de 70 m.

25 Así, la estructura de soporte flotante permite la explotación de la energía eólica con fines de producción de electricidad por unas profundidades de agua superiores a 70 m, sin límite superior de profundidad de agua. Por lo tanto, el aerogenerador que utiliza dicha estructura de soporte flotante podrá ser implantado en unas zonas económicamente accesibles.

30 La estructura de soporte flotante permite obtener una estabilidad incrementada en rotación a nivel del aerogenerador, tanto en movimiento como en aceleración. La masa de materiales para la fabricación de esta estructura de soporte es relativamente pequeña, lo cual reduce los costes de fabricación. Esta estructura de soporte flotante es compatible asimismo con todos los diseños actuales de aerogeneradores flotantes, con una potencia nominal que va hasta 9,5 MW. La estructura sigue siendo compatible con los futuros aerogeneradores con una potencia de 10 a 15 MW y más que deberían entrar en producción en los próximos años.

35 La estructura de soporte flotante aporta una gran estabilidad al aerogenerador soportado tanto en la amplitud de movimientos de rotación como en las aceleraciones angulares. Esta estabilidad relativa a las condiciones de oleaje, de viento y de corriente encontradas en las diferentes regiones del mundo sigue siendo compatible con las especificaciones técnicas de los aerogeneradores de la industria del aerogenerador offshore.

40 La estructura de soporte flotante necesita unos niveles de tensiones minimizados en las líneas de anclaje que retienen el aerogenerador. Además, es compatible con los diseños de cables eléctricos de exportación estándares de la industria. Minimiza la huella de superficie en la superficie libre, no interfiere físicamente con la navegación de pequeños barcos en las inmediaciones, y minimiza la masa de materiales estructurales utilizados por las estructuras de soporte flotante de aerogeneradores.

45 50 La fabricación de la estructura de soporte flotante se puede realizar en los diferentes materiales de estructura. Utiliza preferentemente unos materiales metálicos y unos procedimientos de fabricación estándares de la industria de la construcción de estructuras offshore. La estructura de soporte flotante puede utilizar además unos materiales no metálicos a nivel de los tendones y del sistema de anclaje que están en la gama de las capacidades estándares actuales de la industria.

55 Por otro lado, las dimensiones, peso y calado de la estructura de soporte flotante son compatibles con la mayoría de los puertos industriales y permiten el ensamblaje de los elementos del aerogenerador sobre la estructura de soporte amarrada al muelle. El ensamblaje de la estructura de soporte y del aerogenerador se puede remolcar por flotación con unas condiciones del mar compatibles con la mayoría de las regiones del mundo. Estas operaciones se pueden realizar con total seguridad con unas condiciones de riesgos operativos aceptables utilizando unos medios de instalación clásicos de la industria. Alternativamente, el ensamblaje de la estructura de soporte flotante y del aerogenerador se puede realizar en el mar.

60 65 Con el fin de tener una estructura de soporte flotante estable por el peso y no por la forma, conviene que el punto de acción del empuje de Arquímedes esté situado por encima de su centro de gravedad. Al estar el centro de gravedad

de un aerogenerador situado bastante alto a nivel del mástil, debido al peso de la góndola y de las palas, es conveniente añadir un contrapeso en la parte inferior de la estructura de soporte. Este contrapeso aplicará un par resistente a nivel de la estructura de soporte.

5 Descripción de las figuras

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción realizada a continuación, con referencia a los dibujos adjuntos que ilustran unos ejemplos de realización desprovistos de cualquier carácter limitativo. En las figuras:

- 10 - la figura 1 es una vista lateral de un aerogenerador offshore montado sobre una estructura de soporte flotante;
- la figura 2 es una vista en perspectiva del flotador de la estructura de soporte flotante de la figura 1;
- la figura 3 es una vista en perspectiva y en arrancado de una canasta de la estructura de soporte flotante de la figura 1;
- 15 - la figura 4 es una vista desde arriba de la canasta de la figura 4;
- la figura 5 es una vista en sección según V-V de la figura 4;
- las figuras 6A a 6Q ilustran las diferentes etapas de un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante según un primer modo de realización que no compete a la invención;
- 20 - las figuras 7A a 7K ilustran las diferentes etapas de un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante según un segundo modo de realización que no compete a la invención; y
- las figuras 8A a 8H ilustran las diferentes etapas de un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante según un modo de realización de la invención; y
- 25 - las figuras 9A a 10C ilustran las diferentes etapas de un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante según un cuarto modo de realización que no compete a la invención;
- las figuras 10A a 10D ilustran las diferentes etapas de un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante según un quinto modo de realización que no compete a la invención; y
- 30 - las figuras 11A a 11F ilustran las diferentes etapas de un procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante según un sexto modo de realización que no compete a la invención.

Descripción detallada de la invención

35 La figura 1 representa, en vista lateral, un aerogenerador offshore flotante 2 implantado en el mar a lo largo de las costas.

De manera conocida, dicho aerogenerador 2 comprende una turbina 4 formada generalmente por un motor de varias palas giratorias de eje X-X sustancialmente horizontal, y un generador eléctrico 6 acoplado al motor, estando el motor y el generador fijados a un extremo superior de un mástil 8 (o pilón) vertical. El extremo inferior del mástil 8, por su parte, está montado sobre una estructura de soporte flotante 10.

45 La estructura de soporte flotante 10 se compone de un flotador 12 que está destinado a ser sumergido parcialmente (el nivel del mar está simbolizado en la figura 1 por la línea 14) y de un contrapeso 16 que está unido al flotador 12 y que está destinado a ser sumergido bajo este último. El extremo inferior del mástil 8 del aerogenerador pasa a ensamblarse sobre el flotador 12 de la estructura de soporte flotante.

50 Como se representa en la figura 2, el flotador 12 comprende una estructura principal 18 con una forma poligonal de por lo menos cinco lados, estando esta estructura principal de forma poligonal formada por un ensamblaje de tubos 20 de sección circular destinados a ser sumergidos. Alternativamente, la estructura principal presenta una forma tórica. En esta variante, está formada por un único tubo de sección circular.

55 En el ejemplo ilustrado en estas figuras, la estructura principal 18 del flotador tiene una forma poligonal de seis lados. Esta forma hexagonal representa el modo de realización preferido. En efecto, esta forma ofrece el mejor compromiso en términos de estructura y de comportamiento hidrodinámico.

60 Los tubos 20 de la estructura principal del flotador son de sección circular y están conectados entre sí por medio de placas de unión 22 que están soldadas a los extremos de los tubos. Estos tubos 20 están rigidizados mediante un sistema de rigidizadores cruzados (no representados en las figuras) que permiten optimizar el peso de la estructura sometida a la presión hidrostática. Los tubos están compartimentados de manera que la estabilidad del sistema no se ponga en entredicho si uno de estos compartimientos se llenara con agua de mar.

65 Por otro lado, la estructura principal 18 del flotador comprende además una estructura de flotabilidad adicional formada por un ensamblaje de flotadores adicionales 24 que están montados sobre los tubos 20 y que permiten elevar el francobordo del conjunto flotador y aerogenerador en las fases de remolcado con el fin de mejorar su estabilidad. Estos flotadores adicionales pueden ser recuperados después de la fase de remolcado o dejados sobre el flotador

después de su inmersión.

5 El flotador 12 comprende asimismo una estructura tubular central 26 centrada sobre un eje vertical Y-Y y que tiene un diámetro adecuado para recibir el mástil 8 del aerogenerador. Esta estructura central 26 comprende una sección (no representada en las figuras) que es apta para ser balastada con agua de mar con el fin de ajustar la línea de flotación del flotador a la profundidad de inmersión deseada.

10 El flotador 12 comprende también una primera serie de puntales horizontales 28 que se distribuyen regularmente alrededor del eje vertical Y-Y y que unen cada extremo de los tubos 20 de la estructura principal a la estructura central 26, y más particularmente a la parte baja de esta última. Hay tantos puntales horizontales 28 como tubos 20 que forman la estructura principal.

15 Esta estructura de puntales horizontales 28, de tipo reticulado, aunque muy simple, permite reducir los momentos de flexión en los tubos 20 de la estructura principal en unos momentos secundarios. Esto permite optimizar el modo de trabajo de los tubos en tracción-compresión.

20 El flotador 12 comprende también una segunda serie de puntales oblicuos 30 que están distribuidos también regularmente alrededor del eje vertical Y-Y, y que unen cada extremo de los tubos 20 de la estructura principal a la estructura central, y más particularmente a la parte alta de esta última, formando un ángulo β comprendido entre 15° y 60° -y preferentemente igual a 30°- con los puntales horizontales 28. Como para los puntales horizontales, existen tantos puntales oblicuos 30 como tubos 20 que forman la estructura principal.

25 Los puntales horizontales 28 y oblicuos 30 se presentan en forma de tubos. La conexión entre los puntales y la estructura principal del flotador se realiza a nivel de las placas de unión 22. Esta técnica de ensamblaje permite facilitar el ajuste y la soldadura de los puntales de grandes dimensiones.

Por otro lado, como se representa en las figuras 3 a 5, el contrapeso 16 de la estructura de soporte flotante comprende una canasta 32 que es adecuada para recibir un material de balasto 34.

30 Con el fin de proporcionar un contrapeso de masa importante reduciendo al mismo tiempo los costes, es conveniente utilizar un material ponderoso al mismo tiempo económico y compatible con el entorno marino. En un modo de realización preferido, el mejor compromiso para el material de balasto 34 se encuentra con unos materiales de balasto pesados. Normalmente, este material de balastado puede ser magnetita estabilizada químicamente con el fin de ser compatible con el medio ambiente. Alternativamente, este material de balasto puede ser un material de relleno, arena, granalla de fundición o metal de recuperación.

40 Con el fin de poder soportar este material de balastado 34, es conveniente ponerlo en una canasta 32 diseñada para soportar fuerzas. El diámetro de la canasta varía, según los casos de aplicación, normalmente entre 8 mm y 22 mm y su altura entre 6 m y 10 m.

La canasta 32 del contrapeso está constituida por una carcasa cilíndrica 32a terminada en un fondo 32b abombado o troncocónico en su parte inferior. El peso lo absorben las conexiones de balasto 36 (o vigas) -preferentemente en número de seis- que unen la canasta a cada extremo de los tubos 20 de la estructura principal.

45 Más precisamente, estas conexiones de balasto 36 se unen en un conector central cilíndrico 38 que está situado en el centro de la carcasa cilíndrica 32a de la canasta en su parte superior.

50 El conector central 38 permite concentrar el peso del contrapeso en un punto central situado en el eje de la estructura central 26 del flotador. Esta concentración del peso en un punto es un factor primordial para la eficacia del sistema de contrapeso, permite que el lastre permanezca inmóvil con respecto al flotador, sea cual sea el ángulo de inclinación siempre que las conexiones de balasto 36 permanezcan todas tensas.

Como se representa en la figura 1, las conexiones de balasto 36 que unen la canasta 32 a cada extremo de los tubos 20 de la estructura principal forman un ángulo β comprendido entre 15° y 45° con el eje vertical Y-Y.

55 El ángulo β que forma las conexiones de balasto 36 con el eje vertical se da preferentemente por la ecuación siguiente:

$$\beta = \arctan [(Dc/2 + Lh + Df) / (P - Te - Ep - Gp)]$$

60 en la que: P es la profundidad del agua; Te es el calado medido en la parte inferior de la estructura principal; Ep es el grosor de la canasta; Gp es la distancia entre la parte inferior de la canasta y el fondo marino; Dc es el diámetro de la estructura central; Lh es la longitud de los puntales horizontales; y Df es el diámetro de los tubos de la estructura principal.

65 La parte inferior del flotador 12 de la estructura de soporte flotante está situada a una profundidad de inmersión normalmente de 25 m. La estructura mínima que permite recoger las fuerzas de tracción son las conexiones de balasto

36. El contrapeso está por lo tanto unido al flotador por tantas conexiones de balasto como lados tiene la estructura principal del flotador. A nivel de este último, las conexiones de balasto 36 están conectadas a las placas de unión 22.

5 Las conexiones de balasto 36 pueden ser lo más ligeras posible, ya que su masa tiene solo un papel marginal en la estabilidad de la estructura de soporte flotante. Por otro lado, deben ser capaces de absorber las fuerzas generadas por el peso del contrapeso, y tener una elasticidad y una deformación mínima en el tiempo.

10 Asimismo, en un modo de realización preferido, estas conexiones de balasto son unos cabos constituidos por materiales sintéticos que tienen una elongación reducida (normalmente polietileno de alta densidad). Estos materiales asocian buenas propiedades mecánicas con un peso negativo en el agua (densidad del material inferior a 1). Alternativamente, estas conexiones de balasto pueden ser unos cables, unas cadenas o unos tubos metálicos.

15 La separación de los puntos de enganche de las conexiones de balasto 36 sobre la estructura principal 18 del flotador se elige de manera que, cuando la inclinación de la dirección del mástil 8 del aerogenerador con el eje vertical Y-Y es máxima, todas las conexiones de balasto permanezcan en tensión. Las fuerzas a las que está sometido el sistema aumentan por un factor de seguridad que depende del caso de aplicación. De esta manera, la inclinación del aerogenerador, bajo la acción de la resultante de arrastre de la fuerza del viento y del peso del aerogenerador provoca una transferencia de tensión de las conexiones de balasto situadas en el sentido opuesto al viento hacia las situadas en el sentido del viento. El contrapeso permanece entonces en el eje del mástil del aerogenerador y esta estructura flexible se comporta mecánicamente como una estructura rígida, permaneciendo el lastre fijo con respecto al flotador. En otras palabras, esta estructura pendular cumple la función de contrapeso de una plataforma "spar", teniendo al mismo tiempo una estructura más ligera, transparente al oleaje e instalable con el aerogenerador fijado sobre el flotador en puerto.

25 La estructura de soporte flotante está diseñada para ser estable sin sistema de anclaje. Por lo tanto, el sistema de anclaje no participa en la estabilidad de la estructura de soporte flotante. Esto genera unos niveles de tensión mucho más bajos en las líneas de anclaje y unas tensiones geotécnicas reducidas sobre las anclas.

30 En relación con las figuras 6A a 6Q, se describirá un procedimiento de instalación según un primer modo de realización que no compete a la invención (y presente únicamente a título ilustrativo) de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha descrito anteriormente.

35 Las figuras 6A a 6H ilustran las diferentes etapas de preparación y de instalación en el fondo del mar del contrapeso de la estructura de soporte flotante.

En la figura 6A, se lleva al mar al lugar una gabarra 100 que transporta en particular la canasta 32 del contrapeso de la estructura de soporte flotante y un cuerpo muerto 104. El cuerpo muerto 104 se baja entonces al mar en la vertical de la gabarra 100 con una grúa 106 (figura 6B) y después se deposita sobre el fondo marino (figura 6C).

40 Se utiliza un vehículo submarino teledirigido 108 (denominado también ROV por "Remotely Operated Vehicle") para supervisar estas operaciones y para instalar después un orinque 110 sobre el cuerpo muerto 104, como se representa en la figura 6d. En este caso, el orinque 110 es un cabo conectado a una boya temporal, por un lado, y a un cuerpo muerto 104, por otro lado, con el fin de proporcionar un punto de enganche al cuerpo muerto por encima del fondo del mar y por debajo de la profundidad definitiva de la canasta de lastre.

45 Durante la etapa siguiente, representada por la figura 6E, la canasta 32 (vacía) del contrapeso de la estructura de soporte flotante se baja también por la grúa 106 desde la gabarra hacia el fondo del mar para ser conectada al orinque 110 bajo el control del ROV 108 (figura 6F). Se bajan entonces al mar, desde la gabarra, los módulos de flotación 112 (en número de tres en las figuras) previamente llenos de aire, y se fijan a la canasta 32 del contrapeso (figura 6G). Al final de esta etapa, este acoplamiento se desconecta de la gabarra 100 y el ROV 108 se sube a bordo de esta última (figura 6H).

50 Como se ilustra en las figuras 6I y 6J, el flotador 12 de la estructura de soporte flotante sobre el cual se ha montado previamente el mástil 8 de un aerogenerador 2 es remolcado entonces por un remolcador 114 en la vertical de la canasta 32 del contrapeso amarrado al cuerpo muerto 104. Este remolcado se puede efectuar por medio de un remolcador unido a la estructura principal 18 del flotador por uno o varios cables de remolque 116.

60 Cuando el flotador 12 y el aerogenerador 2 se encuentran en la vertical de la canasta 32 del contrapeso, el ROV 108 se despliega de nuevo para pasar a conectar la estructura principal del flotador a la canasta mediante las conexiones de balasto 36 (figura 6J). Con el fin de permitir estabilizar la posición del flotador 12 por encima de la canasta de contrapeso, podrá ser necesario recurrir a varios remolcadores regularmente espaciados alrededor del mismo.

65 Durante la etapa siguiente, representada por la figura 6K, se libera entonces el aire presente en el interior de los módulos de flotación 112 (y se sustituye por agua de mar). El ROV 108 puede entonces ser pilotado para pasar a despegar unos tras otros cada módulo de flotación vaciado de su aire para subirlo a la gabarra 100 por medio un cabo 118 de la grúa 106 (figura 6L).

Una vez retirados los módulos de flotación, la canasta 32 del contrapeso actúa sobre las conexiones de balasto 36 para tensarlas, y el orinque 110, por su parte, se destensa (figura 6M). El orinque 110 puede ser desconectado así fácilmente de la canasta del contrapeso por el ROV 108 (figura 6N). El flotador 12 y el aerogenerador con la canasta 32 del contrapeso conectada por las conexiones de balasto son remolcados entonces por el remolcador 114 hasta la zona de implantación del aerogenerador en el mar (figura 6O).

Una vez que el flotador 12 y el aerogenerador 2 están posicionados y mantenidos en la vertical de su zona de implantación elegida, una gabarra 120 pasa a llenar la canasta 32 del contrapeso con el material de balastado 34. Esta operación se puede realizar gracias a un tubo 122 que conecta la canasta con la gabarra 120 (figura 6P).

Como se representa en la figura 6Q, el llenado de la canasta 32 del contrapeso por el material de balastado 34 tiene como consecuencia hacer que el flotador 12 se sumerja, siendo esta inmersión controlada para permitir que la parte inferior del flotador 12 de la estructura de soporte flotante se sitúe a su profundidad de inmersión (normalmente de 25 m).

Se observará que el contrapeso puede comprender una pluralidad de canastas que reciben cada una un material de balasto y que están posicionadas verticalmente unas por debajo de las otras, estando regularmente espaciadas (por ejemplo cada 10 m).

En relación con las figuras 7A a 7K, se describirá ahora un procedimiento de instalación según un segundo modo de realización que no compete a la invención (y presente únicamente a título ilustrativo) de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha descrito anteriormente.

Durante una primera etapa (figura 7A), una gabarra 200 preparará la zona temporal del fondo marino con el fin de permitirle soportar el peso de las canastas llenas de balasto de los contrapesos de varias estructuras de soporte flotante. Esta preparación consiste en verter sobre el fondo marino un material de relleno que permita que el fondo marino pueda soportar el peso de las canastas cargadas de material de balasto manteniendo al mismo tiempo una estabilidad de asiento aceptable.

Una vez preparado el fondo marino, un conjunto de canastas 32 vacías de contrapeso se baja al mar desde la gabarra 200 y se deposita sobre el fondo marino gracias a una grúa 202 (figura 7B). Las canastas de contrapeso se depositan una tras otra a medida que avanza la gabarra, dependiendo su número del número de aerogeneradores offshore del campo a instalar (figura 7C).

Como se representa en la figura 7D, las canastas 32 de contrapeso depositadas sobre el fondo marino se llenan entonces unas tras otras con un material de balasto 34 desde la gabarra. Una vez llenas las canastas de material de balasto, se conectan unas boyas temporales 204 sobre estas canastas por medio de la grúa 202 de la gabarra y con la ayuda de un ROV 206 (figura 7E). La figura 7F muestra el conjunto de las canastas de contrapeso provistas cada una de varias boyas temporales 204.

Durante la etapa siguiente, representada por la figura 7G, el flotador 12 de la estructura de soporte flotante sobre la que se ha montado previamente el mástil 8 de un aerogenerador es remolcado entonces por un remolcador 208 en la vertical de una canasta 32 del contrapeso. En marea baja, la estructura principal del flotador se conecta entonces a la canasta del contrapeso mediante las conexiones de balasto 36 (figura 7G).

Por efecto de la subida de la marea, la canasta 32 del contrapeso se eleva del fondo marino gracias a las conexiones de balasto 36 (figura 7H) con el fin de permitir que el remolcador 208 remolque el flotador 12 y la canasta hasta la zona de implantación del aerogenerador en el mar (figura 7I).

Una vez que el flotador 12 y la canasta del contrapeso están posicionados y mantenidos en la vertical de la zona de implantación elegida, se lleva la gabarra 200 para pasar a desconectar unas tras otras las boyas temporales 204 de la canasta 32. Esta operación se realiza gracias al ROV 206 que pasa a desconectar cada boya temporal y a subirla a bordo de la gabarra gracias a un cabo 210 (figura 7J).

Cuando se desconectan todas las boyas temporales, la sección "balastable" de la estructura central 26 del flotador 12 se llena con agua de mar con el fin de ajustar la línea de flotación del flotador a la profundidad de inmersión deseada (figura 7K).

En una variante de este segundo modo de realización (no representado en las figuras), se prevé, en lugar de la etapa de preparación de la zona temporal del fondo marino para permitirle soportar el peso de las canastas llenas de balasto de los contrapesos, depositar sobre el fondo marino un sistema de descenso del contrapeso.

En esta variante, el sistema de elevación puede así sustituir total o parcialmente el efecto de la subida de la marea sobre la posición relativa de la canasta con respecto al fondo. Según los casos, el llenado de la canasta con material de balasto se puede realizar total o parcialmente sobre la canasta colocada sobre el sistema de elevación. En el caso

en el que el llenado se realice parcialmente sobre la canasta colocada sobre el sistema de elevación, se efectúa un complemento de material de balasto una vez que la canasta se desprende del sistema de elevación.

5 Este sistema de descenso del contrapeso comprende una base amplia que permite que el fondo marino soporte el peso del sistema y la canasta vacía del contrapeso de la estructura de soporte flotante. Una vez bajada la canasta vacía y colocada sobre la base, se realizan las etapas del procedimiento de instalación de manera similar a las descritas anteriormente en relación con las figuras 7D a 7K.

10 Esta variante de realización puede ser la preferida, ya que presenta la ventaja de librarse de la marea.

En relación con las figuras 8A a 8H, se describirá un modo de realización del procedimiento de instalación según la invención de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha descrito anteriormente.

15 Este modo de realización es particularmente interesante por el comportamiento dinámico del contrapeso durante el descenso al unir la canasta de este último al flotador por medio de varias cadenas en catenaria, lo cual permite desacoplar los movimientos de uno y otro. Además, no se requiere ninguna preparación del fondo del mar.

20 Según una primera etapa ilustrada por la figura 8A, se utiliza un primer remolcador 300 para remolcar en el mar el flotador 12 de la estructura de soporte flotante sobre la cual se ha montado previamente el mástil de un aerogenerador 2. Por su parte, la canasta 32 vacía del contrapeso de la estructura de soporte flotante es remolcada independientemente por un segundo remolcador 302.

25 Se observará que, para facilitar el remolcado de la canasta del contrapeso, ésta puede estar provista de boyas temporales 304. Se observará asimismo que los dos remolcadores 300, 302 están equipados cada uno con un sistema de posicionamiento dinámico.

30 Una vez llegados a la zona de implantación en el mar del aerogenerador, los remolcadores 300, 302 maniobran para acercar el flotador 12 a la canasta 32 con el fin de permitir la colocación de las conexiones entre estos dos elementos (figura 8B).

35 Estas conexiones son en particular las conexiones de balasto 36 que unen la canasta 32 a cada extremo de los tubos de la estructura principal del flotador. Esta operación se puede realizar con la ayuda de un barco de conexión en posicionamiento dinámico 306.

40 Como se representa en la figura 8C, se conectan asimismo unas cadenas de lastre 308 entre diferentes puntos de la canasta 32 y la estructura principal del flotador 12. Estas cadenas de lastre están, por ejemplo, en número de tres. Durante estas operaciones, se pueden conectar otras uniones de retención (no representadas en las figuras) entre la canasta y el flotador para limitar el alejamiento del flotador con respecto a la canasta.

45 Durante la etapa siguiente, la canasta 32 del contrapeso se aleja del flotador 12, y después se sumerge progresivamente reduciendo la flotación de las boyas temporales 304 o añadiendo peso a la canasta (figura 8E). La inmersión de la canasta continúa hasta una primera posición de equilibrio bajo el flotador (figura 8F).

50 La canasta 32 del contrapeso se baja todavía más reduciendo de manera continua o lentamente la flotación de las boyas temporales (o añadiendo lastre). Se observará que el descenso de la canasta provoca una reducción de la catenaria de las cadenas de lastre 308 bajo la canasta y, por lo tanto, del peso que se necesita compensar por flotación. Se considera un proceso en el que el descenso de la canasta provocaría automáticamente el descenso de su flotación y un descenso también del lastre con un desplazamiento tal que la velocidad de descenso de la canasta sería suficientemente baja.

55 El descenso de la canasta finaliza en el momento en el que se tensan las conexiones de balasto 36 (figura 8G). Si es necesario, se puede considerar que el descenso se detenga automáticamente a unas profundidades deseadas (por ejemplo, un poco antes de que las conexiones de balasto se tensen para poder asegurarse de que su configuración es aceptable) asegurándose al mismo tiempo de que la pérdida de lastre es compensada por la pérdida de flotación a la profundidad deseada.

60 Finalmente, la canasta 32 del contrapeso se llena con el material de balasto 34, por ejemplo a partir de un barco de balastado 310 que vierte el material de balasto en la canasta con la ayuda de una canal o tubo de llenado 312 (figura 8H).

65 Esta última etapa se puede sustituir por el llenado de elementos de flotación conectados a la canasta en el caso en el que el lastre ya estuviese presente en esta canasta particular que tenga una reserva de flotabilidad equivalente al peso final visto por las conexiones de balasto.

Se observará que las cadenas de lastre 308 se podrán utilizar para servir para realizar, llegado el caso, un sistema de

anclaje de la estructura de soporte flotante.

5 En relación con las figuras 9A a 9C, se describirá un cuarto modo de realización del procedimiento de instalación (que no compete a la invención y presente únicamente a título ilustrativo) de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha descrito anteriormente.

10 En este cuarto modo de realización, se prevé transportar al mar conjuntamente mediante un remolcador 400, el flotador 12 con su canasta 32 de contrapeso vacía de lastre colocada por debajo de la estructura de soporte flotante hasta la zona de implantación del aerogenerador (figura 9A).

15 La canasta 32 se baja entonces mediante un sistema de elevación 402 instalado a nivel de la plataforma del aerogenerador 2 hasta que se tensan las conexiones de balasto (figura 9B). El flotador 12 conectado al contrapeso es remolcado a continuación hasta la zona de implantación del aerogenerador, y la canasta 32 puede entonces ser llenada con un material de balasto a partir de un barco de balastado 404, como se ha descrito anteriormente (es decir, mediante un tubo 406 que une la canasta al barco de balastado - véase la figura 9C).

20 En relación con las figuras 10A a 10D, se describirá ahora un quinto modo de realización del procedimiento (que no compete a la invención y presente únicamente a título ilustrativo) de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha definido anteriormente.

25 En este quinto modo de realización, el procedimiento comprende en una primera etapa ilustrada en la figura 10A, la conexión de conexiones de balasto 36 y de cadenas de lastre 500 entre la canasta 32 del contrapeso y el flotador 12. Una vez efectuada esta operación, el flotador conectado al contrapeso es remolcado al mar con la ayuda de un remolcador 502 hasta la zona de implantación del aerogenerador (figura 10B). Conjuntamente, se transporta al mar la canasta 32 vacía del contrapeso colocada bajo la estructura de soporte flotante y de su flotador.

La canasta se sumerge por balastado de manera progresiva y la posición de la canasta está controlada por el efecto catenario de las cadenas de lastre para bajarla a una posición de equilibrio bajo el flotador (figura 10C).

30 Se baja entonces la canasta 32 bajo el flotador hasta que las conexiones de balasto 36 estén tensas, y después se llena con un material de balasto con el fin de sumergir el flotador (figura 10D). Finalmente, el flotador conectado al contrapeso es remolcado hasta la zona de implantación del aerogenerador.

35 En relación con las figuras 11A a 11F, se describirá ahora un sexto modo de realización del procedimiento de instalación (que no compete a la invención y presente únicamente a título ilustrativo) de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha definido anteriormente.

40 En este sexto modo de realización, el procedimiento comprende, en una primera etapa ilustrada en la figura 11A, el transporte en el mar mediante un remolcador 600 de la canasta 32 del contrapeso posicionada de manera amovible en el interior de una estructura sumergible de soporte flotante 602 hasta la zona de implantación del aerogenerador.

45 En este modo de realización, la canasta 32 de contrapeso se llena previamente de material de balasto, y la estructura sumergible de soporte flotante 602 se llena de aire a presión atmosférica antes de la salida con el fin de obtener la flotabilidad necesaria para mantener en flotación la canasta del contrapeso.

50 Como se representa en las figuras 11B y 11C, una vez se ha llegado a la zona de implantación del aerogenerador, la canasta 32 de contrapeso y la estructura sumergible de soporte flotante 602 se bajan bajo el agua mediante un sistema de cadenas de balasto 604 enganchadas a la estructura sumergible de soporte flotante hasta alcanzar la profundidad deseada. Con este fin, las cadenas de balasto 604 tienen un peso lineal predefinido y se enganchan a la estructura sumergible de soporte flotante con la ayuda de un segundo remolcador 600'. Se pueden enganchar unas anclas 606 a las cadenas de balasto 604 con el fin de estabilizar la canasta de contrapeso (figura 11C).

55 El aerogenerador con su flotador 12 se remolca después hasta la zona de implantación del aerogenerador y se posiciona en la vertical de la canasta 32 de contrapeso (figura 11D). Las conexiones de balasto 36 previamente conectadas al flotador 12 se bajan entonces y se conectan una por una a la canasta 32 de contrapeso mediante, por ejemplo, un vehículo submarino teledirigido 108 (figura 11E).

60 Durante la etapa siguiente, la estructura sumergible de soporte flotante 602 se llena progresivamente de agua (en sustitución del aire) con el fin de perder flotabilidad. Durante este llenado, desciende con la canasta de contrapeso hasta que las conexiones de balasto 36 se tensen. El descenso de la canasta se detiene entonces y el peso de la canasta se transfiere progresivamente al flotador 12 del aerogenerador que ve las conexiones de balasto 36 tensarse bajo el peso de la canasta del contrapeso (figura 11F).

65 Cuando se transfiere la totalidad del peso de la canasta al flotador del aerogenerador, la estructura sumergible de soporte flotante 602 continúa su descenso para desengancharse completamente de la canasta 32 de contrapeso. Cuando se encuentra llena de agua, se sitúa entonces por encima del fondo marino a una distancia de algunos metros

bajo la canasta, asegurando las cadenas de balasto 604 su sujeción en esta posición. El aerogenerador y su contrapeso pueden ser remolcadas a continuación por el remolcador 600 hasta su zona de implantación.

- 5 En una variante de realización (no representada en las figuras) de este sexto modo de realización, la canasta de contrapeso se llena previamente solo parcialmente con material de balasto. Después de que el aerogenerador y su contrapeso se hayan remolcado a la zona de implantación, un barco que transporta el resto del material de balasto se posiciona cerca del aerogenerador y llena la canasta de contrapeso con la ayuda de una tubería flexible hasta que el aerogenerador alcance el calado requerido.
- 10 En un séptimo modo de realización (no representado en las figuras) del procedimiento de instalación (que no compete a la invención y presente únicamente a título ilustrativo) de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante tal como se ha definido anteriormente, la canasta de contrapeso está dotada de compartimentos de balasto de aire.
- 15 Esta canasta se hunde previamente en el puerto y el flotador del aerogenerador se coloca en la vertical de la canasta para conectar las conexiones de balasto mediante buzos. Otras conexiones temporales, más cortas (de aproximadamente 5 metros) están conectadas entre el flotador y la canasta. La canasta se "desbalasta" a continuación con el fin de pasar a pegarse al flotador del aerogenerador. El conjunto es remolcado hasta un sitio en aguas protegidas de aproximadamente 20 m de profundidad de agua en el que la canasta es balastada hasta que se vuelva pesada y se tense de nuevo por las conexiones temporales. El conjunto es remolcado entonces hasta la zona de implantación del aerogenerador en la que se amarra el aerogenerador. Las conexiones temporales se desconectan y la canasta desciende en la columna de agua hasta que es tensada de nuevo por las conexiones de balasto.
- 20
- 25 Posteriormente, un barco que transporta el resto del material de balasto se posiciona en las inmediaciones del aerogenerador y llena la canasta de contrapeso con la ayuda de una tubería flexible hasta que el aerogenerador alcance el calado requerido.

Se observará que, como para el sexto modo de realización, este séptimo modo de realización se puede realizar con una canasta de contrapeso que se llena previamente completa o parcialmente solo con material de balasto.

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de instalación de un aerogenerador offshore provisto de una estructura de soporte flotante que comprende un flotador (12) destinado a ser sumergido parcialmente y sobre el cual está destinado a ser ensamblado un mástil (8) de aerogenerador, y un contrapeso (16) unido al flotador y destinado a ser sumergido bajo el flotador, comprendiendo el flotador (12):
- una estructura principal (18) de forma tórica o poligonal de por lo menos cinco lados que está formada por lo menos por un tubo (20) destinado a ser sumergido;
- una estructura tubular central (26) que tiene un diámetro adecuado para recibir el mástil (8) del aerogenerador y que comprende una sección apta para ser balastada con el fin de ajustar la línea de flotación del flotador;
- una primera serie de puntales horizontales (28) distribuidos regularmente alrededor de un eje vertical y que unen la estructura principal a la estructura central; y
- una segunda serie de puntales oblicuos (30) distribuidos regularmente alrededor de un eje vertical (Y-Y) y que unen la estructura principal a la estructura central formando un ángulo (α) comprendido entre 15° y 60° con los puntales horizontales (28);
- comprendiendo el contrapeso (16) una canasta (32) apta para recibir un material de balasto (34) y unas conexiones de balasto (36) que unen la canasta a la estructura principal (18) del flotador formando un ángulo (β) comprendido entre 15° y 45° con el eje vertical (Y-Y),
- comprendiendo el procedimiento las etapas sucesivas de:
- transporte en el mar de manera separada de una canasta (32) vacía y flotante del contrapeso (16) de la estructura de soporte flotante y de su flotador (12);
- conexión de las conexiones de balasto (36) y de cadenas de lastre (308) entre la canasta y el flotador;
- inmersión de la canasta por su balastado progresivo y control de su posición por efecto catenario de las cadenas de lastre para bajarla a una posición de equilibrio bajo el flotador;
- descenso de la canasta bajo el flotador hasta que las conexiones de balasto (36) estén tensas;
- llenado de la canasta del contrapeso con un material de balasto (34) con el fin de sumergir parcialmente el flotador; y
- remolcado en el mar del flotador conectado al contrapeso hasta la zona de implantación en el mar del aerogenerador.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la canasta (32) del contrapeso está provista de boyas temporales (304) en el transcurso de la etapa de su transporte en el mar para facilitar su remolcado.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 y 2, en el que la etapa de descenso de la canasta bajo el flotador se detiene automáticamente a una profundidad deseada, con el fin de asegurarse de que la configuración de las conexiones de balasto (36) sea aceptable.
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de llenado de la canasta del contrapeso se realiza a partir de un barco de balastado (310) que vierte el material de balasto (34) en la canasta con la ayuda de un canal o tubo de llenado (312).
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de llenado de la canasta del contrapeso se realiza por el llenado de elementos de flotación conectados a la canasta.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que las cadenas de lastre (308) se utilizan para servir como sistema de anclaje de la estructura de soporte flotante.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la etapa de transporte en el mar de la canasta (32) del contrapeso (16) de la estructura de soporte flotante y de su flotador (12) se realiza con la ayuda de dos remolcadores (300, 302) equipados cada uno con un sistema de posicionamiento dinámico.

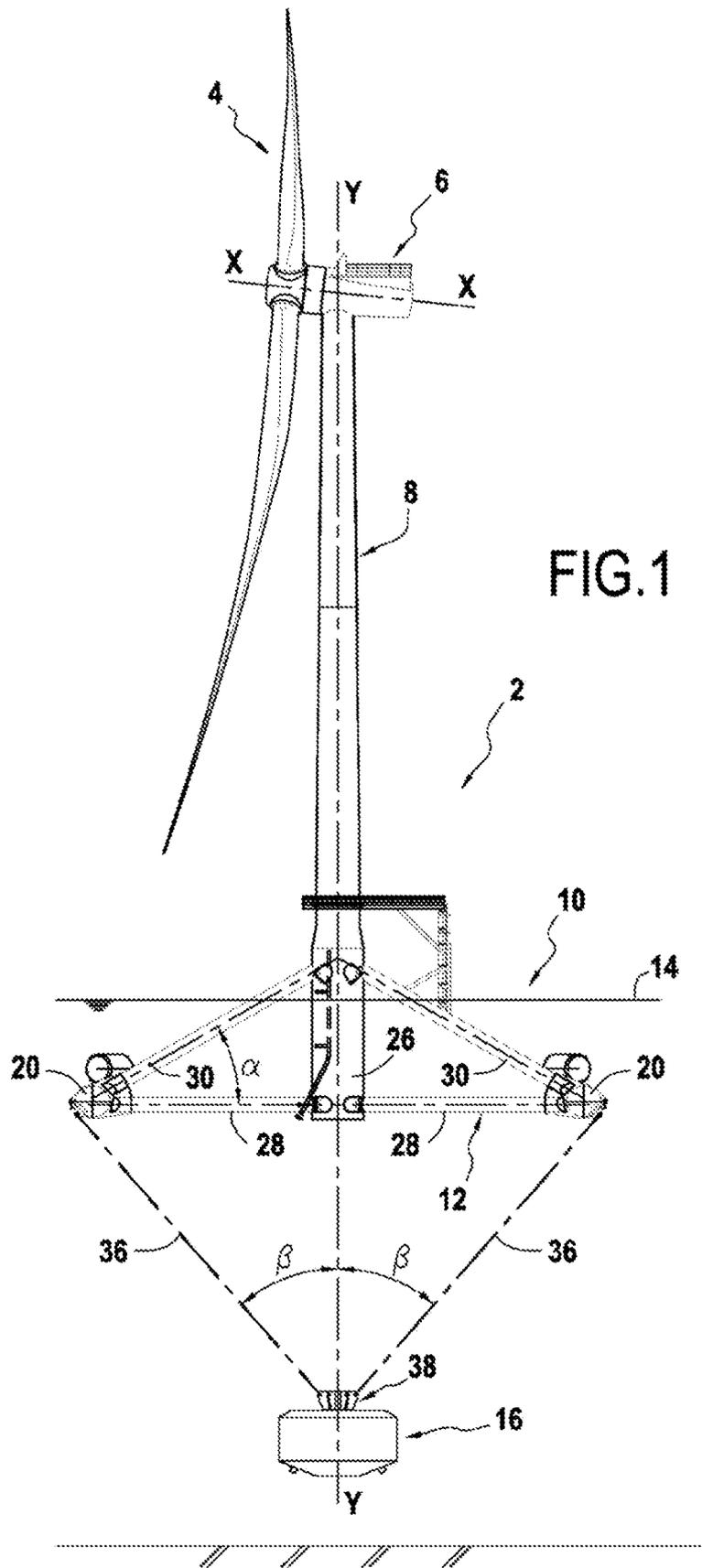


FIG. 1

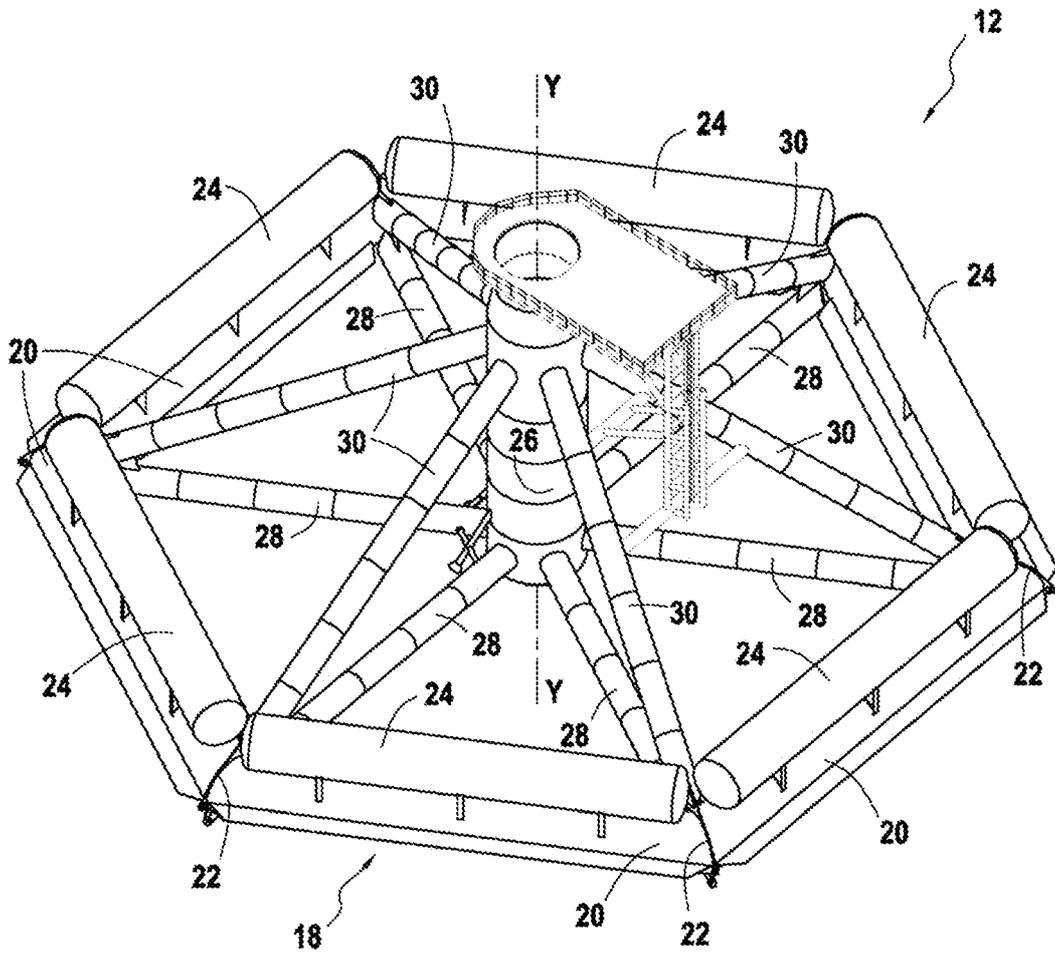


FIG.2

FIG.3

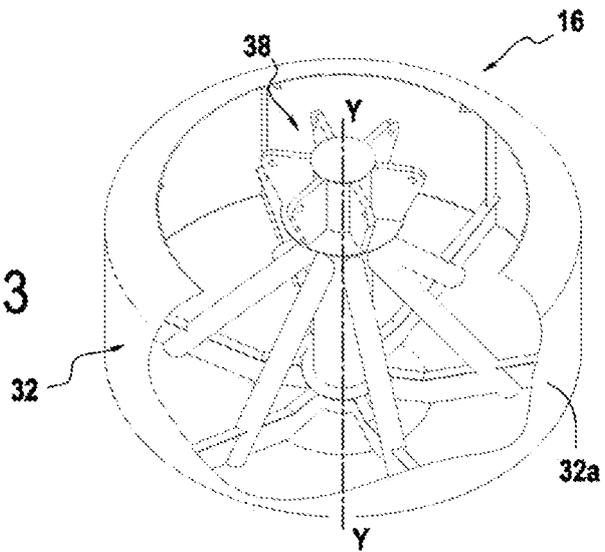


FIG.5

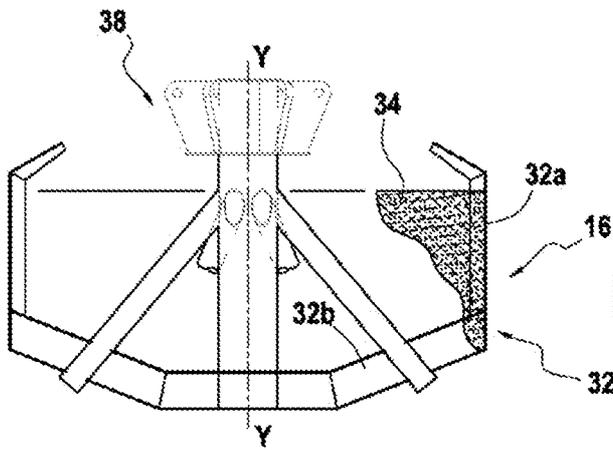
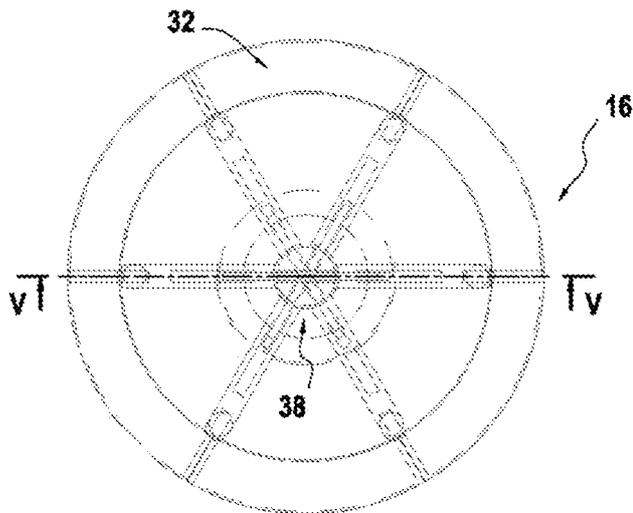


FIG.4



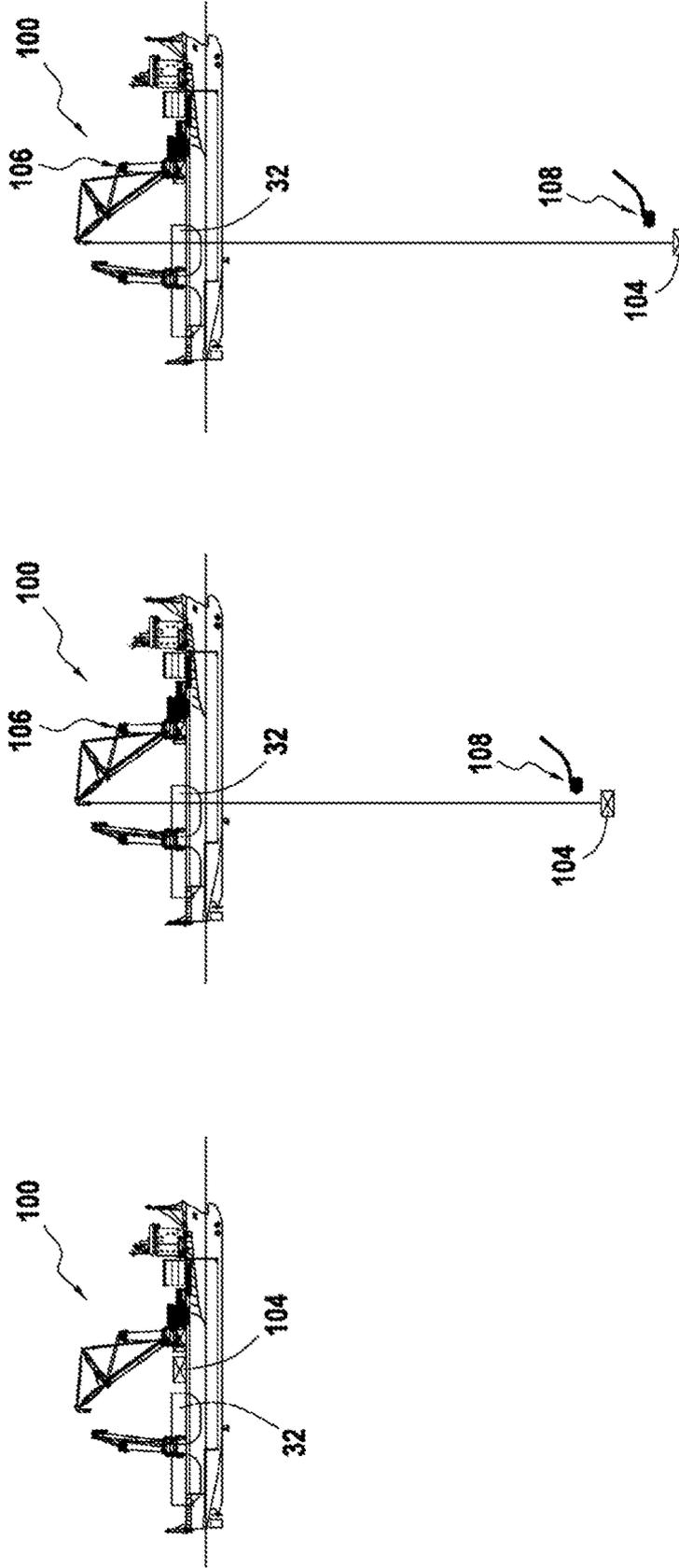


FIG.6A

FIG.6B

FIG.6C

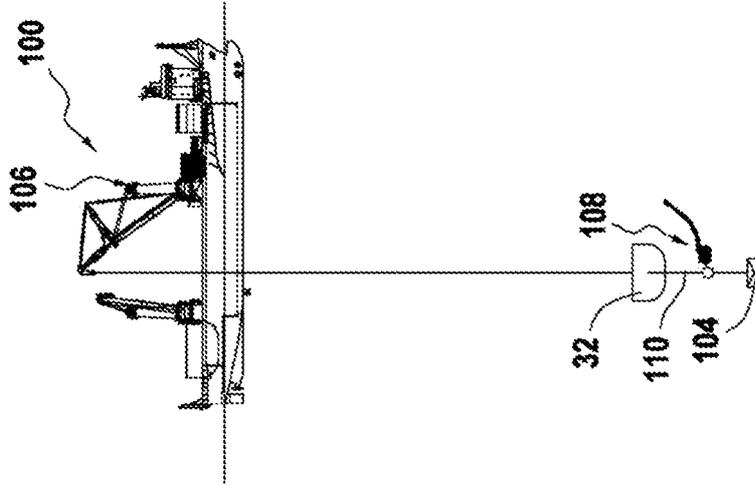


FIG. 6D

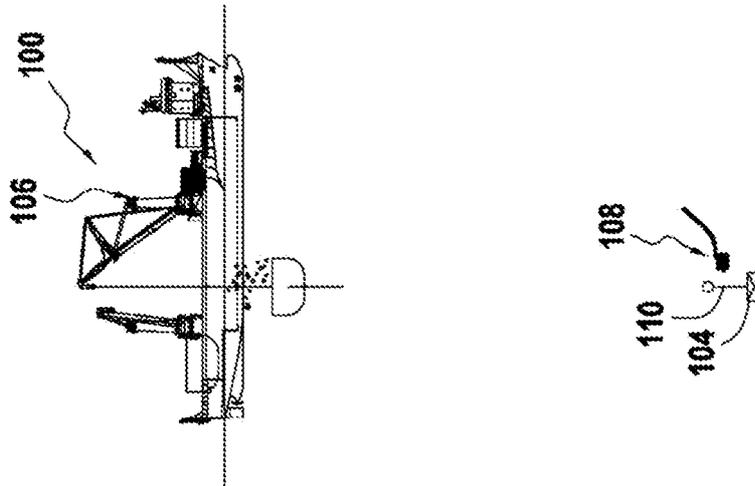


FIG. 6E

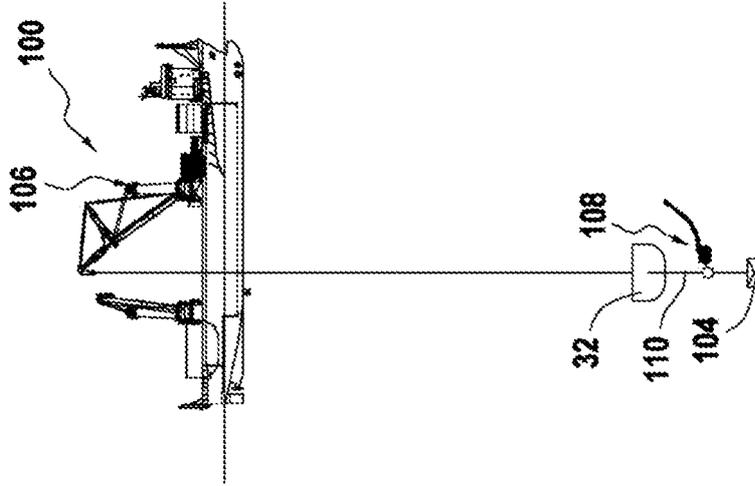


FIG. 6F

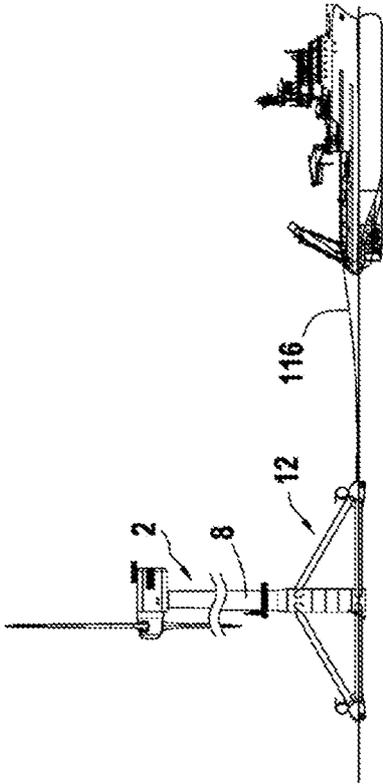


FIG. 6I

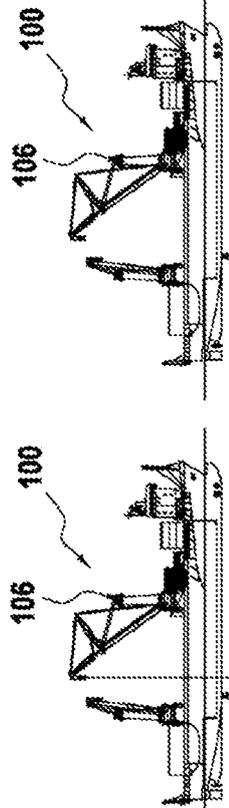


FIG. 6H

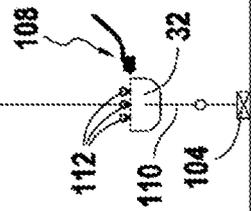


FIG. 6G

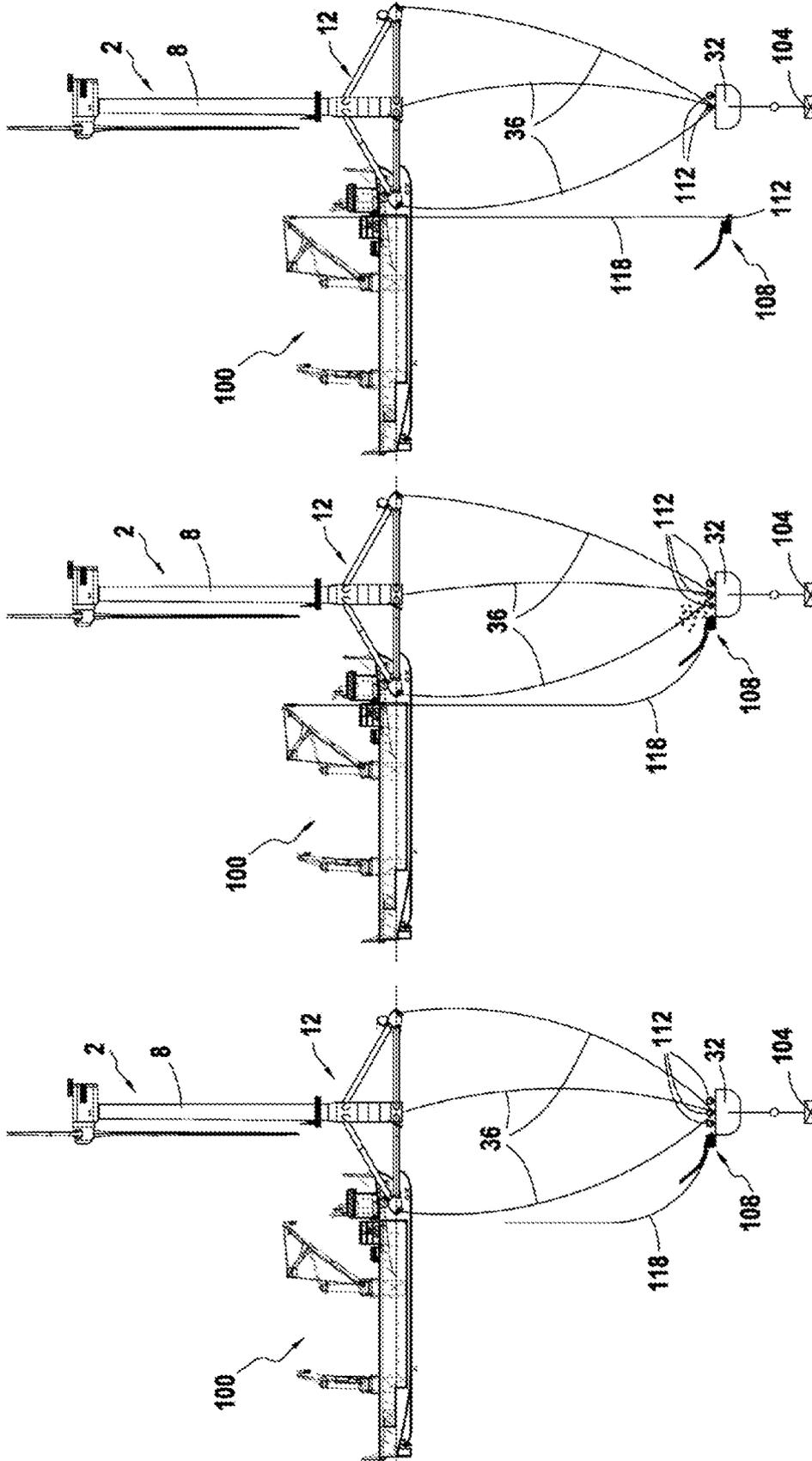


FIG.6J

FIG.6K

FIG.6L

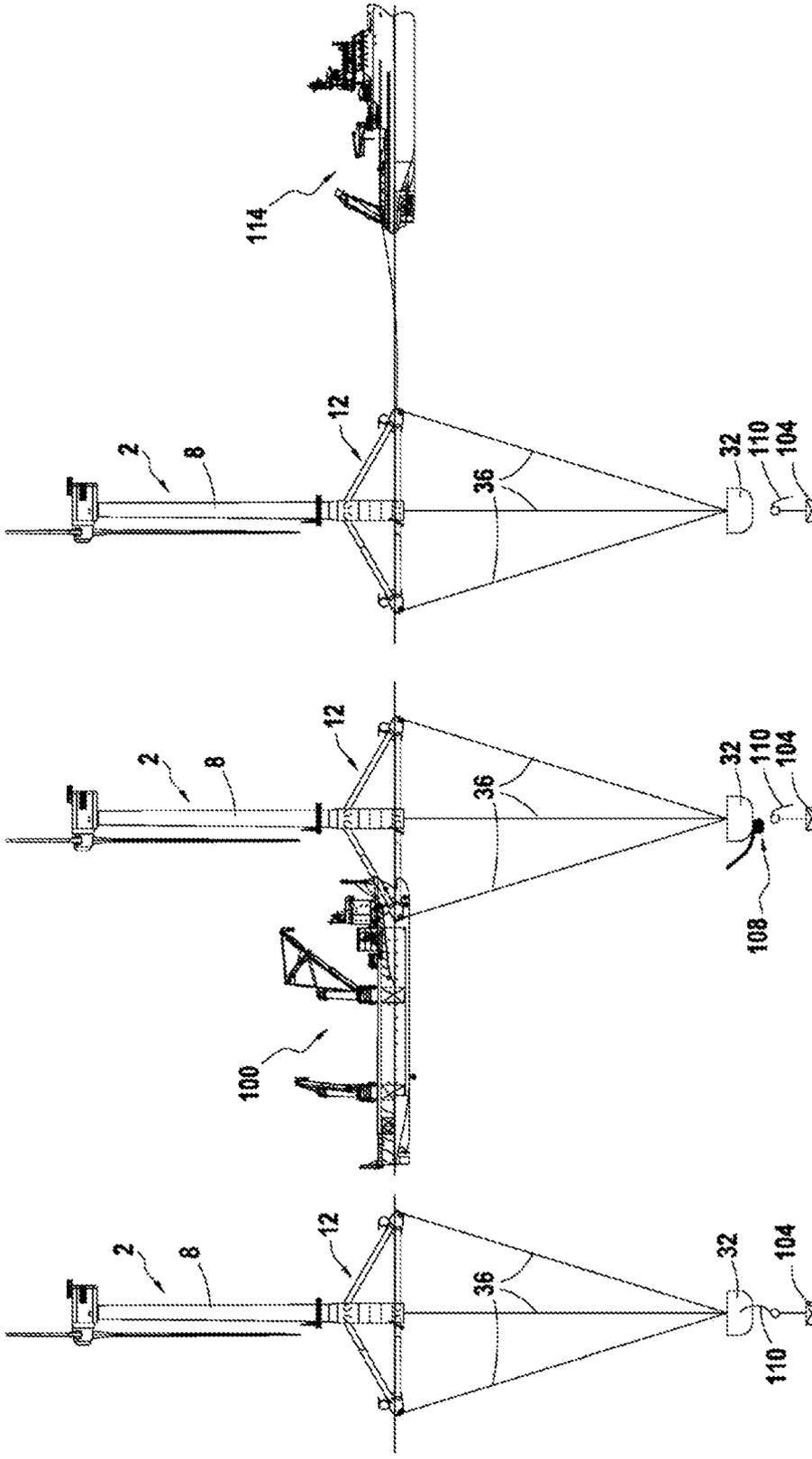


FIG.6M

FIG.6N

FIG.6O

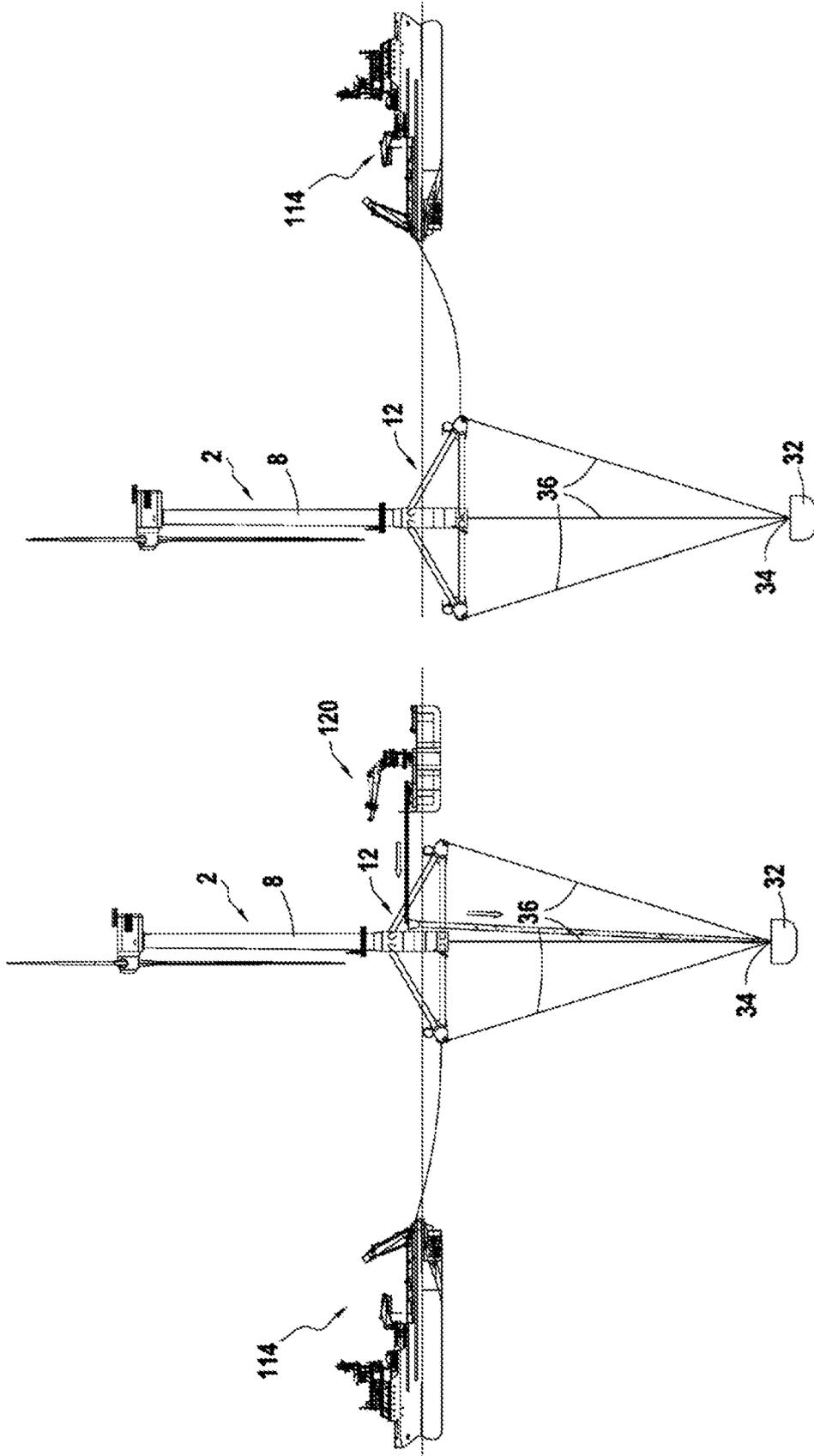


FIG.6Q

FIG.6P

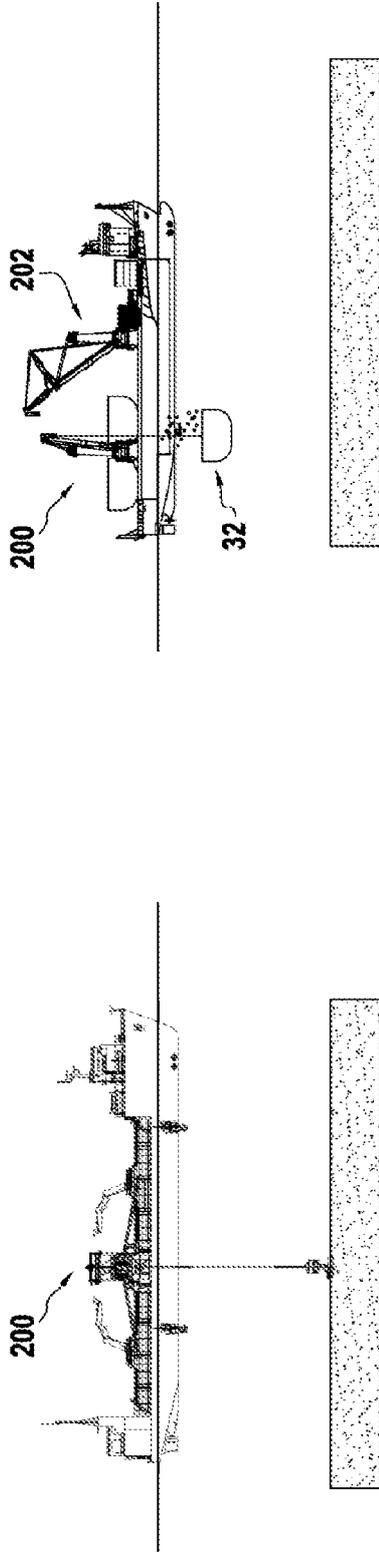


FIG. 7A

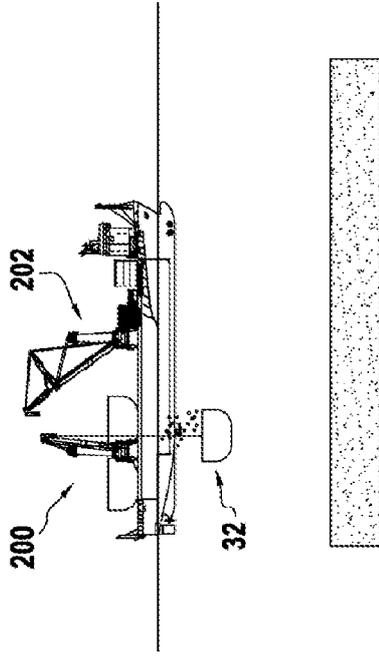


FIG. 7B

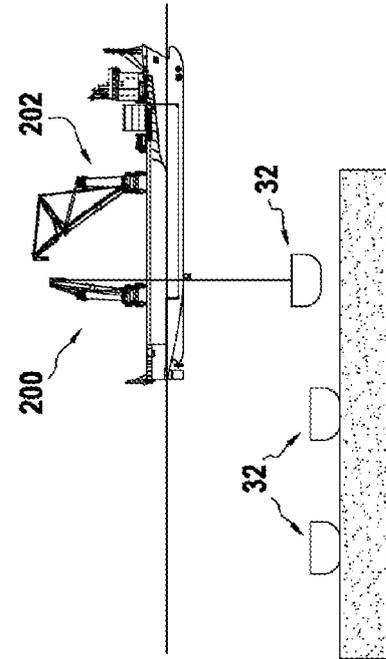


FIG. 7C

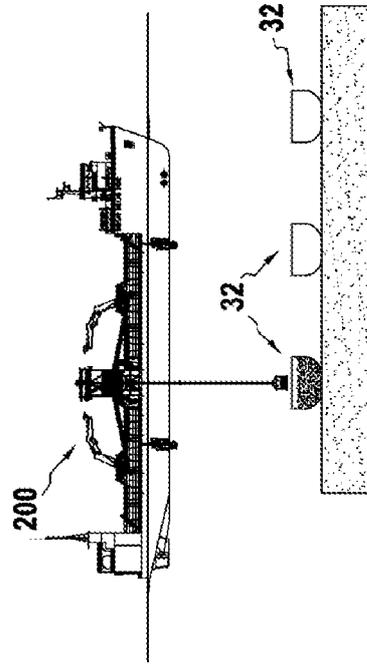


FIG. 7D

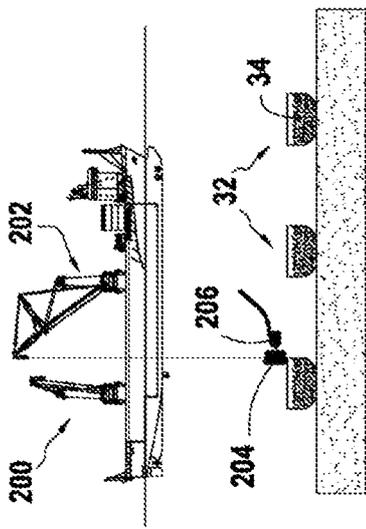


FIG. 7E

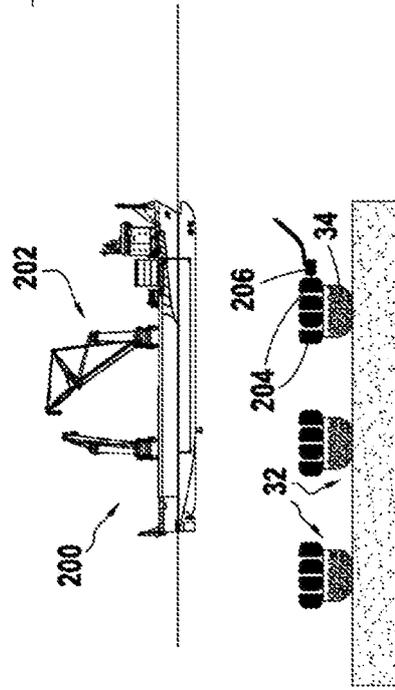


FIG. 7F

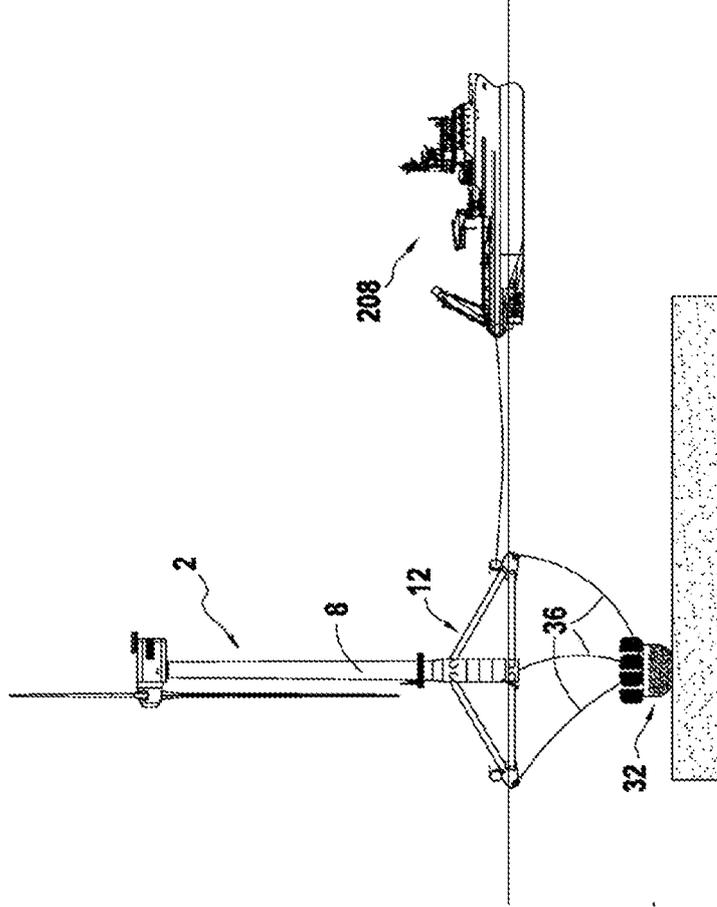


FIG. 7G

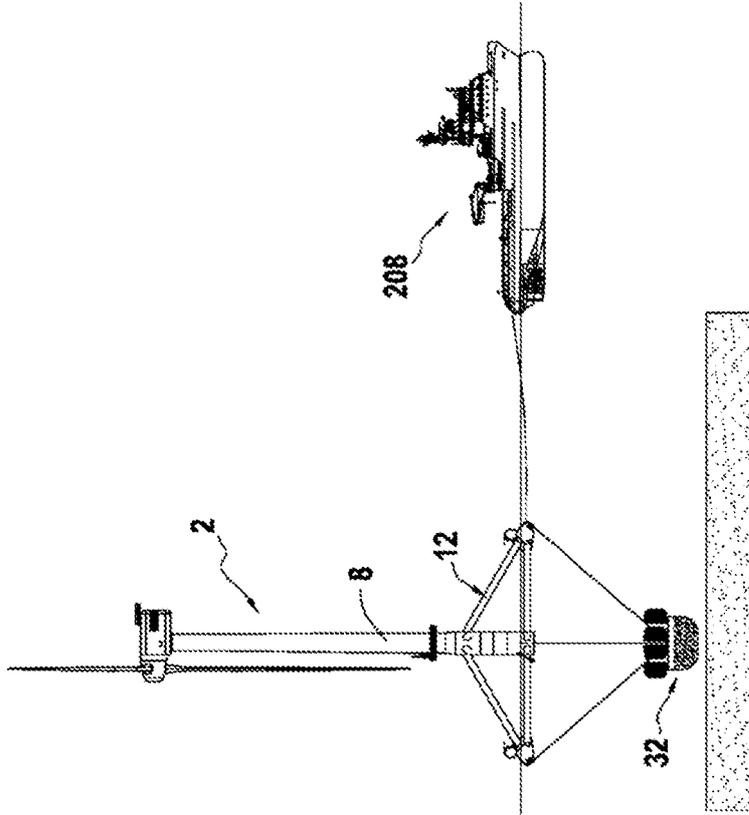


FIG. 7I

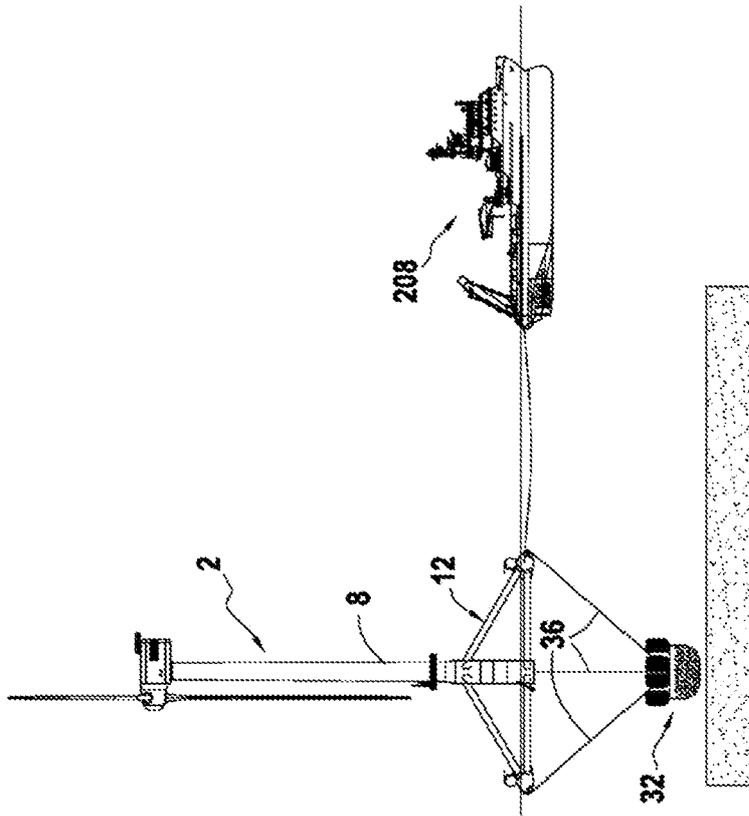


FIG. 7H

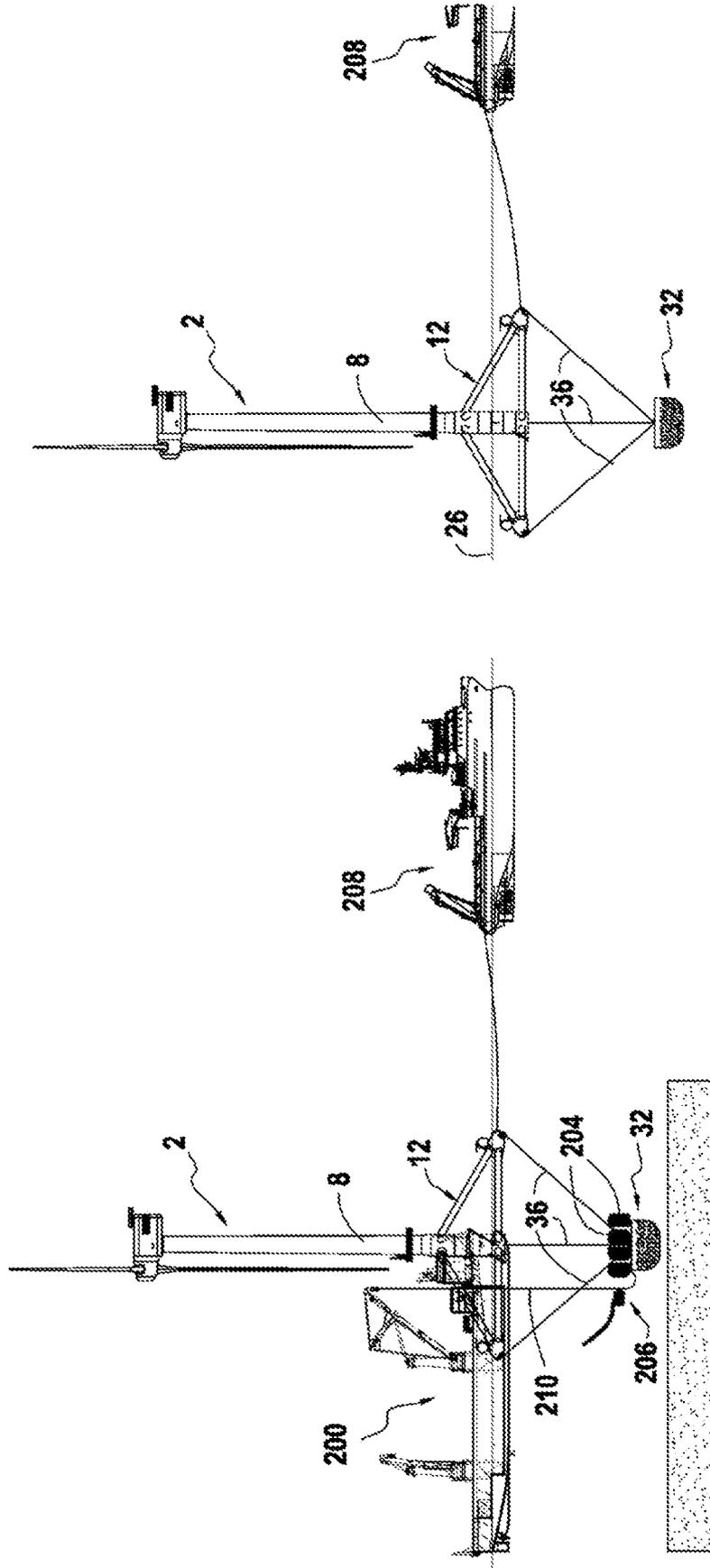
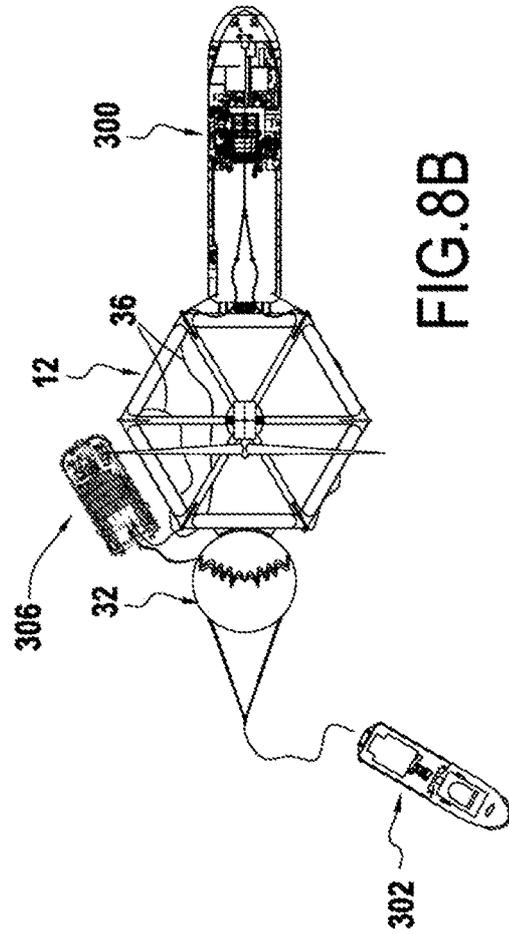
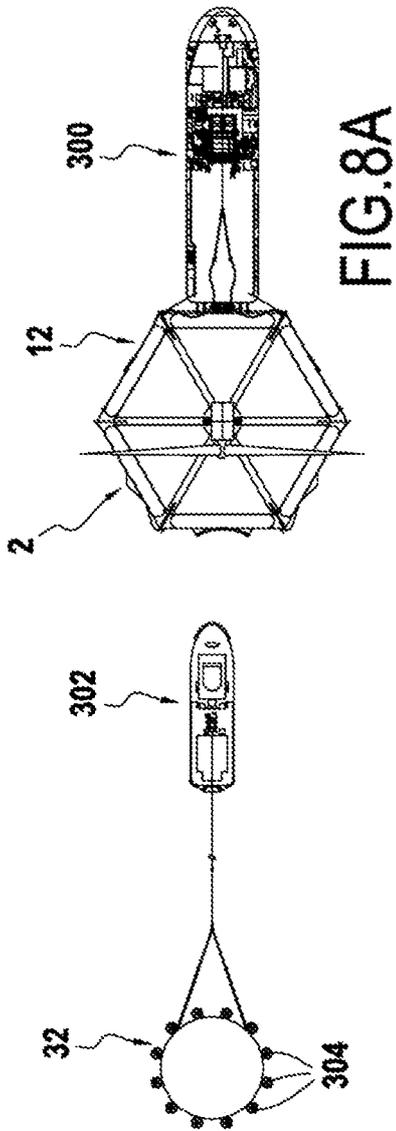


FIG.7K

FIG.7J



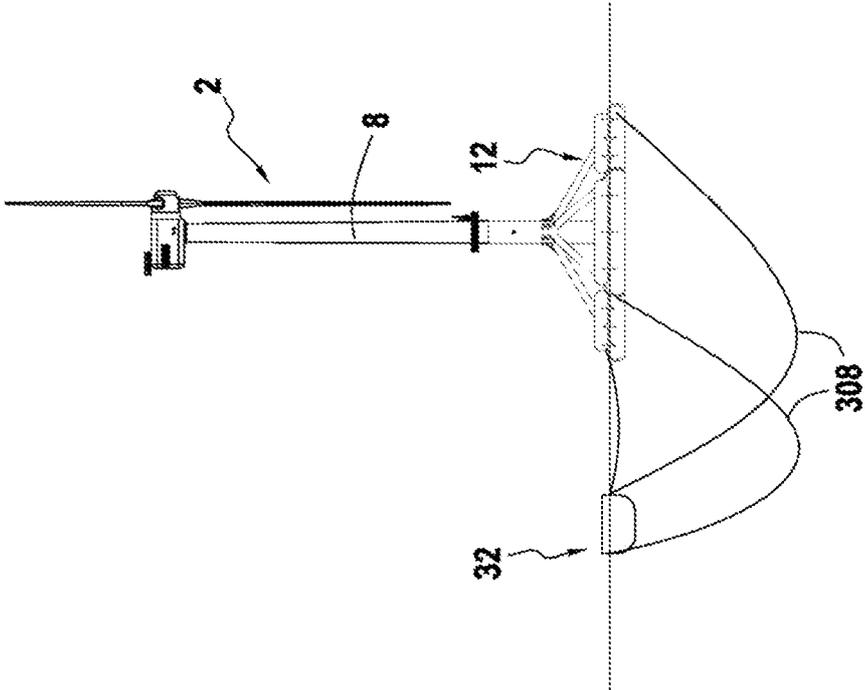


FIG. 8D

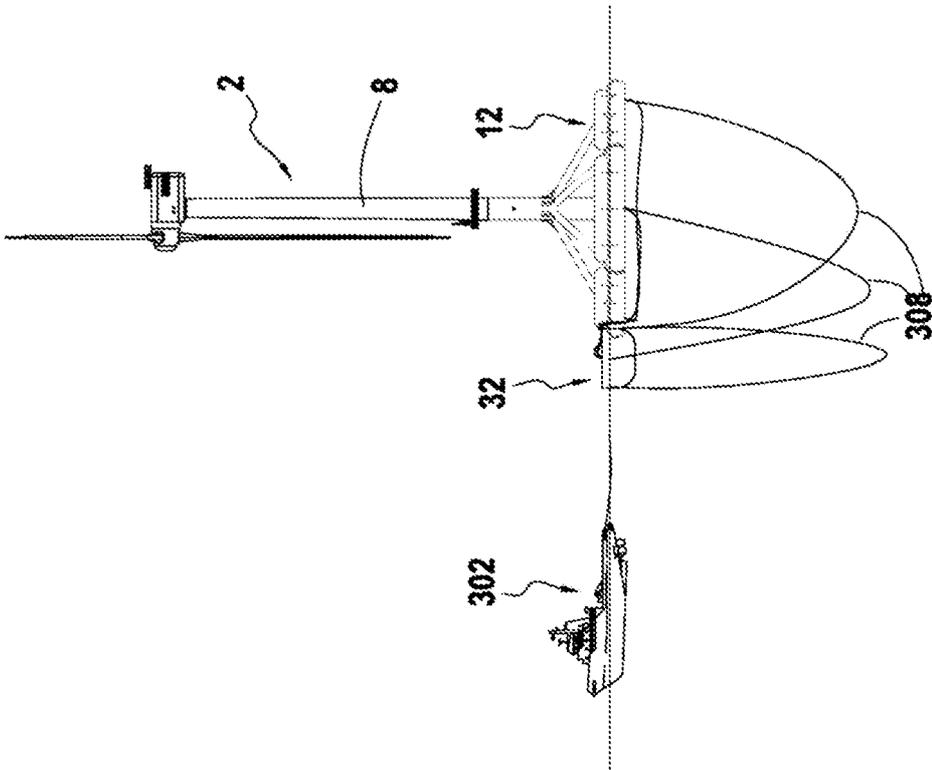


FIG. 8C

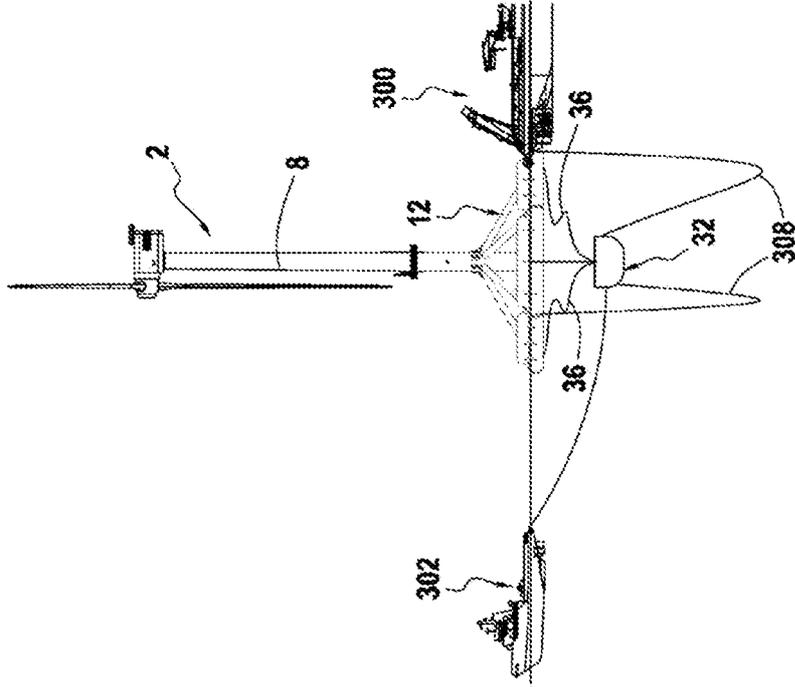


FIG. 8E

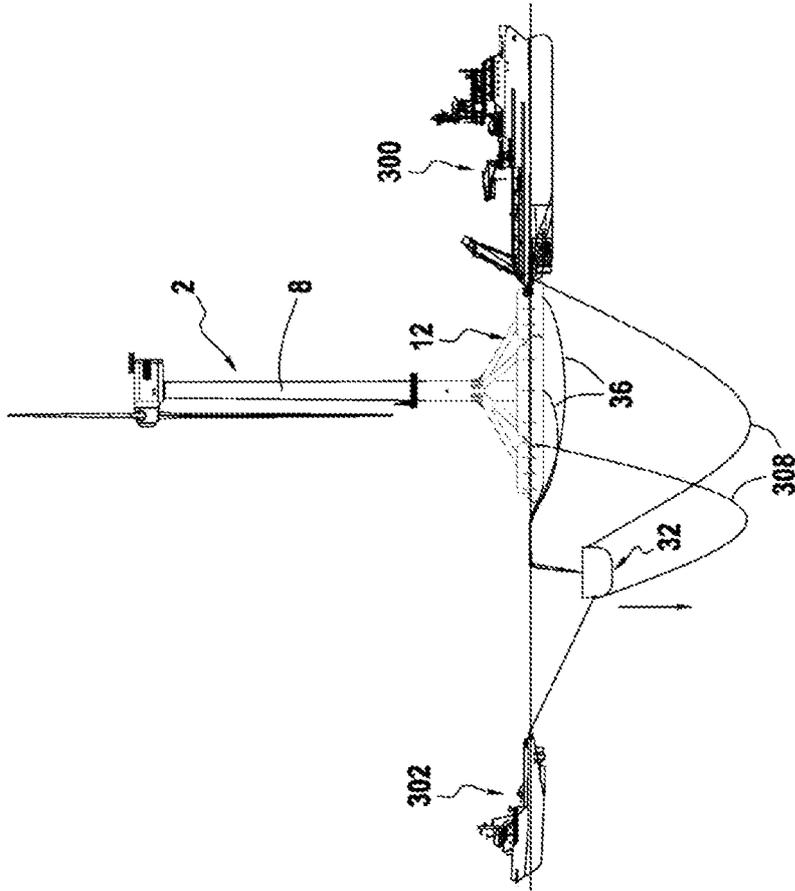
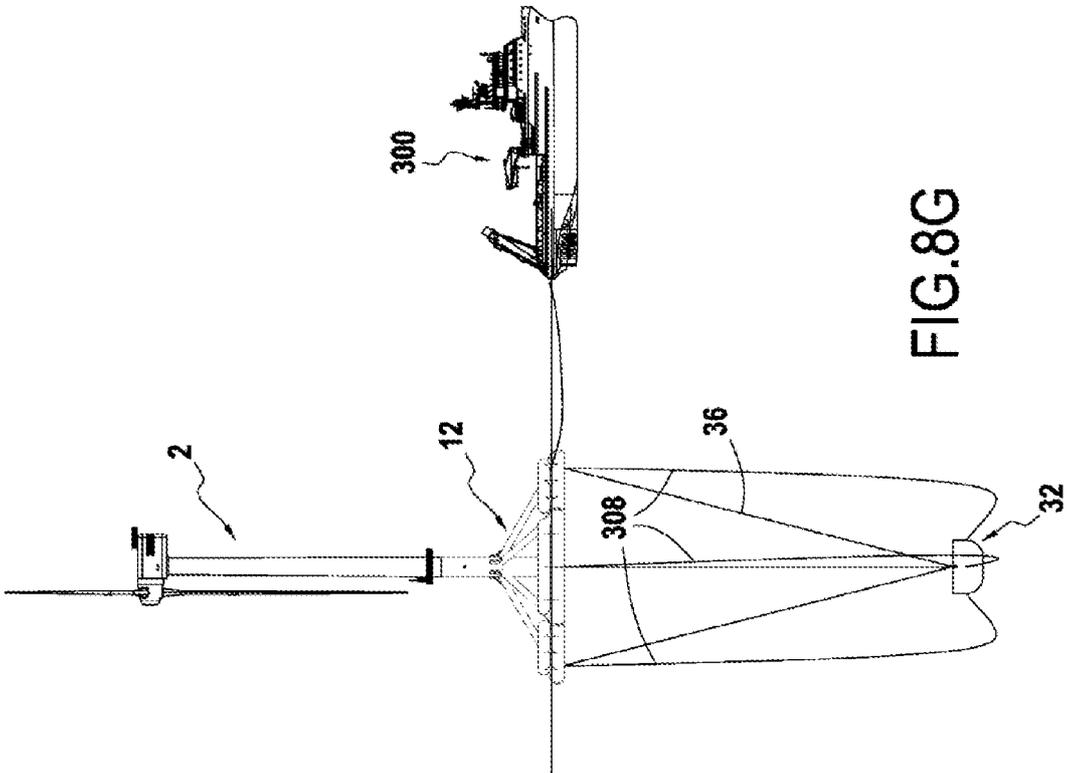
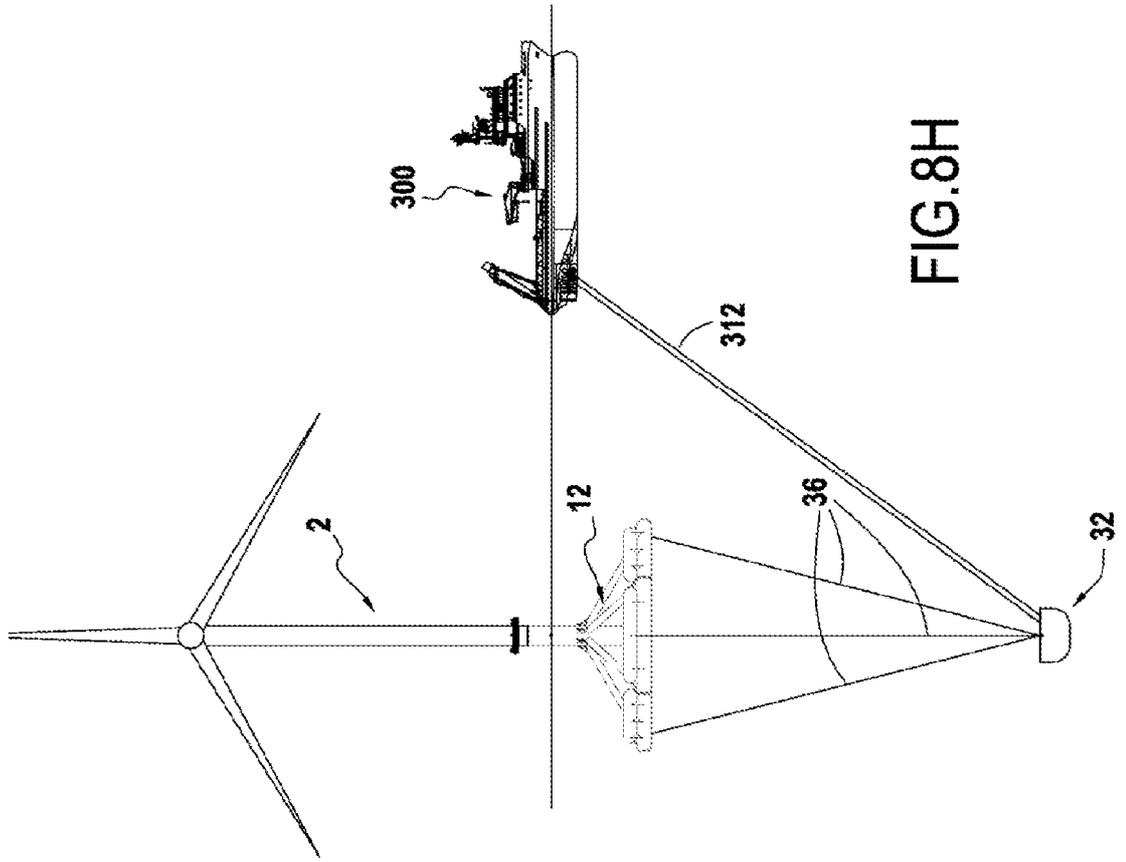
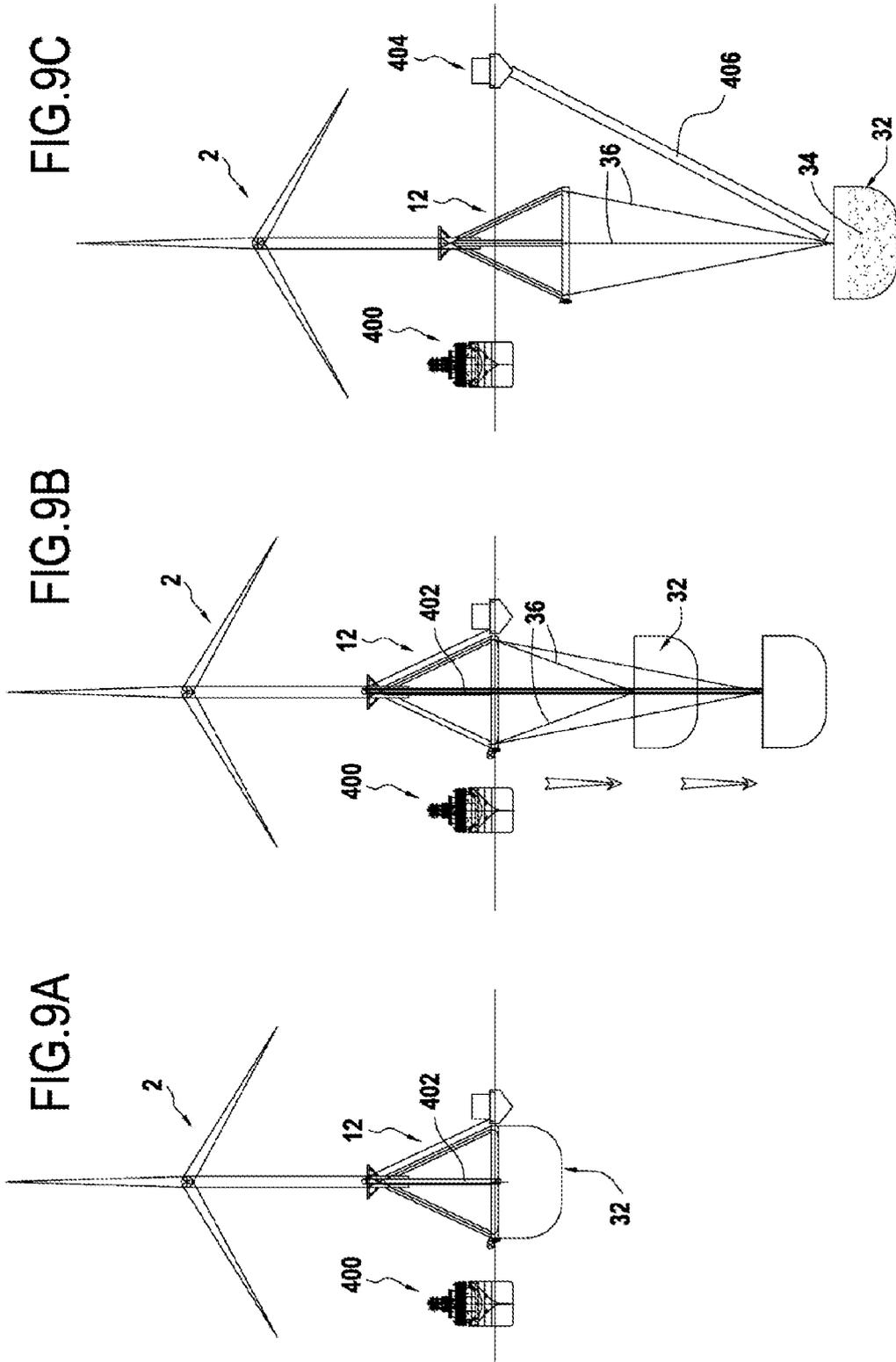


FIG. 8F





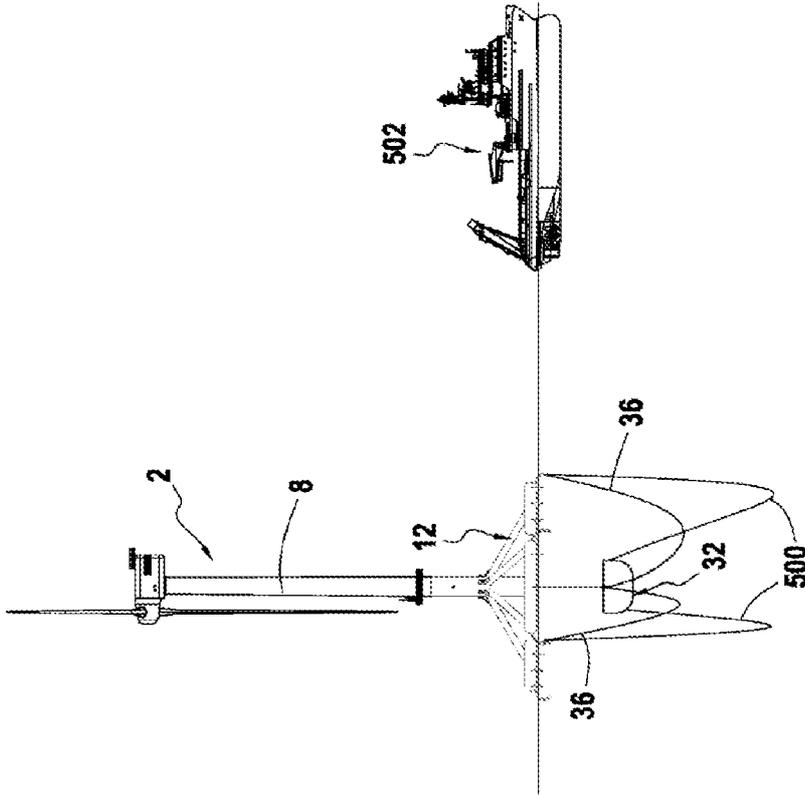


FIG.10B

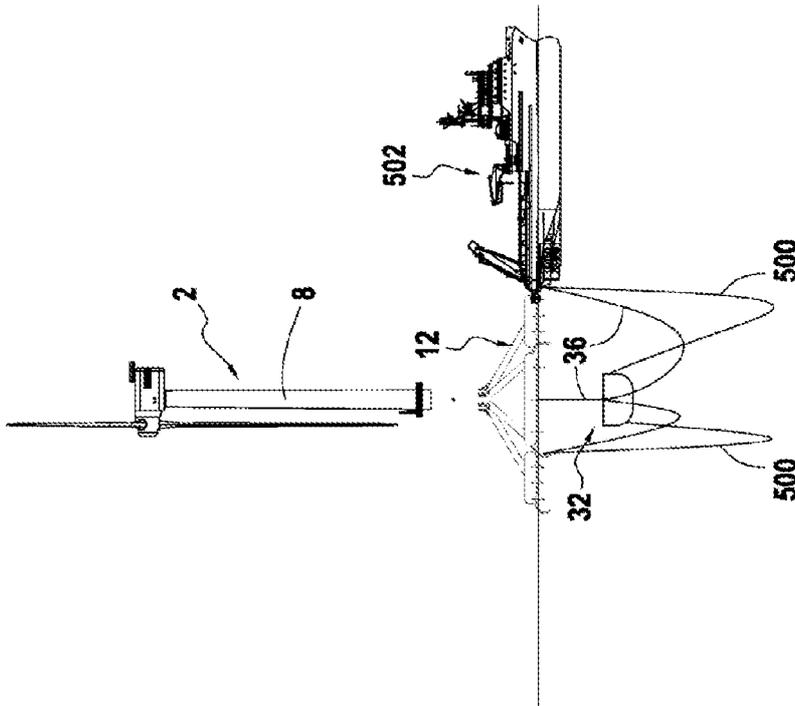


FIG.10A

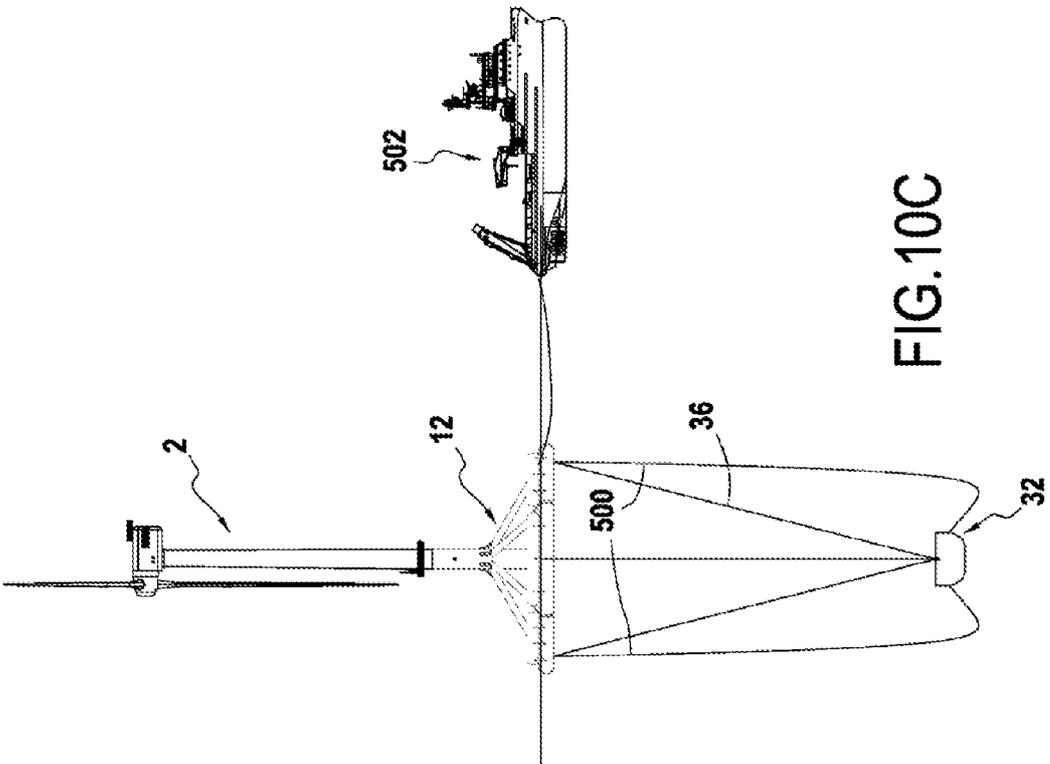
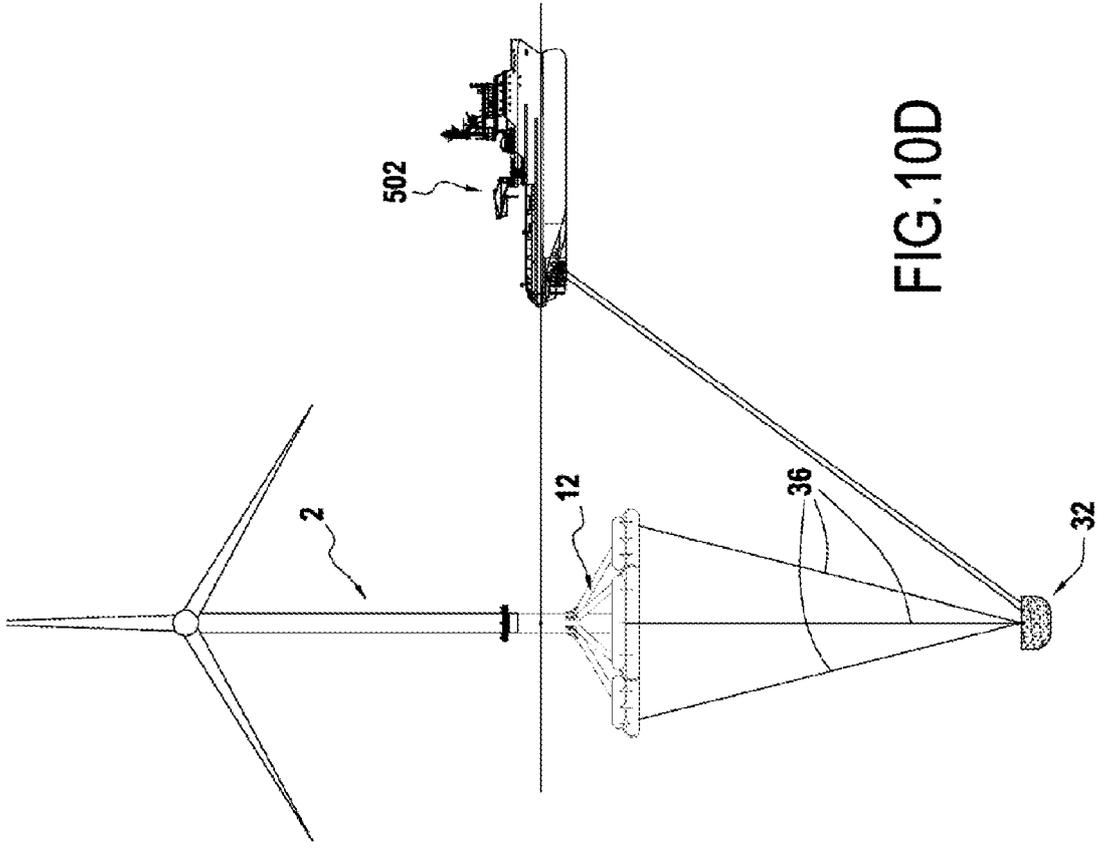


FIG.11A

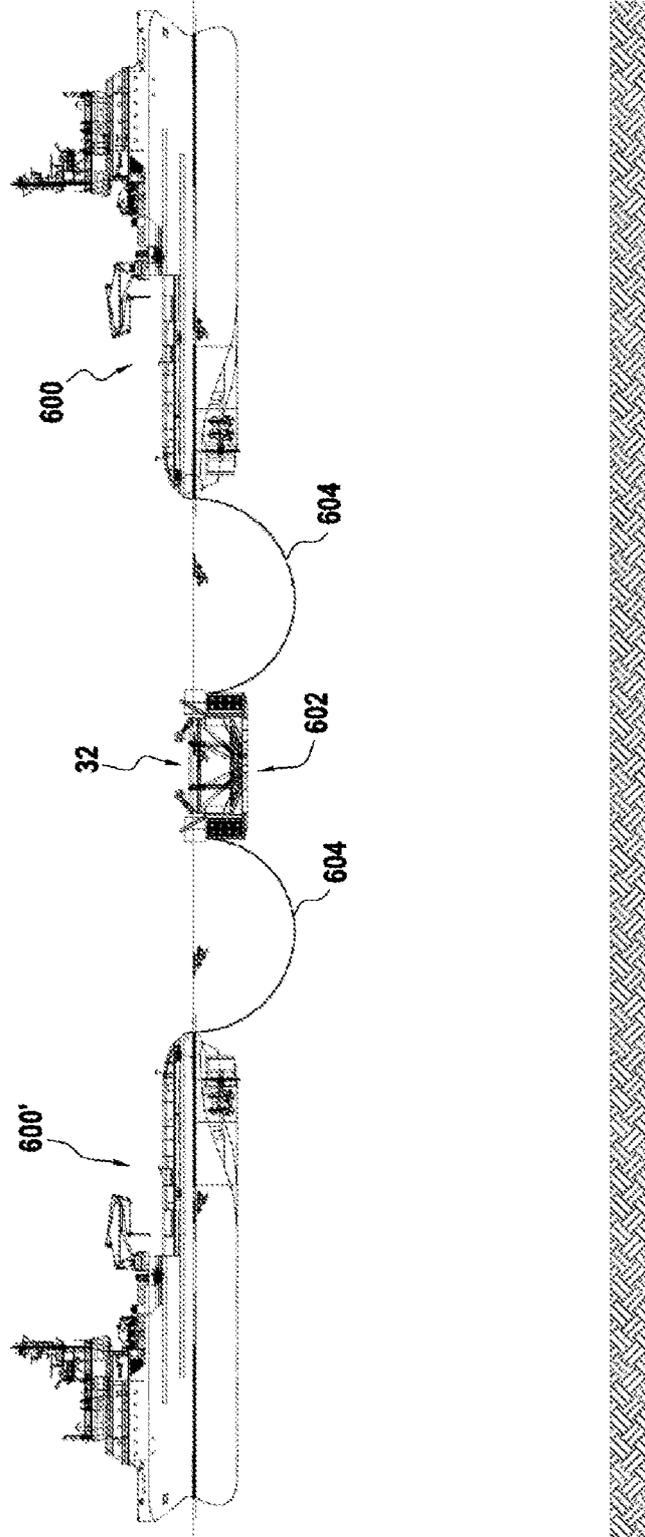


FIG.11B

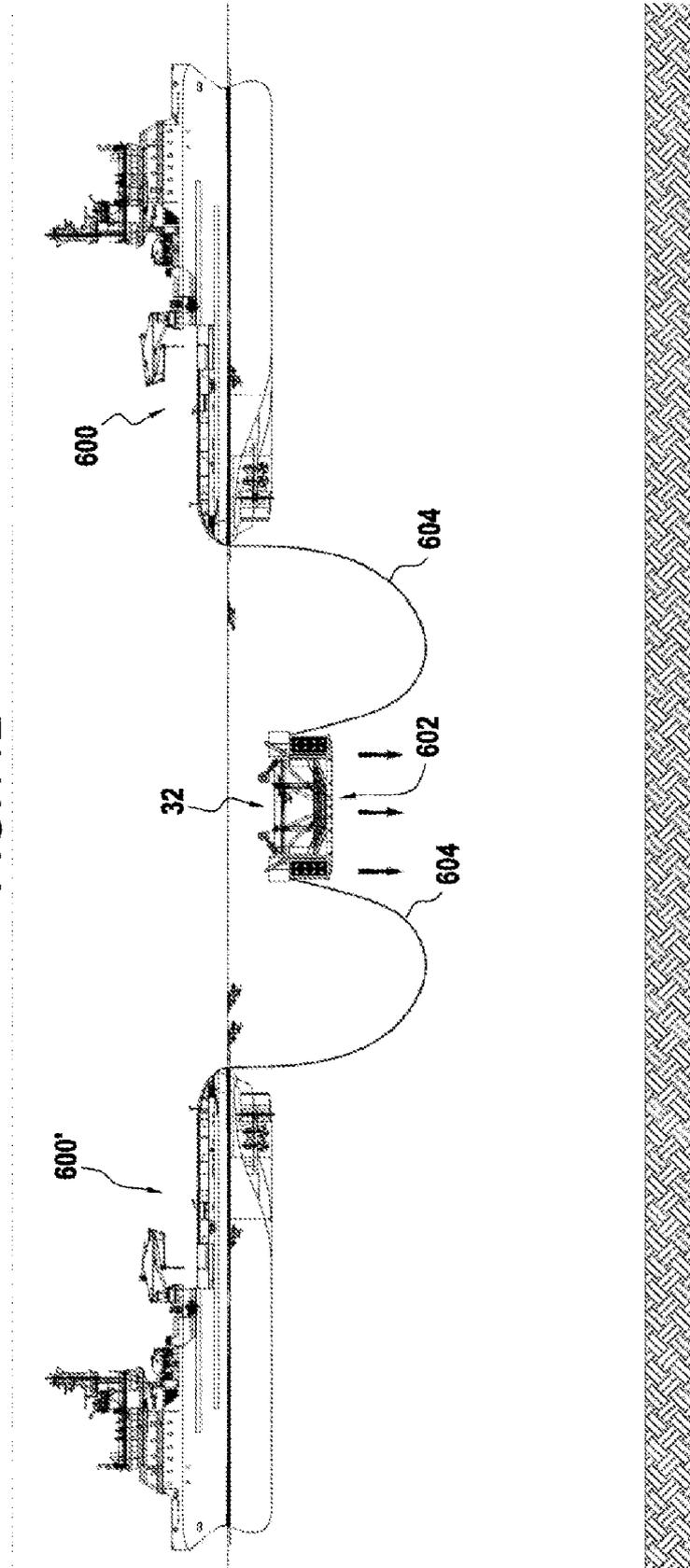


FIG.11C

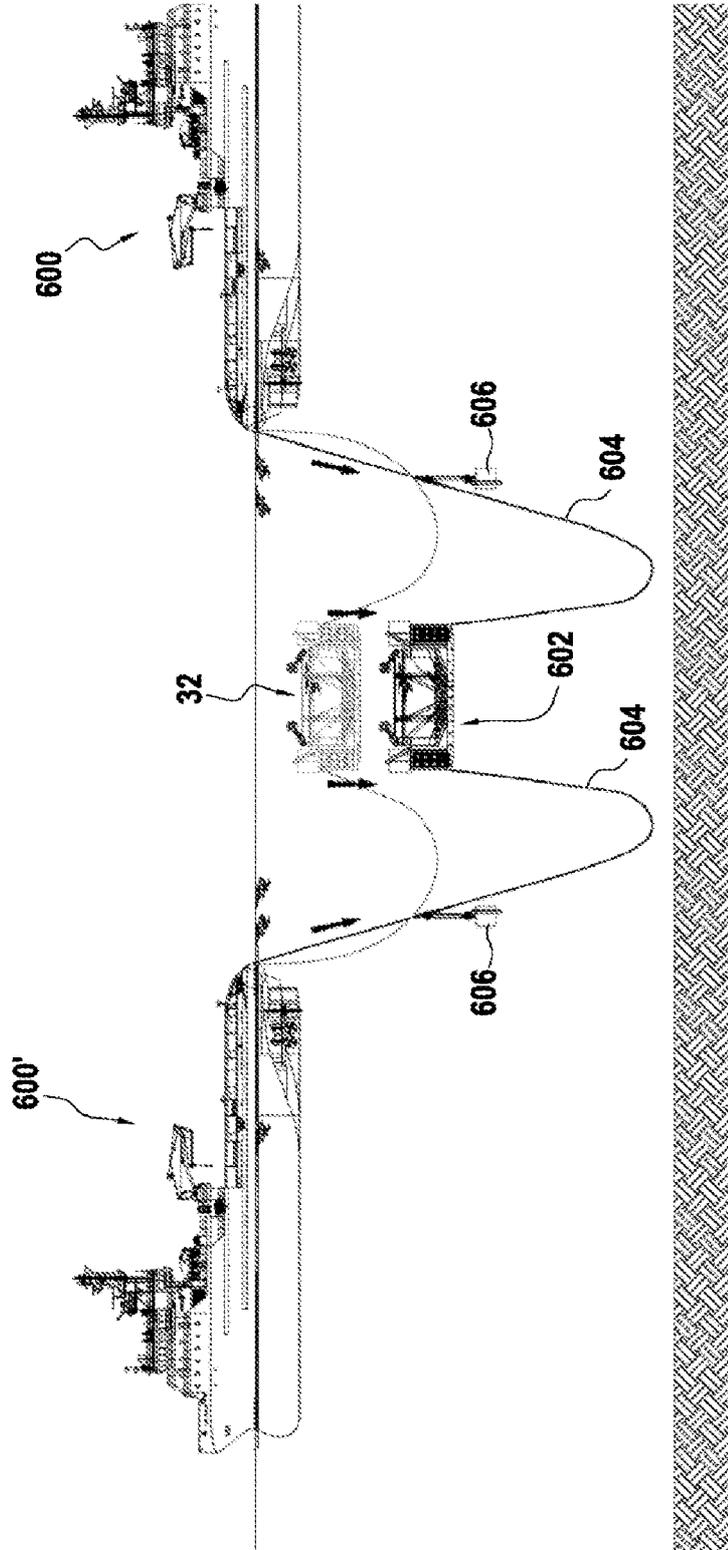


FIG.11D

