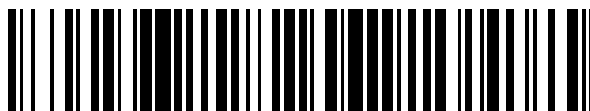


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 744 498**

51 Int. Cl.:

F03B 13/16 (2006.01)

F03B 13/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2007 PCT/US2007/010408**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2007 WO07130331**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2007 E 07776474 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.06.2019 EP 2016281**

54 Título: **Convertidor de energía undimotriz (WEC) mejorado con placas de arfada**

30 Prioridad:

01.05.2006 US 796388 P

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

25.02.2020

73 Titular/es:

**OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
28 Engelhard Drive, Suite B
Monroe Township, NJ 08831, US**

72 Inventor/es:

**POWERS, WILLIAM, B.;
GERBER, JAMES y
BULL, DIANA**

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 744 498 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

Convertidor de energía undimotriz (WEC) mejorado con placas de arfada

5 [0001] Esta invención se refiere a una boya de convertidor de energía undimotriz (WEC) que tiene un flotador horizontal ("flotador" de aquí en adelante) y un flotador vertical generalmente cilíndrico ("espeque" de aquí en adelante) que, cuando se colocan en una masa de agua, se pueden mover uno con respecto al otro en respuesta al movimiento de las olas. El WEC incluye un dispositivo de toma de fuerza (PTO) que responde al movimiento relativo entre el espeque y el flotador para producir formas adecuadas de energía, mecánica y/o eléctrica.

10 [0002] Existen numerosos problemas en la fabricación de un sistema WEC útil que pueda funcionar de manera fiable en las condiciones hostiles presentes en el océano. Las grandes variaciones en la amplitud, la frecuencia y la dirección de las olas dificultan el mantenimiento de la estabilidad de un WEC y su funcionamiento eficiente y fiable. Otros problemas están relacionados con el transporte y el despliegue de un WEC, que tiende a ser voluminoso y pesado. Los WEC que incorporan la invención incluyen medios para resolver estos y otros problemas relacionados con la fabricación y el funcionamiento eficiente de los WEC.

15 [0003] La patente US 5842838 A describe un convertidor de energía undimotriz (WEC) que comprende: un flotador destinado a reposar sobre la superficie de una masa de agua y diseñado para moverse en fase con las olas presentes en la masa de agua; un espeque destinado a extenderse verticalmente, generalmente perpendicular al flotador y a la superficie de la masa de agua, donde dicho espeque se extiende por debajo de la superficie de la masa de agua y está destinado a moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo generalmente fuera de fase con las olas; un dispositivo de toma de fuerza (PTO), conectado entre el espeque y el flotador, que responde a su movimiento relativo para convertir su movimiento relativo en energía útil; y una placa de arfada conectada centralmente a una parte sumergida del espeque, donde dicha placa de arfada se extiende en un plano perpendicular al espeque, y la placa se mueve de manera uniforme hacia arriba y hacia abajo con el espeque para agregar efectivamente masa al espeque a medida que el espeque tiende a moverse hacia arriba y hacia abajo y haciendo que el espeque se mueva generalmente fuera de fase con respecto al flotador para aumentar la energía producida por el WEC.

20
25
30 RESUMEN DE LA INVENCION

35 [0004] El convertidor de energía undimotriz de la invención se caracteriza por el hecho de que al menos una de las varillas y los cables están conectados entre la periferia exterior de la placa de arfada y el espeque para garantizar una conexión estructuralmente firme entre la placa de arfada y el espeque, espeque que tiene una parte superior y una parte inferior, donde el flotador se mueve hacia arriba y hacia abajo a lo largo de la parte superior del espeque, y donde la placa de arfada está unida a través de al menos una de las varillas y cables a una zona a lo largo del espeque; la zona del espeque a lo largo de la cual se conectan dichas varillas y cables es lo suficientemente larga como para aumentar la resistencia estructural y reducir cualquier movimiento entre la placa de arfada y el espeque, y donde las partes superior e inferior del espeque se forman por separado y están interconectadas a través de un acoplamiento flexible para reducir la magnitud de las fuerzas entre la placa de arfada y la parte superior del espeque transmitidas a través del acoplamiento flexible.

40
45 [0005] El WEC puede ser del tipo descrito y reivindicado en la patente de EE. UU. 7,140,180 asignada al cesionario de la presente solicitud. No obstante, debe entenderse que la invención es aplicable a cualquier aparato que tenga un espeque al que esté unida placa de arfada para controlar el movimiento del espeque.

50 [0006] Un aspecto de la invención incluye el diseño de un espeque cuya "masa" y "constante de muelle" efectivas pueden aumentarse o disminuirse sin grandes costos para optimizar el movimiento relativo entre el flotador y el espeque en respuesta a las olas de la masa de agua en la que se coloca el WEC. De acuerdo con la invención, una o más placas "de arfada" está(n) unida(s) centralmente al espeque, por debajo de la línea de flotación, generalmente en perpendicular a la orientación vertical del espeque. Unas varillas, y/o cables, y/o vigas, y/o tuberías, están conectadas entre la periferia exterior y/o puntos seleccionados a lo largo de la placa de arfada y el espeque para garantizar que la placa de arfada se mueva hacia arriba y hacia abajo con el espeque, reduciendo los problemas debidos a proyecciones en voladizo y/o torsiones. Las placas "de arfada" tienen dos efectos sobre las características del espeque en movimiento vertical. Un efecto es que proporcionan una resistencia que impide el movimiento relativo entre el espeque y la columna de agua circundante. El otro efecto es que hacen que un volumen de agua sea arrastrado por encima y por debajo de la placa de arfada, lo que, de hecho, agrega masa adicional al espeque. Estos dos efectos tienen como resultado comportamientos dinámicos muy diferentes, y la interacción entre ellos se puede utilizar para conferir las características deseadas al espeque central.

55
60 [0007] La adición de masa adicional al espeque beneficia a las características de conversión de potencia del WEC porque aumenta la inercia del espeque y ayuda a reducir su frecuencia natural. Por lo tanto, se logra que el espeque central tenga una frecuencia de resonancia natural (NRF) más baja que la de las olas o el flotador mediante el uso de placas de arfada, lo que resulta en una mejor conversión de potencia. Además, la flotabilidad restauradora del espeque afecta a la frecuencia de resonancia. La disminución de la flotabilidad restauradora disminuye la frecuencia natural del espeque, donde la flotabilidad restauradora puede definirse como la fuerza hidrostática que

surge en respuesta a los desplazamientos en el levantamiento de una estructura flotante, y que tiende a devolver la estructura flotante a su corriente natural. El efecto de arrastre debido a la placa de arfada puede ayudar o perjudicar, dependiendo de varios factores, principalmente la relación entre la profundidad de la placa de arfada en la columna de agua y la longitud de onda de las olas superficiales predominantes.

5

[0008] Las placas de arfada de la presente invención pueden considerarse una solución rentable para aumentar la masa efectiva del espeque.

10

[0009] Una forma de realización de la presente invención incluye unir una placa de arfada con estructuras "salientes" o verticales al espeque. Se pueden formar estructuras salientes o verticales a lo largo de las superficies superior e inferior de las placas de arfada. Existen al menos dos beneficios de estas placas de arfada con rebordes. Uno es que la masa efectiva del espeque aumenta. El otro es que, dependiendo de su tamaño y forma, los rebordes pueden disminuir la fuerza de arrastre que se produce debido al movimiento vertical relativo. Típicamente, los rebordes se forman a lo largo de la periferia de la placa de arfada extendiéndose en una dirección perpendicularmente hacia arriba y/o hacia abajo respecto al plano de la placa de arfada. El tamaño y la extensión de los rebordes pueden proporcionar diferentes resultados deseados.

15

20

[0010] Los WEC que incorporan la invención incluyen un sistema de guía/apoyo que acopla el flotador y el espeque de modo que su movimiento relativo generalmente se limita al movimiento en una dirección (es decir, hacia arriba y hacia abajo cuando está desplegado) a pesar de las fuerzas de rotación y de sacudimiento y los empujes en diferentes direcciones laterales.

25

[0011] En formas de realización seleccionadas, la sección transversal de la parte superior del espeque, en la zona donde el espeque se mueve hacia arriba y hacia abajo en perpendicular a la línea de flotación y al flotador, puede disminuirse para disminuir su flotabilidad o "elasticidad". La disminución de la flotabilidad restauradora del espeque disminuye (reduce) la frecuencia natural del espeque.

30

[0012] Un sistema WEC que incorpora la invención incluye cámaras de flotabilidad y sistemas de lastre para orientar el espeque y el flotador y para facilitar el despliegue y la retirada de la boya del WEC y también incluye un aparato para asegurar su supervivencia en condiciones de tormenta significativa.

35

[0013] Dado que el flotador y el espeque pueden moverse (es decir, ni el espeque ni el flotador están anclados fijamente al fondo del mar), se ha diseñado un sistema de amarre para mantener la boya del WEC dentro de un área prescrita.

40

[0014] Un sistema WEC que incorpora la invención incluye un aparato para permitir el funcionamiento del WEC en grandes rangos de marea.

45

[0015] La boya del WEC tiene tres elementos principales: un flotador 100, un espeque 200 y un sistema de conversión de potencia 300, como se muestra en varias de las figuras. El componente del espeque incluye un elemento cilíndrico orientado verticalmente que proporciona una plataforma estable para soportar y dar fuerza de reacción al sistema de toma de fuerza. El espeque se muestra como un elemento cilíndrico; sin embargo, no es necesario que sea así y el espeque puede formar parte de un sistema de viga de celosía.

50

[0016] En una forma de realización, el espeque tiene una parte superior utilizada para proporcionar flotabilidad y un espacio de contención para todos los equipos de conversión de potencia y de toma de fuerza. La parte inferior del espeque incluye un compartimento de lastre y placas de arfada. La longitud y la masa del espeque, y las placas de arfada, proporcionan inercia y estabilidad, lo que le da al espeque una respuesta de movimiento limitada en períodos de olas predominantes y normales.

55

[0017] La PTO y el sistema de conversión de energía pueden incluir conexiones hidráulicas, mecánicas, generadores, controladores y equipos eléctricos. También se pueden usar generadores eléctricos lineales (LEG) para convertir la energía mecánica producida entre el espeque y el flotador y convertirla en energía eléctrica. En una forma de realización, todos los componentes de conversión de energía están diseñados para estar contenidos completamente en el interior del espeque. El movimiento lineal causado por el movimiento del flotador puede ser capturado por el equipo hidráulico y convertido en energía rotativa a través de bombas de fluido y motores conectados al equipo de generación de energía. Alternativamente, el sistema de conversión de energía puede estar ubicado en la parte inferior del espeque y/o a lo largo de y/o en el flotador. Cuando la PTO incluye un generador eléctrico lineal (LEG), la PTO puede distribuirse entre el flotador y el espeque. El sistema de conversión de potencia puede estar contenido en el espeque, como se muestra, o en el flotador y/o puede distribuirse entre el flotador y el espeque.

60

65

[0018] En los sistemas WEC que incorporan la invención, el WEC puede diseñarse de modo que tenga un cable de alimentación conectado al espeque y/o flotador por encima de la línea de flotación para eliminar la necesidad de que haya una conexión por cable submarina.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0019] En los dibujos adjuntos, que generalmente no están dibujados a escala, los caracteres de referencia iguales indican los mismos componentes; y

- 5 la figura 1 es un dibujo isométrico que muestra un sistema de boya WEC que incorpora la invención que incluye un flotador y un espeque al que están conectadas dos placas de arfada y una disposición de amarre de 3 puntos;
- las Figuras 2 y 3 son vistas isométricas de WEC que incorporan la invención que muestran el espeque y el flotador con mayor detalle y diferentes conexiones de las placas de arfada al espeque;
- 10 la Figura 3A es un diagrama que ilustra la sección de un WEC;
- la Figura 4 es una vista isométrica de un WEC con una sola placa de arfada, con bordes elevados (rebordes), conectada al espeque;
- las figuras 5A, 5B y 5C son vistas diferentes de un WEC con una placa de arfada conectada a la parte inferior del espeque;
- 15 las figuras 6 y 6A son diagramas idealizados en sección transversal que muestran la placa de arfada conectada al espeque y un dispositivo de toma de fuerza (PTO) conectado entre el flotador y el espeque;
- las figuras 7 y 8 son diagramas de sección transversal que muestran una placa de arfada con rebordes y cables que conectan la placa de arfada a la parte superior de un espeque, debajo del flotador; estas figuras son las únicas figuras en las que se muestra claramente el concepto inventivo de un acoplamiento flexible entre las partes de espeque superior e inferior.
- 20 la figura 9 es una vista isométrica de un WEC con la parte superior del espeque formada con una sección transversal reducida (plano de flotación más pequeño) en la zona de la línea de flotación y flotador con la parte inferior del espeque conectada a una placa de arfada;
- la figura 10 es una vista ampliada de la parte superior del espeque que se muestra en la figura 9 en la zona donde el flotador y el espeque se cruzan en una relación generalmente fuera de fase en respuesta a las olas del océano a medida que se mueven hacia arriba y hacia abajo;
- 25 la figura 11 es una vista superior del espeque y el flotador de la figura 9;
- la Figura 12 es un boceto que ilustra las diferentes fuerzas a las que pueden verse sometidos un flotador y un espeque;
- 30 las Figuras 13a, 13b y 13c son dibujos que ilustran la estructura de guía/soporte de WEC que incorpora la invención;
- la figura 14 es un dibujo que ilustra la estructura de puente/viga de celosía para trasladar el movimiento de un flotador a una toma de fuerza situada dentro de un espeque; y
- 35 las figuras 15A y 15B son dibujos altamente simplificados, que ilustran respectivamente la colocación de un WEC en una posición horizontal o vertical mediante el uso de cámaras de flotabilidad.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS

- 40 [0020] Las Figuras 1 a 8 representan varios WEC con al menos una placa "de arfada" conectada centralmente al espeque, por debajo de la línea de flotación. La placa de arfada, como se usa en el presente documento, se refiere a una placa que se extiende en una dirección generalmente perpendicular al espeque. En las figuras se muestra que la placa de arfada es circular. Sin embargo, debe entenderse que la placa podría ser triangular, o cuadrada o de cualquier forma poligonal, siempre que el espeque esté ubicado centralmente alrededor de la superficie de la placa. Como ya se ha señalado, la placa de arfada proporciona características de arrastre (resistencia) y masa añadida (inercia) importantes en el funcionamiento del WEC. Por lo tanto, mientras que el flotador está diseñado para responder al movimiento de frecuencia más alta de las olas, la placa de arfada confiere al espeque las características necesarias para responder a movimientos de olas de frecuencia mucho más baja (período más largo) y, por lo tanto, aumenta el diferencial en el movimiento relativo entre el espeque y el flotador.
- 45
- 50 [0021] En las Figuras 1, 2 y 3, hay una placa de arfada 204a montada y unida a la zona media del espeque y una placa de arfada 204b montada y unida a la parte inferior o superior del espeque. Estas figuras también ilustran que las placas de arfada pueden estar conectadas por varillas que descienden del espeque o por cables, vigas, tuberías y/o varillas que se extienden desde la periferia exterior de la placa de arfada hasta el espeque para mantener la placa estable y generalmente perpendicular al espeque. Las diferencias en las estructuras mostradas en las
- 55 diversas figuras ilustran que puede haber diferentes configuraciones estructurales para asegurar una placa de arfada y para estabilizar el flotador y el espeque. Como se muestra en algunas de las figuras, los componentes de sujeción y soporte que interconectan la placa de arfada y el espeque son elementos rígidos y están unidos rígidamente mediante atornillado o soldadura. Como se muestra en otras figuras, la placa de arfada y el espeque están interconectados a través de barras y/o cables pretensados para reducir el peso, el costo y la resistencia.
- 60 Estos elementos tensados y pretensados están configurados para mantener la estructura de la placa de arfada en un modo de tensión para contrarrestar las numerosas fuerzas diferentes aplicadas al sistema desde diferentes direcciones.
- 65 [0022] Se muestra que la placa de arfada está dispuesta simétricamente y está conectada de manera rígida y fija al espeque para proporcionar una respuesta similar cuando el espeque se eleva a cuando se baja. Sin embargo, la placa de arfada puede estar diseñada para proporcionar una respuesta diferente cuando se levanta (se eleva) en comparación con cuando se mueve hacia abajo (se baja) al moldear la superficie de la placa e incluso controlar

el área efectiva de la placa al subir o bajar. Por ejemplo, en un sistema flotante que se acerca al fondo del mar en condiciones de tormenta, la placa de arfada puede curvarse de forma cóncava (como una lente de contacto) de modo que el borde apunte hacia el fondo del océano para que, a medida que el cuerpo flotante se mueva hacia el fondo del mar, la resistencia y la masa añadida sean mayores y, por lo tanto, ayuden a impedir el movimiento. Se puede proporcionar una masa añadida para que sea independiente de la dirección del movimiento. Sin embargo, es posible construir una placa de arfada que tenga diferentes características de masa agregada dependiendo de la dirección. Por ejemplo, se puede incluir una válvula oscilante o unidireccional como parte del diseño de la placa de arfada que permite que el agua fluya a través de la placa de arfada en una dirección pero no en la otra.

[0023] Cualquier parte del WEC puede construirse con acero pintado para retrasar el crecimiento marino y la corrosión. Sin embargo, algunas partes del WEC también pueden estar hechas de materiales alternativos para reducir el costo o el peso y las necesidades de mantenimiento. Por ejemplo, las placas de arfada pueden fabricarse con fibra de vidrio si su peso es un problema. También es posible fabricar partes del flotador o esqueje de hormigón marino para reducir el costo del material, aunque esto hará que aumente el peso de los componentes.

[0024] La figura 3 muestra la presencia de tanques de flotabilidad/lastre 301a, 301b ubicados sobre las placas de arfada 204a, 204b, respectivamente. Los tanques de flotabilidad se utilizan para controlar la flotación del sistema cuando se despliega el WEC. Estos tanques de flotabilidad también se pueden usar para facilitar el transporte y el despliegue del WEC como se analiza a continuación. Hay que tener en cuenta que el tanque de flotabilidad puede formar parte de la placa de arfada, o parte de los rebordes por encima y por debajo de la placa de arfada o los tanques de flotabilidad pueden ser estructuras separadas por encima o por debajo de la placa de arfada. Los sistemas WEC que incorporan la invención pueden incluir tanques de flotabilidad ajustables como parte del flotador, el esqueje y la placa de arfada para ajustar el rendimiento, compensar el crecimiento marino y facilitar el despliegue y la retirada de la boya/WEC.

[0025] La Figura 3A ilustra que el WEC puede formarse como diferentes secciones que pueden transportarse por separado y luego ensamblarse en el sitio o cerca del sitio de implementación. Por lo tanto, los sistemas WEC que incorporan la invención pueden fabricarse en secciones para facilitar el despliegue, la fijación y/o la liberación del WEC para mantenimiento y/o reparación.

[0026] La figura 4 muestra un esqueje 200 que incluye una estructura de viga de celosía que se extiende hacia abajo 202 con una sola placa de arfada 204 montada en el extremo inferior de la estructura de viga de celosía 202. La placa de arfada 204 incluye un reborde superior 206a y un reborde inferior 206b (como se muestra más explícitamente en las figuras 6 y 6A). La combinación de placa de arfada y reborde funciona para aumentar la masa efectiva del esqueje al que está conectada la placa de arfada. En la Fig. 4, el borde exterior de la placa de arfada circular se muestra conectado por cables (o varillas) 210 a la parte inferior del esqueje, por encima de la estructura de viga de celosía 202. La estructura de viga de celosía 202 se muestra como una sección abierta de viga de celosía para reducir los efectos de las corrientes horizontales que empujan contra el esqueje.

[0027] Las Figuras 5A, 5B y 5C muestran un diseño de WEC en el que la placa de arfada está asegurada a través de varillas/cables/puntales/tuberías/vigas 210 a la parte inferior del puntal 202. En esta forma de realización (véanse las figuras 5A, 5B y 5C) la longitud del esqueje 200 y el puntal 202 que conecta el esqueje a la placa de arfada superaba los 35 metros. El diámetro exterior del esqueje era de 2,5 metros, y sobresalía por encima de la línea de flotación en 5-6 metros. La estructura de viga de celosía superior 410, para acoplar el movimiento del flotador a la toma de fuerza 300 ubicada en la parte superior del esqueje, tenía una altura de 9,5 metros sobre la línea de flotación. El diámetro exterior del flotador era de 11 metros y el diámetro exterior de la placa de arfada era de 12 metros. Por lo tanto, en esta forma de realización, el diámetro externo de la placa de arfada se hizo mayor que el diámetro externo del flotador.

[0028] Hay relaciones preferidas entre la NRF (frecuencia de resonancia natural) del flotador y la NRF del esqueje. Además, existen relaciones preferidas entre el volumen total (volumen desplazado + volumen agregado) del flotador y el volumen total del esqueje. Para entender por qué esto es así, se considera un flotador y un esqueje con una relación de NRF preferida pero con volúmenes totales extremadamente desproporcionados. Se supone que el volumen total del flotador es, por ejemplo, de 100 toneladas, pero el volumen total del esqueje es de solo 1 tonelada. En este ejemplo, habrá un desajuste de impedancia altamente consecuente, lo que conduciría a una captura de energía muy ineficiente. Una relación preferida para un clima de olas típico entre el volumen total del flotador y el volumen total del esqueje es de aproximadamente 4:1. La relación entre el volumen total del flotador y del esqueje para un clima de olas dado puede determinarse modelando las características de conversión de potencia para varias relaciones y eligiendo la relación óptima. El aumento en el tamaño de una placa de arfada, o la adición de una placa de arfada adicional, pueden ser métodos preferidos para que el diseñador aumente el volumen total del esqueje.

[0029] En otra forma de realización, el esqueje se diseñó para que tuviera un calado de aproximadamente 10 metros o más, y un diámetro de 1 m. La parte superior del esqueje se diseñó para que sobresaliera por encima de la superficie del agua en aproximadamente 2,5 metros. El elemento flotante era un flotador toroidal diseñado para moverse linealmente hacia arriba y hacia abajo con respecto al esqueje, en respuesta a la acción ascendente y descendente de las olas. El flotador soporta una estructura de viga de celosía (también conocido como puente),

410 en las figuras, que está conectado al sistema de conversión de energía a través de la parte superior del espeque, y su movimiento relativo contra el espeque proporciona la fuerza impulsora hacia el sistema de conversión de potencia. En esta forma de realización, el flotador 100 se diseñó para que tuviera un diámetro exterior de aproximadamente 3,25-3,5 metros, con un calado de aproximadamente 1 metro y la estructura de viga de celosía tenía una altura total de aproximadamente 4,25 metros sobre el agua.

[0030] La figura 6 ilustra que el WEC 10 incluye una placa de arfada 204 que está formada con un reborde superior 206a y un reborde inferior 206b como se ha mencionado anteriormente. En la Fig. 6, la PTO 300 se muestra conectada entre el espeque y el flotador para convertir su movimiento relativo en energía útil. Esto muestra que no es necesario que la toma de fuerza esté dentro del espeque. La toma de fuerza se puede contener o montar en cualquier punto conveniente donde se pueda acoplar a componentes/elementos accionados por el espeque y el flotador para responder a su movimiento relativo.

[0031] La Fig. 6A ilustra que, como en las Figs. 2, 3, 4, 5 y 14, la PTO 300 puede ubicarse en la parte superior del espeque 200. Una estructura de viga de celosía o puente 410 está montada sobre el flotador (y el espeque) y transmite el movimiento del flotador para impulsar la PTO. La estructura mecánica, como la estructura de viga de celosía 410, que acopla y transmite el movimiento del flotador a la PTO, incluye un acoplamiento flexible (conexión giratoria 941) de modo que la desalineación entre el flotador y el espeque se compensa a través del acoplamiento flexible.

[0032] Un cable 361 está conectado entre los puertos de entrada/salida seleccionados de la PTO y un conector 302 que se muestra montado por encima de la línea de flotación a la parte superior del espeque. Esta conexión permite el acceso a la PTO. Un cable/conducto 304 está conectado al conector 302 para acoplar la salida de la PTO a puntos externos al WEC. Hay que tener en cuenta que la conexión del cable y del conector también se puede usar para transportar señales/alimentación de potencia entre la PTO/WEC y los puntos externos al WEC. El proporcionar una conexión de alimentación por encima de la línea de flotación elimina la necesidad de que haya una conexión submarina entre el sistema eléctrico del WEC y los dispositivos externos al WEC. Esto da como resultado un WEC mejorado con energía extraída de la parte superior de la boya (por encima de la línea de flotación) y que evita tener que hacer una conexión submarina. Un cable de alimentación submarino transmite potencia y comunicaciones de vuelta a tierra a través de una ruta hasta una cápsula (nodo) submarina. El cable sale del espeque con características aliviadoras de la tensión de plegado para evitar torceduras y fatiga.

[0033] El uso de una placa de arfada sumergida en un WEC presenta un desafío para/en el diseño estructural. La forma de la placa de arfada es esencialmente un plato voladizo de gran radio (si el espeque está ubicado en el centro), con una masa muy grande repartida en toda su área, lo que resulta en un momento muy grande en el punto de unión al espeque y que se transmitirá a través del espeque inferior hasta el espeque superior.

[0034] Las Figuras 7 y 8 muestran que el espeque, según la invención, comprende una parte superior, 200, y una parte inferior, el puntal 202. Las dos partes del espeque están interconectadas a través de una unión sin resistencia/flexible 215 para reducir la tensión en la unión punto.

[0035] La zona inferior del puntal 202 está conectada a una placa de arfada. Un anillo 250 está conectado de manera fija a una zona inferior de la parte superior del espeque por encima de la unión flexible (el anillo puede estar generalmente en cualquier punto por debajo de la línea de flotación). El cable/las varillas 210 se extienden desde el anillo 250 hasta la periferia de la placa de arfada para asegurar y estabilizar la placa. El puntal de extensión del espeque 202 se extiende por debajo de la placa de arfada con cables/varillas 210b conectados entre el extremo inferior del puntal y la parte inferior de la placa de arfada para asegurar y estabilizar también la placa.

[0036] Se puede usar una serie de varillas, cables, vigas o tuberías que se muestran en la Figura 8 para sostener la placa de arfada en una configuración triangulada para contrarrestar la gran fuerza y momento en cualquier dirección, hacia arriba o hacia abajo. Las varillas, cables, vigas o tuberías (210, 210a) se pueden unir a la placa de arfada 204 a la distancia estructuralmente más efectiva (lateral) del punto de unión del espeque inferior. Este punto puede ser un punto interno distinto del borde exterior de la placa de arfada.

[0037] La figura 8 ilustra que los cables tensados, o varillas, 210 pueden extenderse desde el anillo 250 unido al espeque, por encima de una unión sin resistencia/flexible 215, hasta la superficie superior de la placa de arfada. Una estructura 208 por debajo de la placa de arfada soporta la placa de arfada y contrarresta la tensión del elemento tensado 210, 210a. La unión flexible o sin resistencia 215 que conecta las secciones superior e inferior del espeque absorberá cualquier fuerza sin producir un momento de flexión en el punto de conexión entre la parte superior del espeque, 200, y el puntal de extensión 202. El diseño del cable tensado con los puntales de soporte inferiores pone al puntal de extensión 202 en compresión. Los componentes estructurales 208 por debajo de la placa de arfada están unidos a la parte inferior del espeque, por debajo de la placa de arfada y en las ubicaciones óptimas en la placa de arfada; estos componentes 208 suministran una contra tensión a los componentes 210. Esto da como resultado una estructura rentable que puede soportar el movimiento de la masa añadida en la dirección vertical.

[0038] El uso de una placa de arfada en un WEC da como resultado una mayor eficiencia de conversión de energía para el WEC. Para un WEC modelo con un espeque cilíndrico orientado centralmente de, por ejemplo, un diámetro de 1,75 m y un calado de 25 m, el período de resonancia natural de la varilla es de 10,5 segundos. Por lo tanto, si una ola de 11 segundos atraviesa un espeque que no tiene una placa de arfada o una placa de arfada con "rebordes", el espeque responderá a esta ola prácticamente en fase con la ola. Por lo tanto, si se uniera un flotador al espeque plano, ambos objetos se moverían prácticamente en fase con la ola y en fase entre sí, produciendo así un movimiento relativo pequeño o nulo y, por lo tanto, poca o ninguna potencia.

[0039] En marcado contraste, si se agrega una placa de arfada plana y circular de 10 m de diámetro al espeque, se logra un período de resonancia natural de 31,7 segundos. Además, si luego se agregan rebordes verticales por encima y por debajo de la placa de arfada, cada uno de 0,8 m de altura, entonces el período de resonancia natural de la placa de arfada aumenta aún más a 34,7 segundos. Cuanto más grande sea el período de resonancia natural, más tardará el objeto (espeque, espeque con placa de arfada, espeque con placa de arfada con rebordes) en responder a la ola (por lo tanto, mayor será el desfase entre el objeto y la ola). Por lo tanto, si un flotador, que está diseñado para moverse prácticamente en fase con las olas, se une a un espeque con un gran período de resonancia natural, el movimiento relativo entre los dos se puede aumentar dramáticamente. Esto da como resultado un aumento significativo en la producción de energía por parte de la PTO.

[0040] Las Figuras 9 y 10 muestran un WEC con la parte superior de un espeque formada con una sección transversal reducida (plano de flotación más pequeño) en la zona de la línea de flotación y la parte inferior del espeque conectada a una placa de arfada. La reducción de la sección transversal de la zona superior del espeque en la zona donde el espeque normalmente cruza la línea de flotación, al subir y bajar, reduce la flotabilidad efectiva del espeque al reducir la constante efectiva "k" (muelle). Hay que tener en cuenta que el período natural del espeque puede denotarse generalmente como igual a 2π por la raíz cuadrada de la masa efectiva (M) dividida por la constante de muelle efectiva (K). Por lo tanto, la disminución del plano de flotabilidad del espeque reduce la flotabilidad del espeque.

[0041] Hay relaciones preferidas entre la NRF (frecuencia de resonancia natural) del flotador y la NRF del espeque. Típicamente, es deseable que la NRF del flotador tenga una frecuencia más alta que la NRF del espeque. Si la NRF del flotador es de una frecuencia alta con respecto a la propagación de las frecuencias de las olas, entonces el flotador, cuando no está sujeto a una PTO, tenderá a seguir a las olas. Si la NRF del espeque es de baja frecuencia, en relación con el rango de frecuencias de ola, entonces tenderá a moverse fuera de fase con respecto a las olas. Por lo tanto, el flotador y el espeque tendrán una tendencia natural a moverse fuera de fase.

[0042] La NRF del espeque depende del volumen total (volumen desplazado más volumen agregado) y el área del plano de flotación. Una fórmula para la NRF es la siguiente: Frecuencia de resonancia = $1/(2\pi) \cdot \sqrt{g/z}$, donde g es la aceleración debida a la gravedad, y z es la profundidad efectiva de la estructura, definida como (Volumen total)/(Área del plano de flotación). Como se puede ver en esta fórmula, una disminución en el área del plano de flotación conduce a una disminución en la frecuencia de resonancia natural.

[0043] Por lo tanto, el diseñador de un WEC puede querer minimizar el área del plano de flotación del espeque para optimizar las características de producción de energía. Sin embargo, hay algunos compromisos que el diseñador debe tener en cuenta. Una vez que la NRF del espeque es mucho más baja que la frecuencia de ola más baja, se pueden obtener buenas propiedades de conversión de potencia. Una disminución adicional en el área del plano de flotación puede tener efectos negativos sobre la capacidad del espeque para mantenerse en un calado deseado en presencia de cargas que conducen a fuerzas verticales sobre el espeque. Los ejemplos de tales cargas incluyen las fuerzas verticales impartidas por el amarre en presencia de una corriente, o una fuerza neta de deriva hacia abajo debido a la acción de olas no lineales.

[0044] La Figura 11 es una vista superior de un flotador que muestra un acceso para personas que permite el acceso a partes seleccionadas del WEC para su mantenimiento y/o reparación. La figura también muestra que el flotador se puede formar/fabricar en secciones "circulares". Del mismo modo, la placa de arfada puede formarse en secciones circulares que posteriormente pueden conectarse entre sí.

[0045] El espeque se puede mantener en su lugar utilizando un sistema de amarre de tres puntos compatible con boyas auxiliares de superficie (ASB) o boyas auxiliares de subsuperficie (ASSB) como se muestra en la Fig. 1. A modo de ejemplo, en una forma de realización, se diseñaron las ASB de modo que tuvieran un diámetro de aproximadamente 3 a 3,5 metros. Las líneas de conexión de los ASB se conectan al espeque. La flexibilidad del sistema permite que el espeque se mueva con la variación de las mareas y sobreviva a mares bravos. Las líneas de amarre pueden incluir una combinación de cables sintéticos, cables metálicos, cadenas y componentes con eslabones. Los anclajes al fondo marino pueden dimensionarse de modo que cumplan con las fuerzas de anclaje calculadas, así como las condiciones locales del fondo marino. Para una condición de fondo marino duro (por ejemplo, de piedra caliza), puede ser apropiada una combinación de pernos de roca y estructuras basadas en la gravedad. Las líneas de amarre pueden extenderse desde el espeque hasta longitudes que dependen de la profundidad y deben alargarse para aguas más profundas.

- 5 [0046] Los WEC mostrados en las figuras incluyen un espeque (o columna) 200 y un flotador 100 (que se muestra con forma toroidal, pero puede tener cualquier otra forma adecuada) con una abertura central para permitir que el flotador se mueva hacia arriba y hacia abajo a lo largo del espeque cuando el WEC se despliega en una masa de agua. Una PTO 300 está conectada entre el espeque y el flotador para convertir su movimiento relativo en energía útil (eléctrica o mecánica). En algunas aplicaciones, el movimiento de al menos uno de los flotadores y espeques se transfiere a través de una estructura de viga de celosía/puente 410 a la PTO.
- 10 [0047] Para una mayor funcionalidad y eficiencia del sistema, es deseable que el flotador se mueva hacia arriba y hacia abajo de manera fluida a lo largo del espeque. Es decir, se desea que el movimiento sea lo más posible solo a lo largo del eje Z. Sin embargo, el movimiento y la cinemática de las olas y las partículas de agua asociadas en el entorno oceánico no controlado es tal que existen fuerzas aplicadas al flotador en muchas direcciones y ángulos diferentes. Como se muestra en la Fig. 12, existen fuerzas aplicadas al flotador a lo largo de los ejes X, Y y Z y a lo largo de un plano rotacional (θ) y en una dirección de 'sacudimiento' (α) que tiende a empujar un extremo del flotador por encima o por debajo del otro extremo. El flotador y la PTO deben protegerse de aquellas fuerzas que tiendan a hacer que el flotador gire alrededor del espeque, que tiendan a empujar un lado hacia arriba en relación con el otro (sacudimiento) y que tiendan a empujar el flotador y el espeque uno contra otro, es decir, de cargas o empujes laterales en la dirección X y/o Y.
- 15 [0048] Para permitir que estas fuerzas se concentren para accionar la PTO de manera óptima y para proteger la PTO y el equipo mecánico de la aplicación de estas fuerzas diversas, se desarrolló un sistema de guía/rodamiento. El sistema es un sistema de guía o rodamiento multipunto entre el flotador y el espeque que está diseñado para proporcionar un movimiento efectivo entre el espeque y el flotador de modo que tengan un grado de libertad (GL).
- 20 [0049] Como se muestra en la Fig. 13a, el espeque está formado con "rectas de rodamiento" (también conocidas como raíles o pistas) 901 (también identificadas en las figuras 2 y 3) que discurren a lo largo y en paralelo la longitud del espeque que define la trayectoria de desplazamiento hacia arriba y hacia abajo del flotador con respecto al espeque. La Fig. 13b es una vista superior de la sección transversal del espeque y el flotador y muestra un espeque 200 con 4 raíles de guía 901 que se extienden dentro de 4 secciones recortadas 903 formadas dentro de la pared interior del flotador 100. Los segmentos de rodamiento 905 están unidos a las paredes de los recortes 903 para facilitar el movimiento a lo largo de los raíles del rodamiento 901 hasta el grado de libertad deseado. La Fig. 13c ilustra que los segmentos de rodamiento 905 también funcionan para ayudar a resolver el movimiento de sacudimiento. Por lo tanto, los segmentos y la carcasa del rodamiento resisten el sacudimiento y la rotación del flotador, así como el empuje en la dirección X e Y.
- 25 [0050] Las rectas de rodamiento 901 pueden ser tuberías o tubos o cualquier raíl adecuado que se extienda desde el espeque adecuado para su inserción en canales formados en el flotador. Alternativamente, se pueden formar canales dentro de la periferia exterior del espeque y se pueden formar raíles a lo largo de la pared interior del flotador para que encajen en los canales del espeque.
- 30 [0051] Los segmentos de rodamiento 905 pueden montarse en el flotador (o espeque) en una disposición sólida o flotante, o preajustarse mediante un dispositivo similar a un resorte con o sin un espacio. Los segmentos son de material adecuado para el uso marino.
- 35 [0052] El sistema de guía y rodamiento limita el movimiento en todas las direcciones, excepto el movimiento deseado a lo largo del eje Z (movimiento hacia arriba y hacia abajo del flotador en relación con el espeque). En las formas de realización mostradas en las Figs. 2, 3, 4, 5 y 6A, las fuerzas resultantes del movimiento del flotador se trasladan a través de una estructura de viga de celosía/puente a la PTO 300.
- 40 [0053] Como se muestra en la Fig. 14, un rodamiento giratorio 941 unido a la estructura de viga de celosía/puente 410 puede conectarse a través de un elemento de conexión 943 a la PTO 300 para proporcionar las fuerzas necesarias para producir la conversión deseada a una forma de energía preseleccionada (por ejemplo, eléctrica o mecánica). El rodamiento giratorio 941 entre la estructura de viga de celosía y la PTO protege el sistema de PTO de cargas laterales o cargas de torsión dentro de la tolerancia del sistema de guía. Además, los brazos y las patas de los diversos componentes estructurales de la estructura de viga de celosía 410 pueden interconectarse a través de uniones giratorias 947 (a, b, c, d) para compensar las diferentes fuerzas no deseadas a las que puede verse sometido el sistema. Como se muestra en algunas figuras, la estructura de viga de celosía 410 puede ser un puente que se extiende desde el flotador con 2, 3 o más patas.
- 45 [0054] Las Figuras 15A y 15B son diagramas altamente simplificados que ilustran que el espeque 200 y el flotador 100 pueden colocarse en una posición horizontal o vertical por medio de una, o más, cámaras de flotabilidad/lastre 301 unidas al espeque inferior (o a lo largo de este) 200 llenando selectivamente la cámara de flotabilidad con un gas (por ejemplo, aire) o alguna sustancia (por ejemplo, un líquido como el agua) a través de los elementos de válvula 331 y 333. Las cámaras de flotabilidad pueden ser del tipo mencionado anteriormente, o pueden formarse específicamente para este propósito particular. A modo de ejemplo, al remolcar un WEC a un sitio seleccionado, la(s) cámara(s) de flotabilidad 301 se llenaría(n) con un gas a través de un sistema de válvula (por ejemplo, 331). Una vez que el WEC está en el sitio deseado, se puede evacuar el gas y se usa un líquido (por ejemplo, agua)
- 50
- 55
- 60
- 65

ES 2 744 498 T3

para llenar la(s) cámara(s) 301 a través de un sistema de válvula 333. La cantidad de gas/líquido en la(s) cámara(s) 301 podría ajustarse mediante el sistema de control (no se muestra) cuando el WEC está colocado en su sitio para proporcionar la flotabilidad deseada para el sistema de espeque.

REIVINDICACIONES

1. Convertidor de energía undimotriz (WEC) que comprende:

5 un flotador (100) destinado a reposar sobre la superficie de una masa de agua y diseñado para moverse en fase con las olas presentes en la masa de agua;
 un espeque (200) destinado a extenderse verticalmente, generalmente en perpendicular al flotador y a la superficie de la masa de agua, donde dicho espeque se extiende por debajo de la superficie de la masa de agua y está destinado a moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo generalmente fuera de fase con respecto a las olas;
 10 un dispositivo de toma de fuerza (PTO) (300), conectado entre el espeque y el flotador, que responde a su movimiento relativo para convertir su movimiento relativo en energía útil; y
 una placa de arfada (204) conectada centralmente a una parte sumergida del espeque (200), donde dicha placa de arfada se extiende en un plano perpendicular al espeque, y la placa se mueve uniformemente hacia arriba y hacia abajo con el espeque para agregar masa efectivamente al espeque a medida que el espeque tiende a moverse hacia arriba y hacia abajo y hace que el espeque se mueva generalmente fuera de fase con respecto al flotador para aumentar la energía producida por el WEC, **caracterizado por el hecho de que** al menos una de las varillas y cables (210) están conectados entre la periferia exterior de la placa de arfada y el espeque para garantizar una conexión estructuralmente firme entre la placa de arfada y el espeque, donde el espeque (200) tiene una parte superior y una parte inferior, donde el flotador se mueve hacia arriba y hacia abajo a lo largo de la parte superior del espeque, y donde la placa de arfada está unida a través de al menos una de las varillas y cables a una zona a lo largo del espeque; la zona del espeque a lo largo de la cual se conectan dichas varillas y cables se hace lo suficientemente larga para aumentar la resistencia estructural y reducir cualquier movimiento entre la placa de arfada y el espeque, y **por el hecho de que** la parte superior (200) y la parte inferior (202) del espeque se forman por separado y se interconectan a través de un acoplamiento flexible (215) para reducir la magnitud de las fuerzas entre la placa de arfada y la parte superior del espeque transmitidas a través del acoplamiento flexible.

2. WEC según la reivindicación 1, donde al menos una de las varillas y cables (210) están conectados al espeque (200) en una zona por encima del acoplamiento flexible (215); y donde al menos una de dichas varillas y cables se colocan selectivamente en tensión o compresión para minimizar la fuerza transmitida entre la placa de arfada y el espeque.

3. WEC según la reivindicación 1, donde más de una placa de arfada (204a, 204b) está unida al espeque (200).

4. WEC según la reivindicación 1, donde una estructura mecánica transmite el movimiento del flotador a la PTO (300) para hacer que la PTO responda al movimiento relativo entre el flotador y el espeque; y donde la estructura mecánica que acopla el flotador a la PTO incluye un acoplamiento flexible (941) de modo que la desalineación entre el flotador y el espeque se compensa a través del acoplamiento flexible; y donde la estructura mecánica incluye una sección de estructura de viga de celosía (410) para permitir la realización de una conexión eléctrica a la PTO por encima del nivel del agua.

5. WEC según la reivindicación 1, donde la parte superior del espeque (200) se extiende por encima del flotador y donde la PTO (300) está situada a lo largo del espeque por encima de la línea de flotación; y donde la PTO tiene un puerto de salida de energía y donde se hace una conexión por cable eléctrico (304) al puerto de salida de energía (302) de la PTO sobre la línea de flotación; y donde dicha conexión de cable va desde el WEC hasta el fondo del océano y luego hacia la costa para conectarse a la red.

6. WEC según la reivindicación 1, que incluye además raíles y canales (901, 903) formados a lo largo de la pared interior del flotador (100) y la pared exterior del espeque (200) para limitar el movimiento entre el flotador y el espeque a la dirección ascendente y descendente deseada e inhibir el movimiento de rotación entre el flotador y el espeque.

7. WEC según se reivindica en la reivindicación 6, que incluye además segmentos (905) colocados a lo largo de los canales para permitir el desplazamiento relativo hacia arriba y hacia abajo entre el espeque y el flotador con un sacudimiento, adherencia y ladeamiento reducidos.

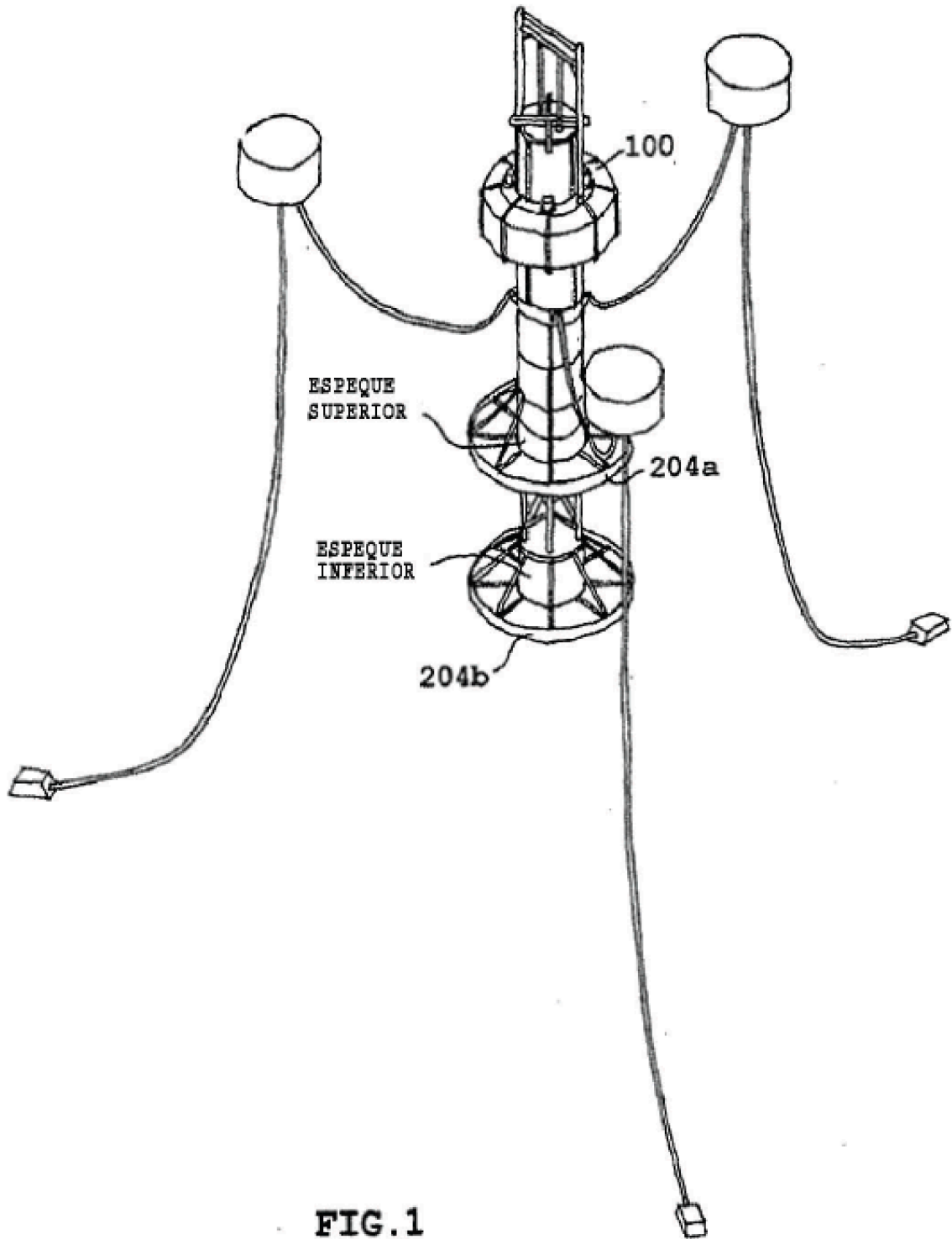
8. WEC según la reivindicación 1, donde el área superficial de la placa de arfada es mayor que el área superficial del flotador.

9. WEC según la reivindicación 1, donde el flotador (100) es anular con una abertura vertical central, y donde la parte superior del espeque (200) se extiende verticalmente a través de la abertura central del flotador, y donde el área superficial del flotador es mayor que el área de la sección transversal del espeque; y donde el área superficial de la placa de arfada unida a la parte sumergida del espeque es mayor que el área superficial del flotador.

10. WEC según se reivindica en la reivindicación 1, que incluye además una cámara de flotabilidad (301a, 301b) que forma parte de uno de entre el flotador, el espeque, la PTO o la placa de arfada, del WEC; donde dicha cámara

de flotabilidad se llena selectivamente con un gas o un líquido, dicha cámara de flotabilidad, cuando se llena de un gas, hace que el WEC se coloque en una orientación horizontal y, cuando se llena de líquido, hace que el WEC se coloque en una orientación vertical.

- 5 11. WEC según la reivindicación 1, que incluye además una cámara de flotabilidad (301a, 301b) en la que se bombea selectivamente un gas para variar la flotabilidad del WEC.
12. WEC según la reivindicación 1, que incluye además una cámara de flotabilidad (301a, 301b) que puede inundarse y vaciarse selectivamente para controlar la estabilidad del WEC de modo que tenga una orientación
10 generalmente horizontal para su remolcado y una orientación generalmente vertical para su despliegue
13. WEC según la reivindicación 1, que incluye además una cámara de flotabilidad (301a, 301b) que puede llenarse y vaciarse selectivamente para controlar y modificar la flotabilidad natural del espeque, cuando se despliega el
15 WEC.
14. WEC según la reivindicación 1, donde partes seleccionadas del WEC se forman en diferentes secciones que son fácilmente transportables y que se pueden ensamblar mediante atornillado y soldadura en una ubicación de
ensamblaje final.
- 20 15. WEC según la reivindicación 1, donde la placa de arfada incluye un reborde (206) formado alrededor de su periferia exterior para añadir masa dinámica al espeque cuando se mueve hacia arriba y hacia abajo.
16. WEC según la reivindicación 6, donde el espeque tiene una pared externa que mira hacia la pared interna del
25 flotador;
- y medios para limitar el movimiento entre el flotador y el espeque a un movimiento de arriba hacia abajo que incluye al menos dos raíles (901) formados a lo largo de una de las paredes exteriores del espeque y la pared interior del flotador; e
30 incluye al menos dos canales correspondientes (903) formados a lo largo de la otra de la pared externa del espeque y la pared interna del flotador, en donde cada raíl se ajusta dentro de uno de los canales correspondientes, con lo que se permite el movimiento de arriba hacia abajo, mientras que se inhibe el movimiento de rotación.
17. WEC según la reivindicación 1, donde la PTO está conectada al flotador a través de una estructura de puente
35 (410, 943) que se extiende desde el flotador para transmitir el movimiento del flotador a la PTO y donde la estructura de puente incluye uniones giratorias (941, 947a-d) para proteger a la PTO de movimientos excesivos del flotador.



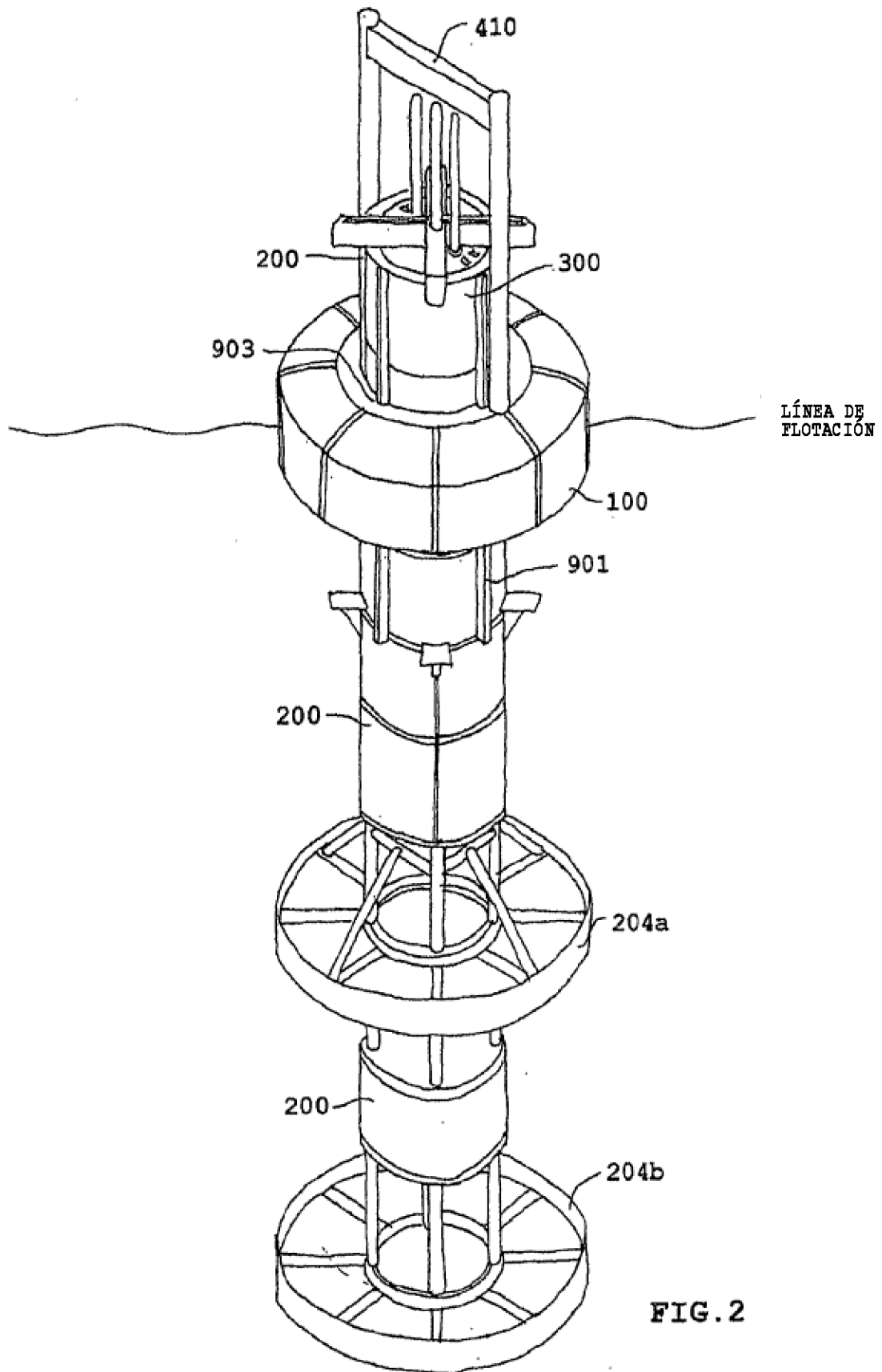


FIG. 2

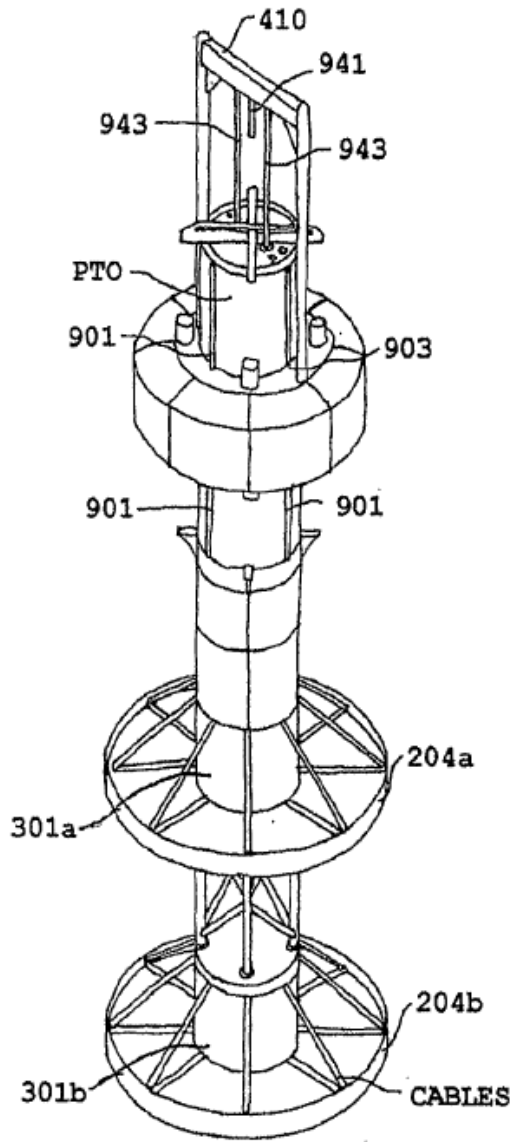


FIG. 3

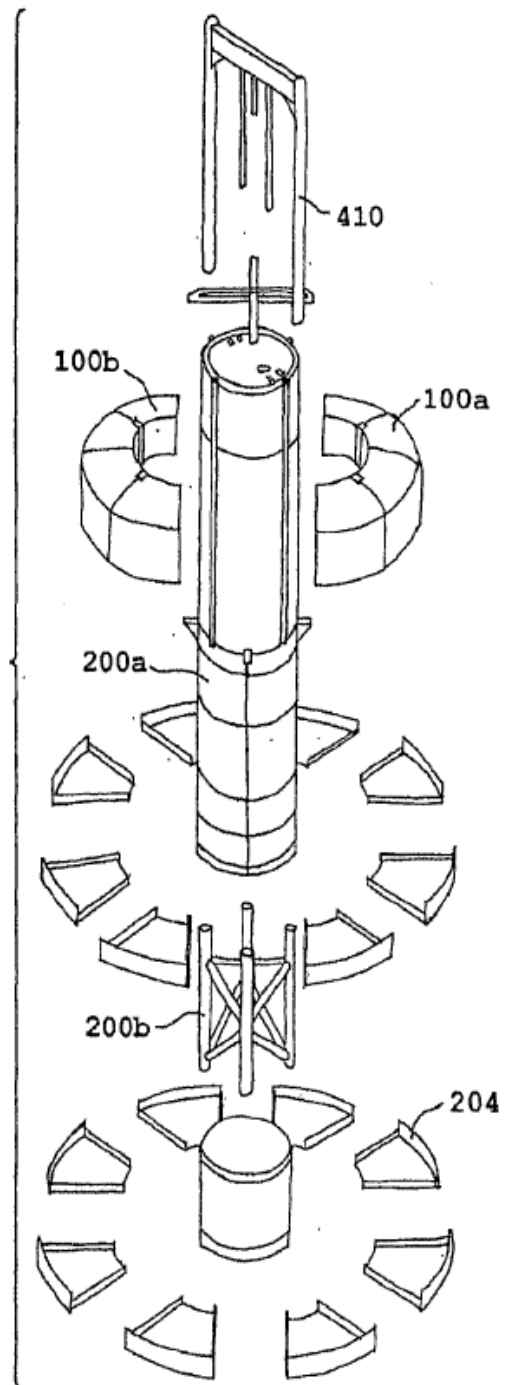


FIG. 3A

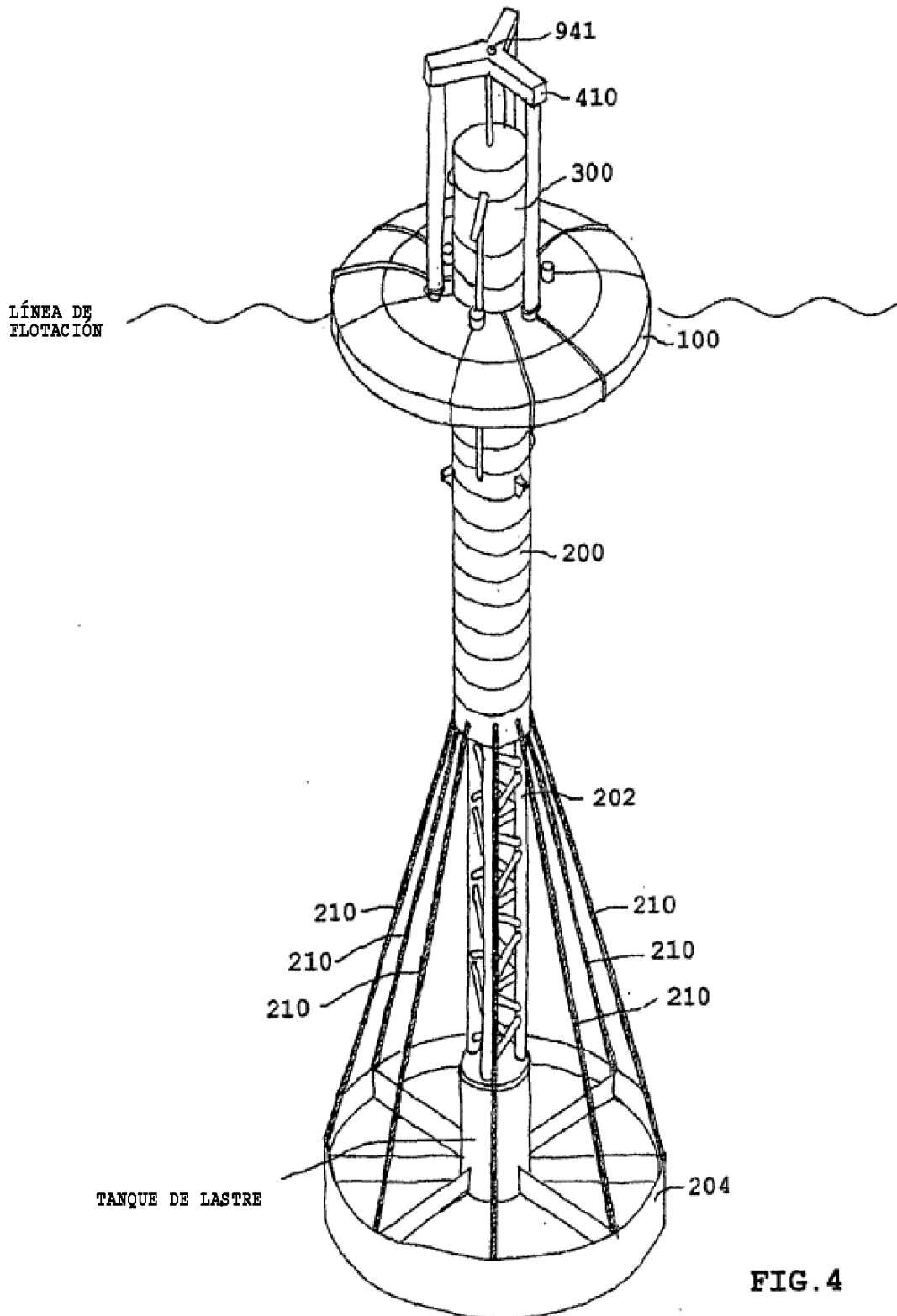
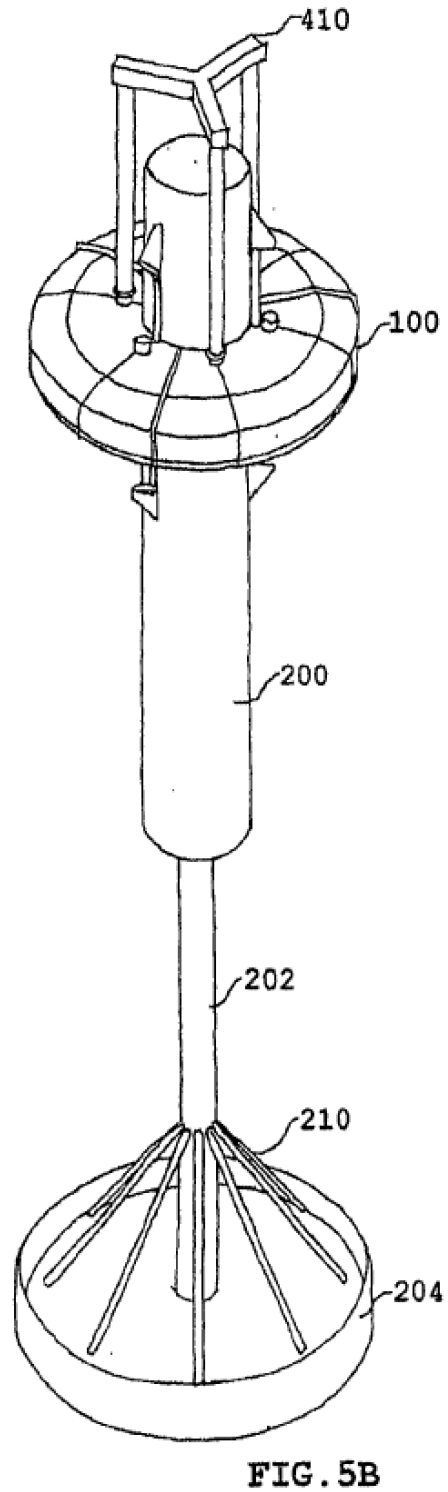
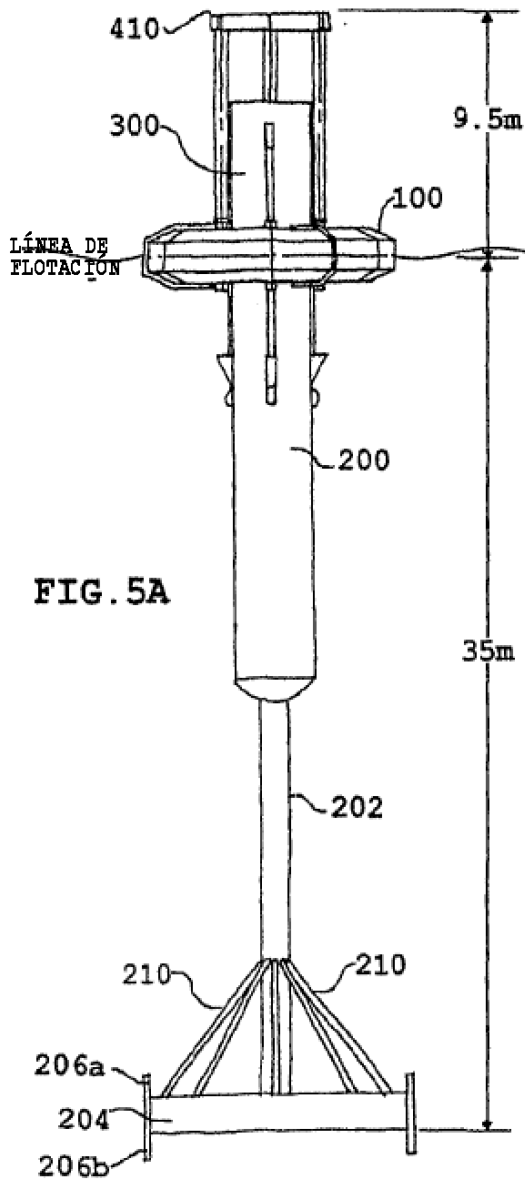
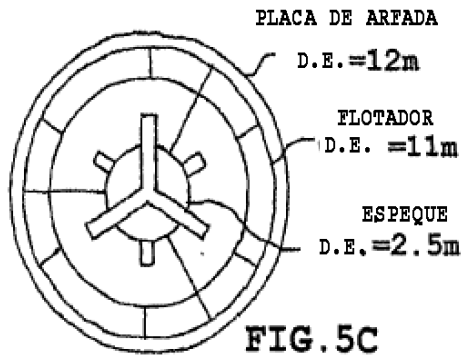
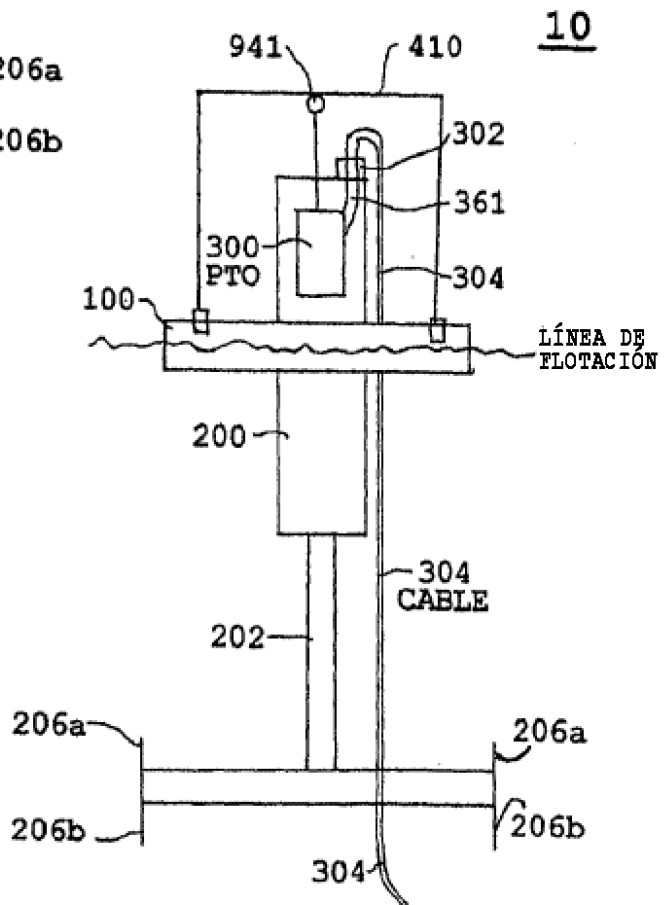
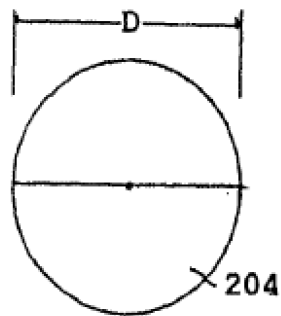
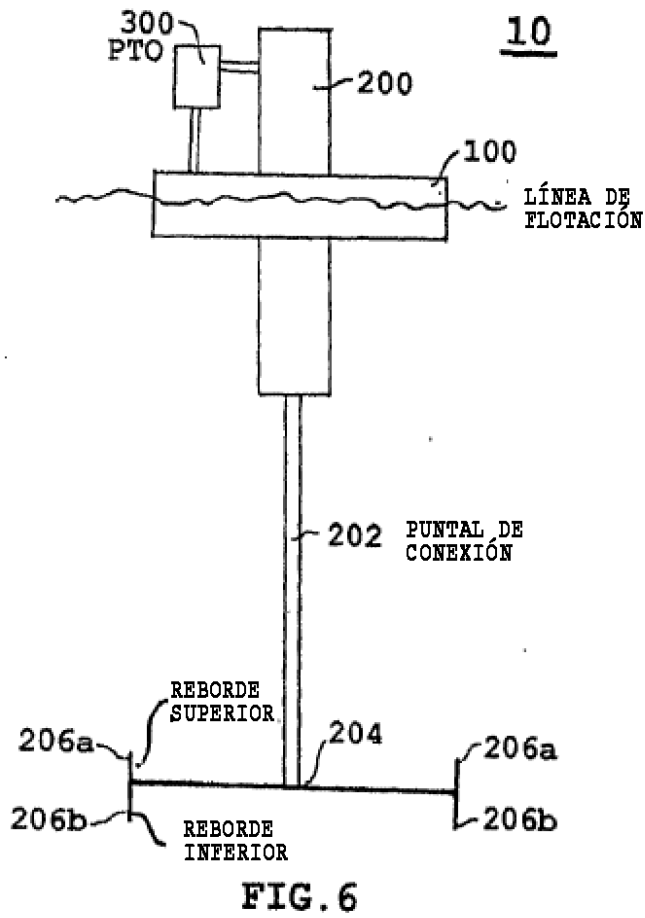


FIG. 4





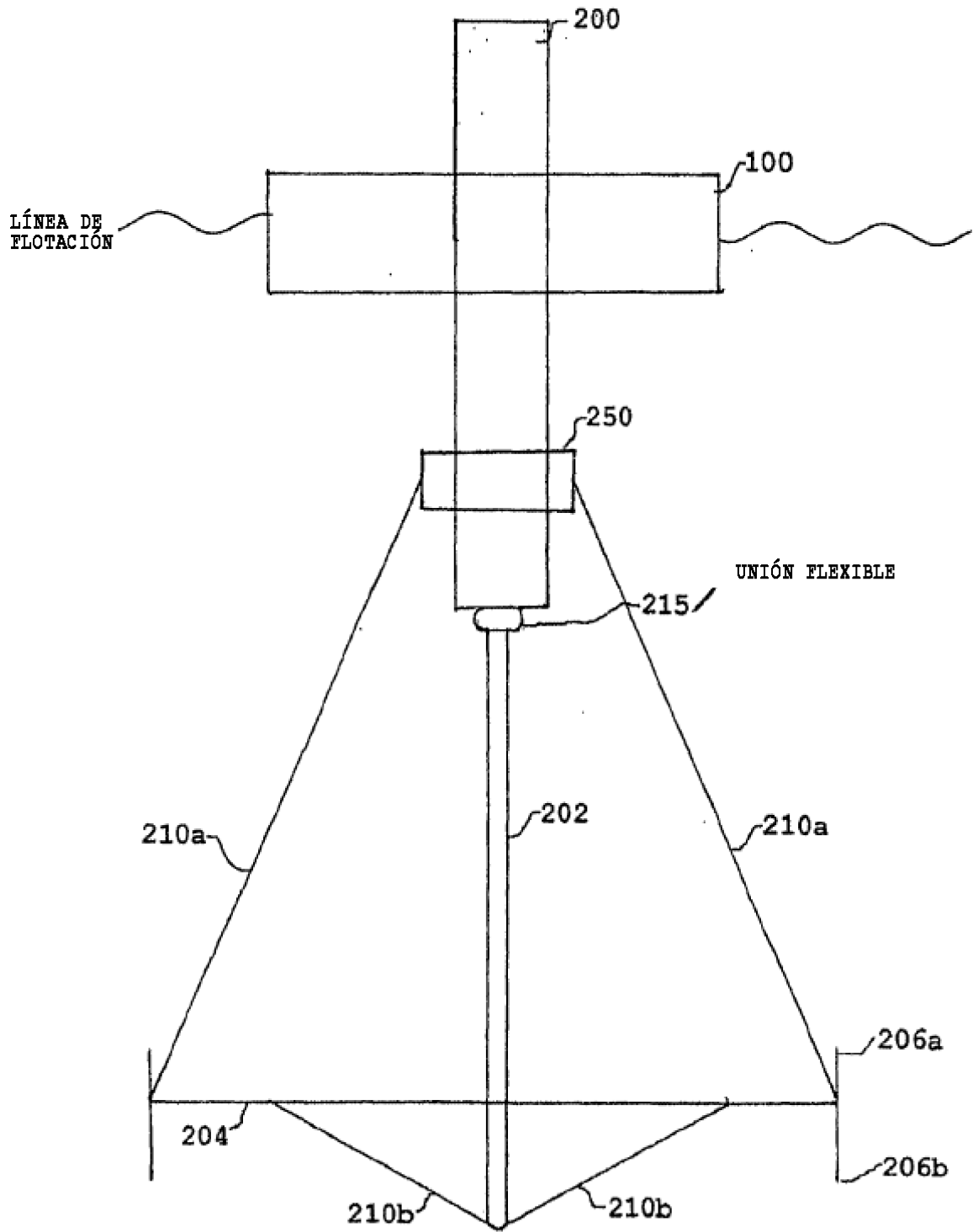
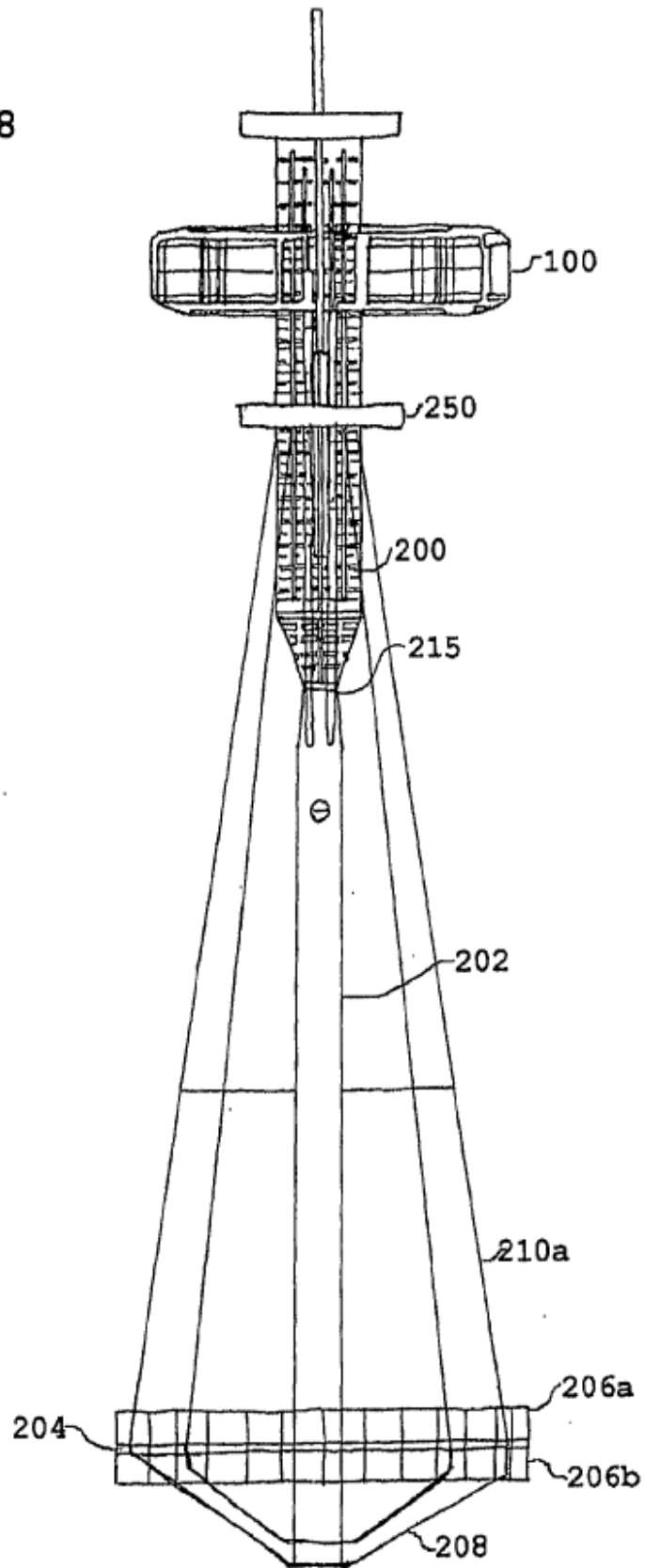


FIG. 7

FIG. 8



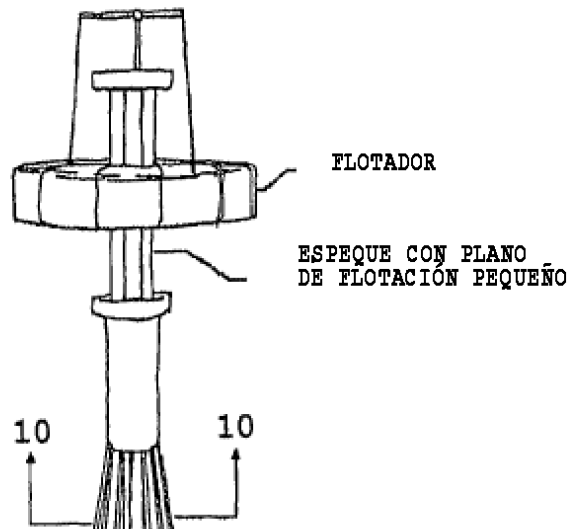


FIG. 9

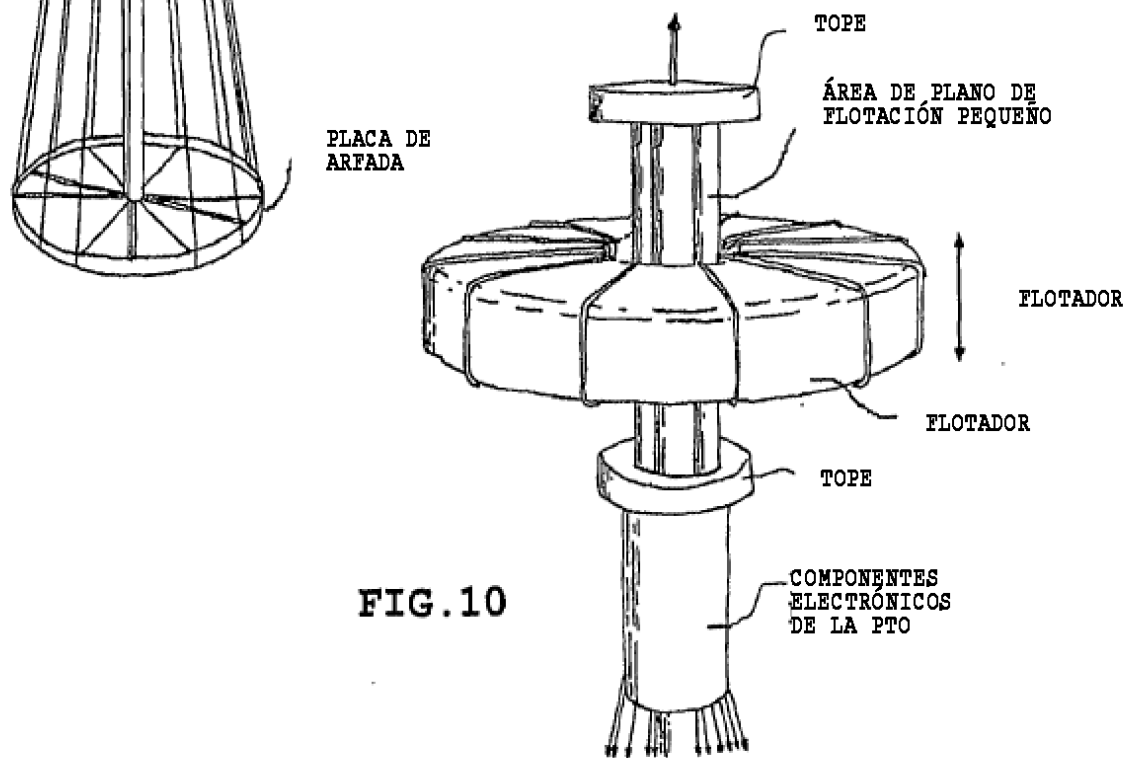


FIG. 10

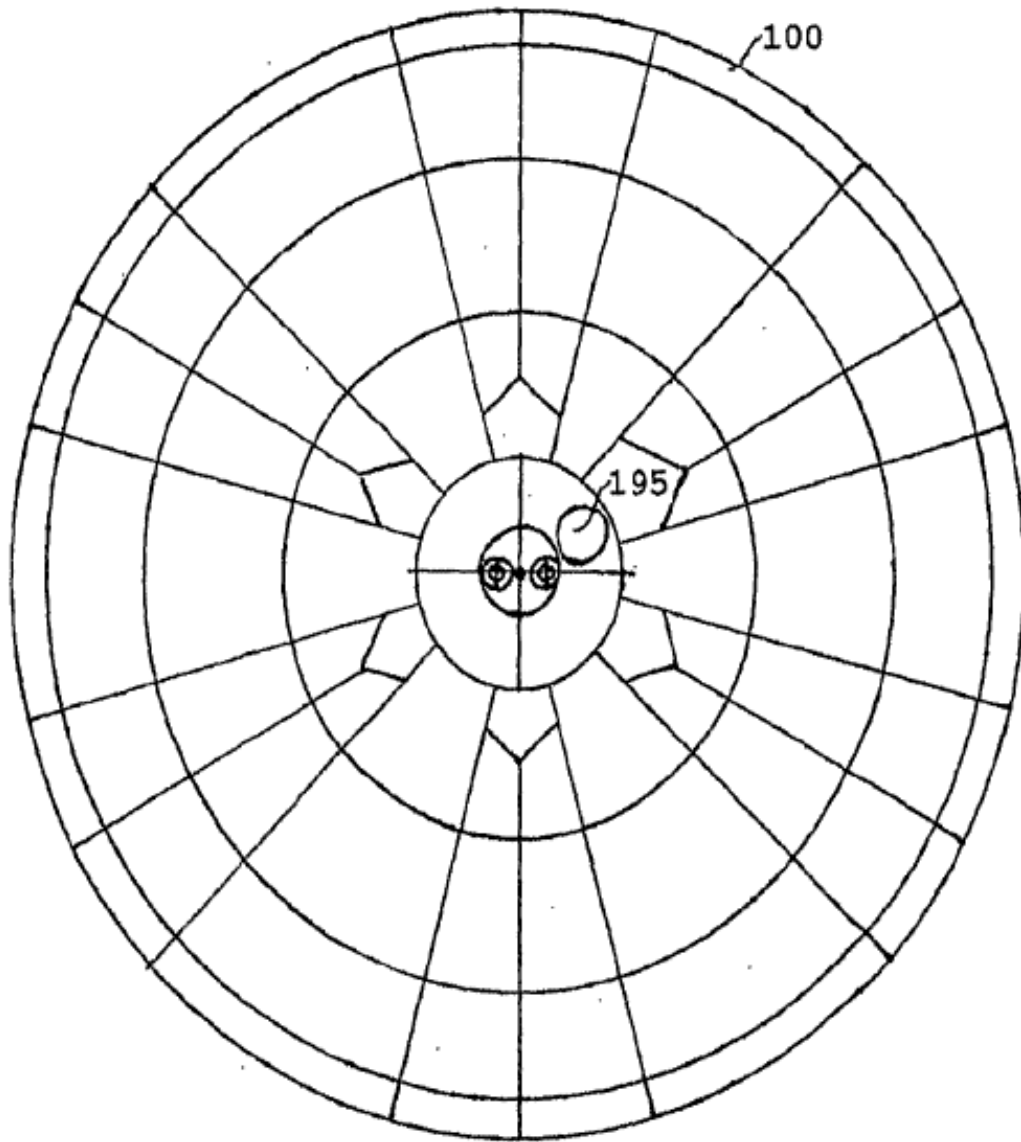


FIG. 11

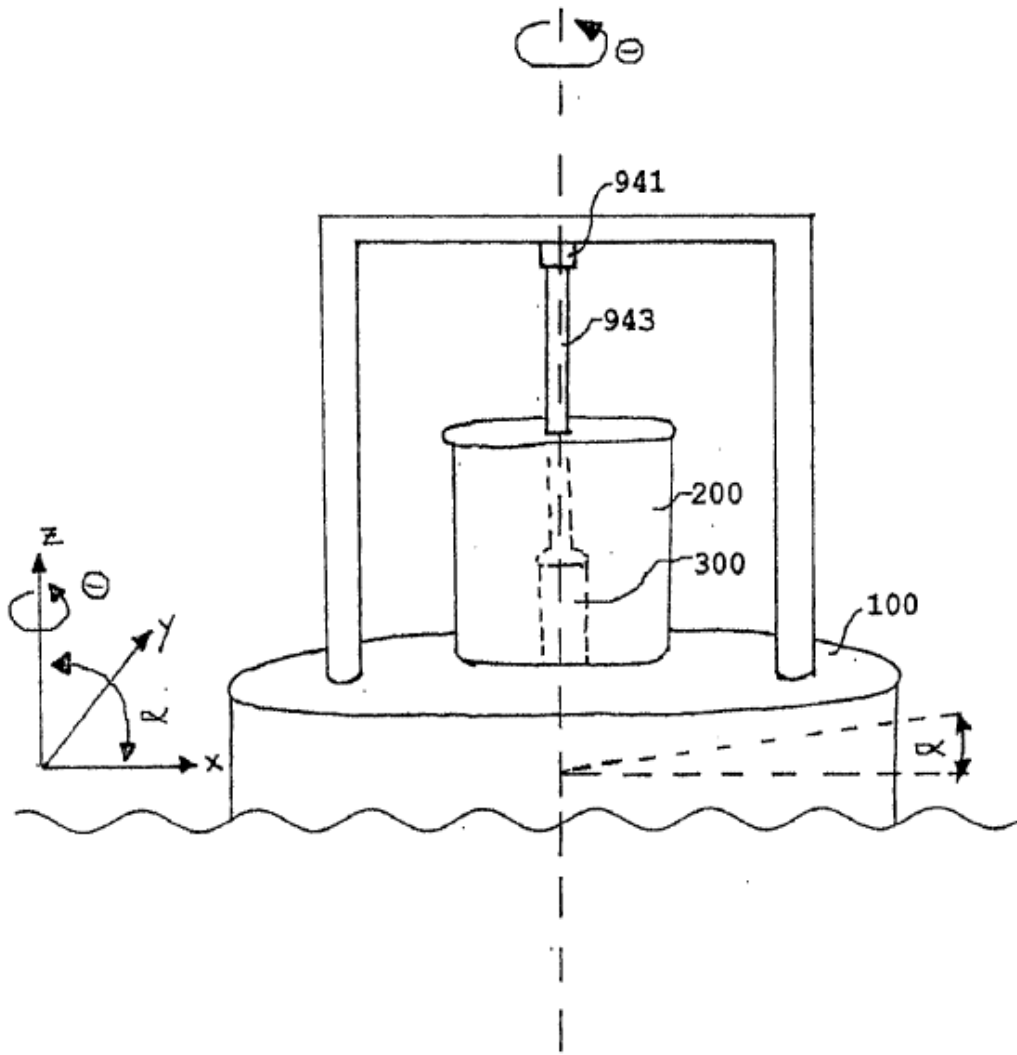


FIG. 12

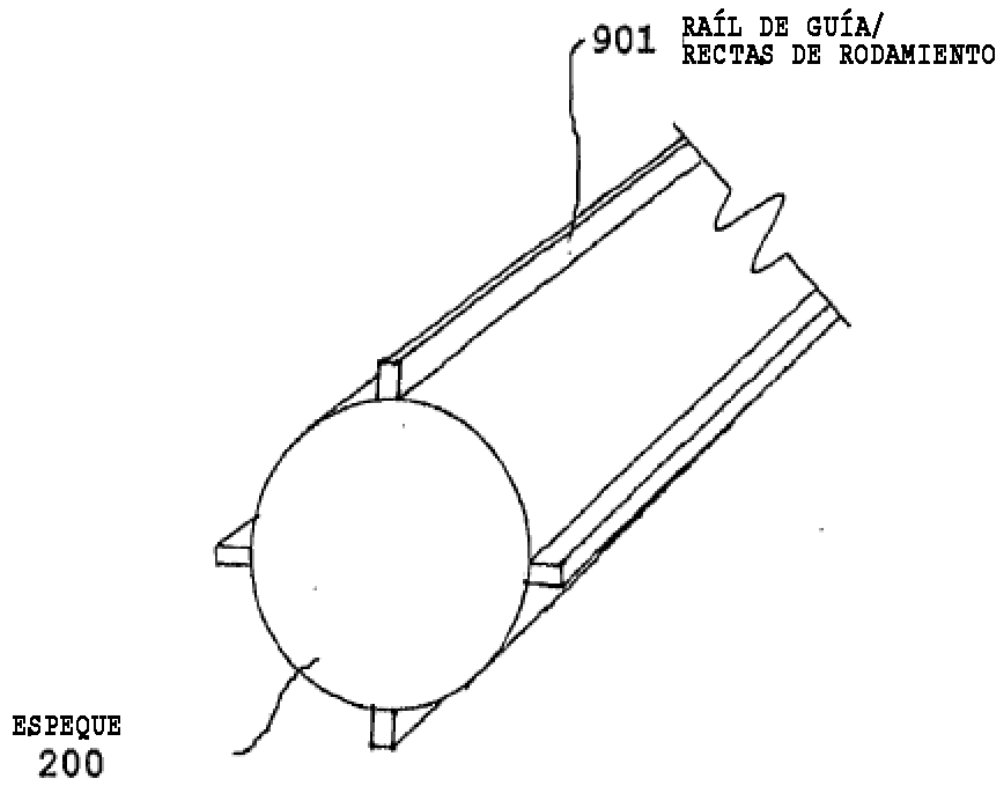


FIG.13A

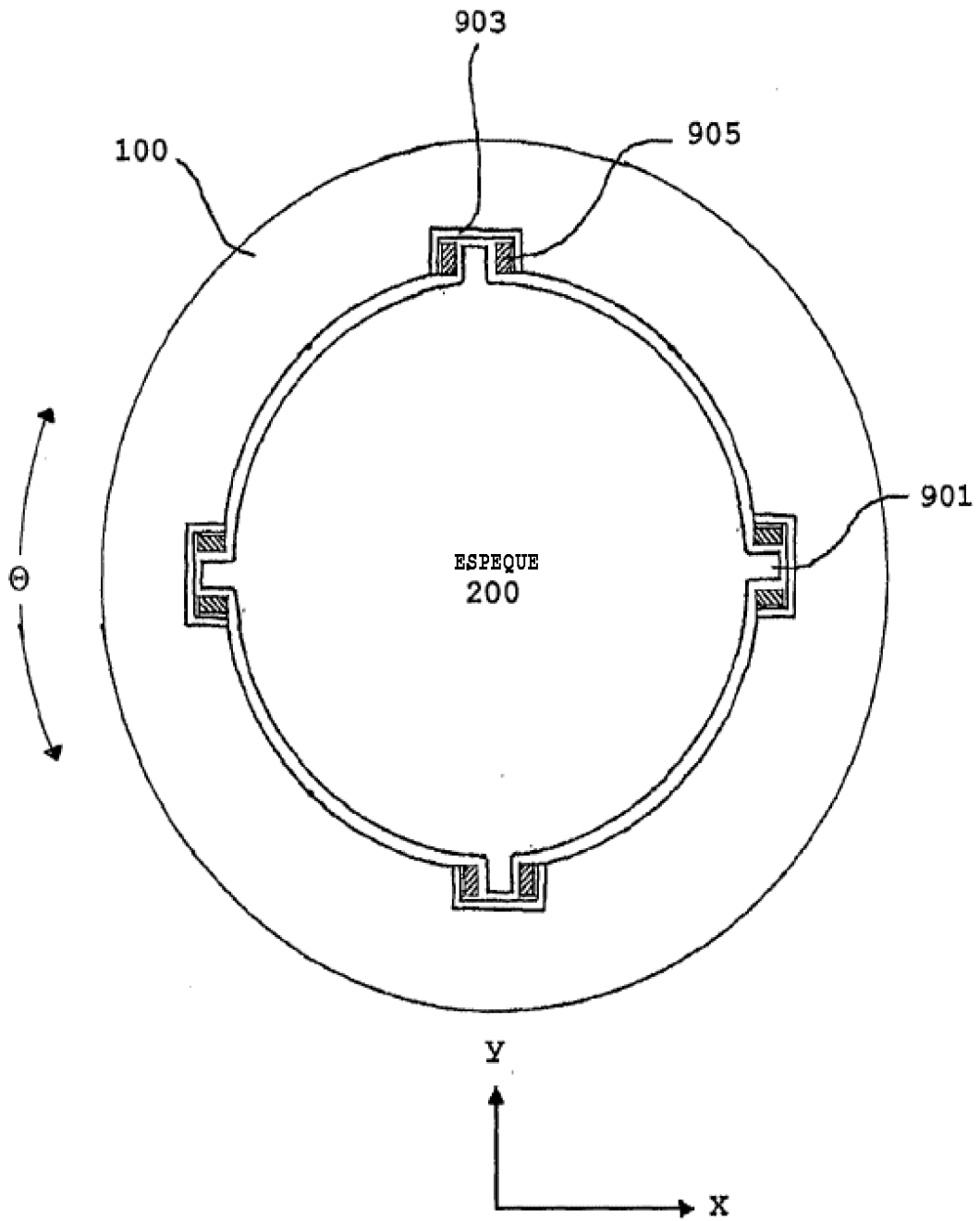


FIG. 13B

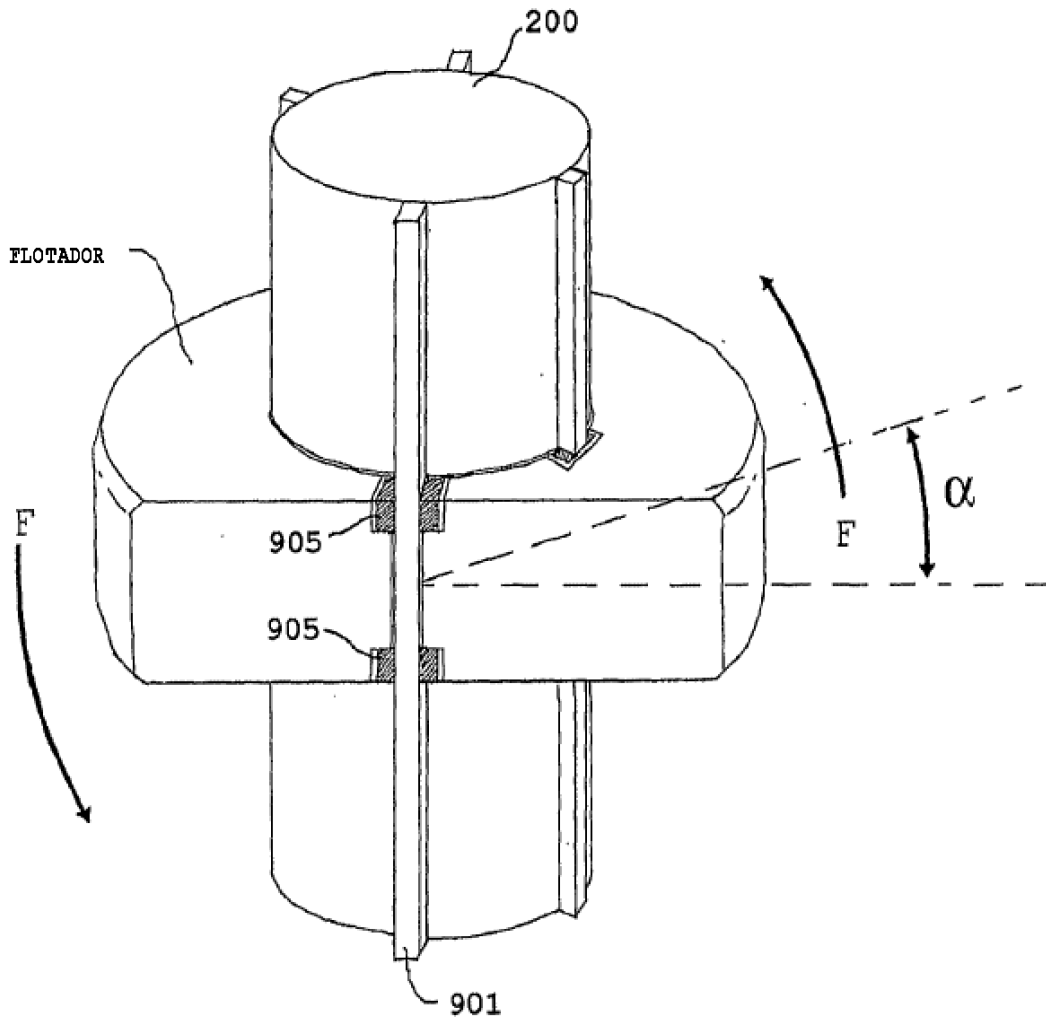


FIG. 13C

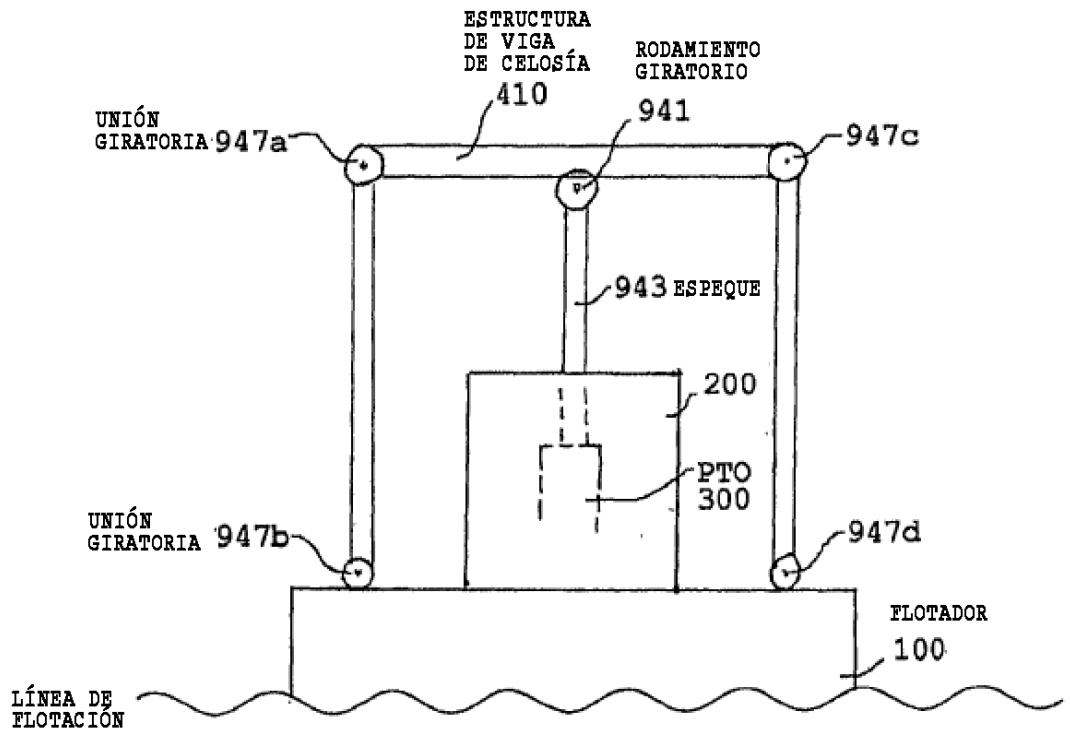


FIG. 14

