

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 328**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/20** (2006.01)

**H02K 7/18** (2006.01)

**F03B 13/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.07.2014 PCT/EP2014/064385**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.01.2015 WO15001115**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.07.2014 E 14735588 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.05.2018 EP 3017188**

54 Título: **Absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical**

30 Prioridad:

**05.07.2013 GB 201312094**

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

**26.09.2018**

73 Titular/es:

**DICK, WILLIAM (100.0%)  
Laundry House Lisnavagh Rathvilly  
Carlow, IE**

72 Inventor/es:

**DICK, WILLIAM**

74 Agente/Representante:

**CURELL AGUILÁ, Mireia**

ES 2 683 328 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**

Absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical.

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un convertidor de energía undimotriz. En particular, la presente invención se refiere a un convertidor de energía undimotriz que comprende un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical que reacciona contra la superficie de un volumen de agua encerrado por medio de un volumen de aire capturado.

**Antecedentes**

El mayor recurso de energía undimotriz está en lugares en alta mar con exposición abierta a los vientos predominantes y a profundidades de agua mayores que la mitad de una longitud de ola de las condiciones de olas predominantes. En la práctica, esto significa que la mejor energía undimotriz del océano está a profundidades del orden de 100 metros o más.

Muchas tecnologías de conversión de energía undimotriz incluyen uno o más cuerpos que oscilan en uno o más modos como resultado de fuerzas de excitación inducidas por el campo de ola incidente y por tanto absorben energía como energía cinética y potencial. Necesariamente, tales sistemas oscilantes deben ser en sí mismos grandes y masivos y capaces de reaccionar contra otro cuerpo masivo y grande o la Tierra por medio de una toma de fuerza si va a convertirse una cantidad significativa de energía en potencia útil. El tamaño óptimo de un sistema oscilante de este tipo se define por la longitud de ola predominante, y la economía. Para ser comercialmente viable a escala de utilidad, un convertidor de energía undimotriz debe funcionar eficazmente en grandes grupos en los entornos en alta mar más energéticos.

Los absorbedores puntuales de energía undimotriz axisimétricos son muy adecuados para el despliegue en alta mar en grandes grupos; la mayoría de estos son absorbedores puntuales de boya de desplazamiento vertical que oscilan o presentan desplazamiento en modo vertical. Estos pueden reaccionar normalmente contra el fondo marino por medio de amarres tensos o una pértiga, o reaccionar por sí mismos comprendiendo más de un cuerpo oscilante grande, o reaccionan contra una masa interna, o una placa o masa inercial externa. Reaccionar contra el fondo marino requiere que la pértiga o el amarre tenso se fije o se ancle suficientemente al fondo marino de manera que soporte las fuerzas que corresponden a salidas de potencia del orden de un megavatio o más.

Tales sistemas de anclaje son caros de instalar y mantener en aguas profundas. Las alternativas a un enfoque de este tipo incluyen proporcionar dos o más cuerpos grandes que reaccionan entre sí a través de una toma de fuerza. Tales sistemas oscilantes plantean importantes desafíos de ingeniería para garantizar que pueden mantener la alineación y continuar funcionando durante muchos millones de ciclos y soportar condiciones tormentosas. Esta necesidad esencial de reaccionar contra algo ha planteado un desafío significativo al desarrollo de absorbedores de energía undimotriz oscilantes prácticos, aptos para el mar y rentables, y en particular aquellos dispositivos que pueden clasificarse como que reaccionan por sí mismos.

Un requisito esencial adicional de un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical es que su periodo de oscilación natural en el modo vertical o de desplazamiento vertical debe poder coincidir con el de la ola incidente si va a absorberse la energía máxima, una condición conocida como resonancia.

Un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical tiende a presentar un periodo natural bien definido en desplazamiento vertical y como resultado responde mejor y absorbe energía eficazmente de una banda estrecha de la distribución de energía total. Por tanto, es ventajoso que pueda ajustarse el periodo natural del dispositivo. Se han propuesto varias soluciones conciliatorias, tales como un enclavamiento, (en el que la oscilación se mantiene o "enclava" momentáneamente para simular un periodo natural más largo) o amortiguación aumentada de manera que se extienda la respuesta del absorbedor, pero a costa de reducir el pico.

Las columnas de agua oscilantes (OWC) comprenden una clase bien establecida de convertidores de energía undimotriz y esta tecnología se ha aplicado tanto en sistemas en alta mar como en tierra. La columna de agua dentro de una OWC se activa por las olas incidentes. Como con otros absorbedores de energía undimotriz oscilantes, la absorción de energía máxima se produce cuando la oscilación natural de la columna de agua, con el aire capturado por encima de la misma, está al mismo nivel que el tren de olas entrante. Esta condición se define con precisión por la geometría de la cámara que encierra la columna de agua oscilante y el aire por encima de la misma.

Una implementación bien conocida adicional es incluir una OWC como parte integral de una boya de pértiga de desplazamiento vertical. Una boya de pértiga es una en la que la anchura es pequeña en comparación con el calado. La anchura de cualquier absorbedor puntual debe ser pequeña con respecto a la longitud de ola

predominante, no mucho más de 20 m de diámetro para un lugar del océano típico. Durante periodos en el intervalo de 8 a 14 segundos, una OWC de 10 metros de radio requerirá longitudes de columna de agua de desde 8 hasta 40 metros para garantizar que la columna de agua interior pueda resonar. Un intervalo de calados de este tipo es difícil de implementar en la práctica. Además, la energía undimotriz disponible está muy disminuida en profundidades de aproximadamente 40 metros. Un problema adicional es la necesidad de garantizar que las oscilaciones de la boya de pértiga de desplazamiento vertical y las OWC encerradas estén fuera de fase, de otro modo es difícil recuperar potencia ya que no hay desplazamiento relativo entre los dos sistemas oscilantes.

Por tanto, el desarrollo de un convertidor de energía undimotriz de absorbedor puntual viable disponible comercialmente se ha obstaculizado por varios desafíos significativos, por ejemplo:

- La reacción contra el fondo marino es costoso de instalar y mantener en aguas profundas en alta mar.
- Los absorbedores puntuales de boya de desplazamiento vertical resonantes que reaccionan por sí mismos han requerido hasta ahora al menos dos cuerpos masivos articulados por medio de la toma de fuerza, requiriendo alineación cuidadosa y control de parada.
- Los dispositivos articulados tienden a ser menos aptos para el mar, más propensos al fallo y más costosos de fabricar y mantener.
- El rendimiento de un absorbedor puntual de OWC resonante flotante está limitado por las dimensiones de la columna de agua; adecuar esto a las condiciones de olas variables implica complicaciones o, alternativamente, una multiplicidad de diferentes columnas de agua.
- Un absorbedor puntual que incorpora una OWC en una boya semisumergido puede presentar la dificultad de garantizar una diferencia de fase adecuada entre la oscilación de la superficie de agua interna y la boya de desplazamiento vertical para la recuperación de potencia eficaz a través de una distribución de energía undimotriz típica.

Un ejemplo particular de un dispositivo de energía undimotriz se describe en el documento US5770893.

Por tanto, existe la necesidad de un convertidor de energía undimotriz que aborde al menos algunos de los inconvenientes de la técnica anterior.

### Sumario

Estos y otros problemas se abordan mediante un convertidor de energía undimotriz que comprende un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical resonante que presenta una boya o flotador semisumergido acoplado funcionalmente a una masa de referencia ajustable que define un volumen para alojar agua de mar en la misma. Se proporciona una cámara dentro de la boya de desplazamiento vertical y está en comunicación fluidica con el mar para capturar un volumen de aire por encima de una columna de agua encerrada, variando funcionalmente la altura de la columna de agua encerrada a medida que el absorbedor puntual reacciona contra el volumen de aire capturado. Un mecanismo de control está configurado para ajustar una o más características funcionales del absorbedor puntual.

Por consiguiente, la presente enseñanza proporciona un convertidor de energía undimotriz como se detalla en la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se proporcionan características ventajosas.

Estas y otras características se entenderán mejor con referencia a las siguientes figuras que se proporcionan para ayudar a comprender la presente enseñanza.

### Breve descripción de los dibujos

La presente enseñanza se describirá ahora con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1 es una vista en perspectiva de un convertidor de energía undimotriz según la presente enseñanza.

La figura 2 es una vista en sección transversal lateral del convertidor de energía undimotriz de la figura 1.

La figura 3 es una vista en perspectiva de un detalle del convertidor de energía undimotriz de la figura 1.

La figura 4 es una vista en perspectiva de un detalle del convertidor de energía undimotriz de la figura 1.

La figura 5 es un modelo informático de un convertidor de energía undimotriz.

La figura 6 es un gráfico generado utilizando el modelo informático de la figura 5.

La figura 7 es una representación esquemática de una toma de fuerza.

5 La figura 8 es un diagrama de bloques de una pluralidad de convertidores de energía undimotriz acoplados funcionalmente entre sí.

La figura 9 es una vista en perspectiva de un detalle de un convertidor de energía undimotriz.

10 **Descripción detallada de los dibujos**

La presente enseñanza se describirá ahora con referencia a un convertidor de energía undimotriz a modo de ejemplo. Se entenderá que el convertidor de energía undimotriz a modo de ejemplo se proporciona para ayudar a comprender la presente enseñanza y no ha de interpretarse como limitativo en modo alguno. Además, los elementos o componentes que se describen con referencia a cualquier figura pueden intercambiarse con los de otras figuras sin apartarse del espíritu de la presente enseñanza. Se apreciará que por simplicidad y claridad de ilustración, cuando se considere apropiado, pueden repetirse los números de referencia entre las figuras para indicar elementos correspondientes o análogos.

15

20 Haciendo referencia a los dibujos, se ilustra un convertidor de energía undimotriz 100 a modo de ejemplo para aprovechar la energía undimotriz. El convertidor de energía undimotriz 100 a modo de ejemplo comprende un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical resonante 122 que incluye un flotador semisumergido 120 acoplado funcionalmente a una masa 125 de referencia ajustable y un lastre 151. En el aspecto a modo de ejemplo, el flotador semisumergido 120, la masa 125 de referencia ajustable y el lastre 151 se proporcionan como un solo cuerpo que reacciona contra la superficie del mar en respuesta al paso de las olas. Una cámara 105 está formada dentro del flotador semisumergido 120 y define una región interior hueca que está en comunicación fluidica con el mar por medio de entradas 110 ubicadas adyacentes a la base de la cámara 105. La cámara 105 encierra una columna de agua y como resultado un volumen de aire se captura por encima de la columna de agua. El volumen de aire se ventila a la atmósfera por medio de una pluralidad de orificios 115 de ventilación a través de los que aire puede exhalarse o inhalarse.

25

30

El convertidor de energía undimotriz 100 oscila en desplazamiento vertical de modo que la superficie superior interna de la cámara 105 reacciona contra la superficie de agua interna en la cámara 105 por medio de la atenuación del aire capturado por encima de la columna de agua, es decir, entre la superficie superior interna de la cámara y la superficie superior interna de la columna de agua. El periodo natural del desplazamiento vertical del absorbedor puntual 122 (convertidor de energía undimotriz 100) puede cambiarse por uno o más de:

35

- controlar la cantidad de agua capturada en la masa de referencia y al mismo tiempo la masa añadida asociada,
- controlar el resorte de restablecimiento asociado con la presión del volumen de aire capturado por encima de la columna de agua interna.

40

Esta optimización de la resonancia de la boya de desplazamiento vertical se logra a través de la utilización de la masa de referencia que puede ajustarse para ajustar el periodo de oscilación natural. Se estima que el 90% de la energía undimotriz del Atlántico Norte se produce con periodos de olas en el intervalo 8 a 14 segundos, presentando un pico cerca de los 10 segundos. Una boya de desplazamiento vertical flotante de necesitará presentar una masa de referencia del orden de cinco veces el desplazamiento del flotador de superficie si va a presentar un periodo natural en desplazamiento vertical del orden de 10 segundos.

45

50

Aunque la columna de agua encerrada puede parecerse superficialmente a una OWC, de hecho no funciona como un dispositivo de OWC tradicional. En el funcionamiento de una OWC, las olas de superficie hacen que la columna de agua interna se eleve y caiga. El flotador de superficie puede presentar un desplazamiento vertical por sí mismo en respuesta a la acción de las olas o la presión del aire ejercida por la OWC, pero tal desplazamiento vertical no da como resultado que el absorbedor puntual que expanda y comprima el volumen de aire capturado que a su vez expande y comprime la columna de agua de mar. La columna de agua oscilante se acciona por las olas (y no el absorbedor puntual) y así es cómo estos dispositivos absorben energía. Sin embargo, en la presente enseñanza, el nivel de la superficie de agua interna oscilará principalmente como resultado de la fuerza ejercida sobre la superficie de agua interna por el volumen de aire por encima de la misma que se comprimirá y expandirá por las oscilaciones del convertidor de energía undimotriz 100. Todo el convertidor 100 oscila en resonancia en respuesta al paso de las olas de modo que un techo de la cámara 105 actúa como un pistón para comprimir el volumen de aire capturado. En un dispositivo de OWC tradicional es el volumen de agua el que oscila y se comporta como un pistón. Se apreciará por tanto que funcionalmente los dos es diametralmente opuesto.

55

60

65

El flotador semisumergido 120 es preferiblemente axisimétrico y es solidario con la superficie externa de la

cámara 105. El flotador semisumergido 120 es de calado suficiente y de borda libre para alojar la respuesta de desplazamiento vertical anticipada de todo el convertidor de energía undimotriz 100. El calado del flotador semisumergido 120 es normalmente de unos pocos metros, lo que significa que está bien adaptado para beneficiarse de las fuerzas ejercida por las olas de superficie. El término de borda libre es un término náutico que se refiere a la altura del flotador semisumergido 120 que está por encima del nivel de agua. Se pretende que el término calado se refiera a la profundidad de un flotador semisumergido 120 cargado en el agua, tomada desde el nivel de la línea de flotación hasta el punto más bajo del flotador semisumergido 120.

La masa 125 de referencia ajustable está configurada para capturar un volumen de agua de mar en la misma con el fin de proporcionar una masa de flotabilidad neutra que puede funcionar de manera conjunta con el flotador semisumergido 120. La masa de flotabilidad neutra junto con la masa añadida asociada favorece que el convertidor de energía undimotriz 100 oscile a una frecuencia que corresponde a o está cerca de la frecuencia pico del clima de olas predominante.

El lastre 151 se requiere para garantizar que el flotador semisumergido 120 se asiente en la línea de flotación/calado correcto en agua en calma y para ayudar a estabilizar el convertidor de energía undimotriz 100 en el agua. Para el fin de estabilización, el lastre debe colocarse por debajo de, preferiblemente bastante por debajo de, el centro de flotabilidad. Puede observarse a partir de las figuras que el lastre se coloca preferiblemente en la parte inferior de un soporte 132 central alargado.

También es esencial que el lastre sea de densidad relativa significativamente mayor que el agua. Tal como conoce el experto en la materia, varios materiales son adecuados para el lastre. Preferiblemente se utiliza plomo. También puede utilizarse hierro, pero es propenso a oxidarse. Opciones prácticas son hierro incluido en hormigón u hormigón de alta densidad solo. Algunos o todos estos lastres 151 pueden colocarse en el punto más bajo del absorbedor puntual 122 (parte inferior del soporte 132 alargado) o distribuirse verticalmente (a lo largo del soporte 132) ya que pueden requerirse para mejorar la estabilidad y evitar o mitigar oscilaciones no deseadas tales como balanceo paramétrico.

Tal como se mencionó anteriormente, el lastre proporcionado en el convertidor 100 dicta lo alto/bajo que está el flotador semisumergido y de manera correspondiente el convertidor en su totalidad se asienta en el agua.

La posición del flotador semisumergido en agua en calma debe ser de modo que, en funcionamiento normal, la respuesta de desplazamiento vertical del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical al resonar está dentro de la longitud disponible de calado más la borda libre, lo que garantiza que el convertidor desplaza un volumen de agua en cada ciclo que es adecuado para el campo de ola incidente, conocido como el volumen de participación. Esta respuesta de desplazamiento vertical está muy relacionada con la totalidad de la masa de referencia, la fuerza de restablecimiento de flotabilidad del flotador, el resorte neumático asociado a la cámara de sobrepresión por encima de la columna de agua, y la reacción o la amortiguación ejercida por la toma de fuerza neumática.

Se apreciará que el lastre 151 y la masa 125 de referencia son entidades independientes que realizan diferentes funciones. El lastre es un lastre fijo, presenta peso en agua y presenta una masa mucho menor que la de la masa de referencia. La masa de referencia comprende masa inercial (agua capturada) y masa añadida al desplazarse y es de flotabilidad neutra. Puede variarse desde un valor grande (normalmente de varios miles de toneladas) hasta prácticamente nada.

La columna alargada de la cámara 105 está cerrada en el extremo superior de la misma por una cubierta 130. El soporte 132 central alargado se extiende desde la cubierta 130 hasta un extremo inferior de la masa 125 de referencia ajustable. La cámara 105, el flotador 120 y la masa 125 de referencia ajustable preferiblemente están montados en y conectados de manera rígida al soporte 132 central. El soporte 132 central define un eje longitudinal 134. Los orificios 115 de ventilación definen ejes transversales 136 que son sustancialmente perpendiculares al eje longitudinal 134. Dado que el convertidor 100 presenta un desplazamiento vertical en respuesta a las olas del mar incidentes, tiende a comprimir y expandir el volumen de aire sobre la columna de agua en la cámara 105 y esto también provoca que el nivel de la columna de agua (que se abre al mar por medio de las entradas 110 inferiores) oscile con respecto a la boya de desplazamiento vertical 120. Una toma 140 de fuerza (PTO) está dispuesta funcionalmente con respecto a los orificios 115 de ventilación de modo que una corriente de aire puede exhalarse hacia o inhalarse de la atmósfera a través de conductos a la PTO 140. En la disposición a modo de ejemplo, la PTO 140 incluye turbinas de aire 142 que accionan generadores 144, mejor ilustrados en la figura 7, para generar electricidad cuando el aire se fuerza hacia fuera o se introduce a través de los orificios 115 de ventilación. En la disposición a modo de ejemplo, las turbinas 142 son turbinas de impulso unidireccionales porque un conjunto de turbina-generador puede accionarse por una corriente de aire que se fuerza hacia fuera a través de un primer conjunto de orificios 115 de ventilación cuando la presión de aire se eleva en la cámara 105 y otro conjunto de turbina-generador similar se acciona por una corriente de aire inhalada a través de un segundo conjunto de orificios 115 de ventilación cuando la presión de aire cae en la cámara 105.

Los generadores 144 pueden controlarse para variar la reacción contra el par aplicado a los árboles de las

turbinas 142. Esto modifica la resistencia de amortiguación ofrecida por las turbinas 144 a la corriente de aire que pasa y a su vez altera la velocidad de cambio de la presión de aire por encima de la columna de agua encerrada en la cámara 105. En una disposición a modo de ejemplo, las corrientes de campo de generador se controlan por un controlador que determina la reacción apropiada que optimizará el rendimiento global del absorbedor puntual de desplazamiento vertical 122 y lo hará así en respuesta a características funcionales detectadas proporcionadas a bordo y/o externamente. Las características funcionales detectadas pueden incluir uno o más de los siguientes, pero sin limitarse a, la velocidad y amplitud de la elevación o caída de la superficie de agua interna en la cámara 105, la velocidad y amplitud de oscilación del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical 120 y la presión de aire en la cámara 105 por encima de la columna de agua oscilante. La combinación de una boya de desplazamiento vertical 120 que está configurada para resonar u oscilar con un periodo natural cercano al del clima de olas predominante y su columna de agua oscilante encerrada que también oscila en relación con la boya de desplazamiento vertical puede controlarse de modo que los dos sistemas oscilantes pueden mantenerse fuera de fase. Una disposición de este tipo mejora la cantidad de potencia que puede recuperarse del sistema en su totalidad.

La masa 125 de referencia ajustable proporciona una masa grande y de flotabilidad neutra de agua de mar capturada. Un convertidor 100 absorberá la mayor parte de la energía cuando su periodo natural coincide con el del campo de ola incidente y puede lograrse resonancia. Es la utilización de masa de referencia la que garantiza principalmente que el convertidor 100 presente un periodo natural en desplazamiento vertical que puede corresponder (puede ajustarse para que corresponda) con la frecuencia pico espectral de las olas incidentes. La masa de referencia comprende masa inercial y añadida (cuando se mueve). La masa añadida se determina a partir de la geometría y la configuración del dispositivo y puede requerir un análisis complejo para determinar su valor. Este puede determinarse a partir de modelado convencional tal como dinámica de fluidos computacional. La masa de referencia puede variarse normalmente para adecuarse a la meteorología predominante (control "tormenta por tormenta") sin alterar la flotabilidad del convertidor.

La relación entre masa de referencia, periodo de olas y área de flotación se representa aproximadamente por la fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M_f + M_{añadida}}{\rho g A}}$$

donde  $T$  es el periodo de olas,  $M_f$  la masa inercial (es decir, el agua de mar capturada),  $M_{añadida}$  es la masa añadida y se determina a partir de la geometría y la configuración del dispositivo,  $\rho$  es la densidad de agua de mar,  $g$  es gravedad, y  $A$  es el área de flotación del flotador semisumergido 120. Valores típicos para diferentes periodos son aproximadamente tal como sigue, para un absorbedor puntual con un flotador semisumergido de unos 16 metros de diámetro:

| Periodo de olas (segundos) | Masa total + masa añadida [Kg] | de la que, masa inercial [Kg] |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 10                         | 5,1193e+006                    | 4,8156e+006                   |
| 12                         | 7,3719e+006                    | 7,0681e+006                   |
| 14                         | 1,0034e+007                    | 9,7302e+006                   |

Por tanto, es evidente que esta disposición de la masa de referencia variable se beneficia de una masa añadida variable de manera correspondiente. La proporción de masa añadida puede aumentarse alterando la geometría de los depósitos. Tanto el agua de mar como la masa añadida están disponibles libremente. El clima de olas conocido del lugar seleccionado ayudará a decidir sobre la combinación óptima de área de flotación (fija) y masa de referencia (variable).

Hay una fuerte variación estacional en el flujo de energía undimotriz (cambio en el periodo de olas) en los lugares más energéticos tales como los del noroeste de Europa y la costa oeste americana. El cambio de la masa de referencia, tal como se describe, da como resultado la misma curva de respuesta del absorbedor puntual que se desplaza en proporción a la raíz cuadrada del cambio en masa. Esto facilita la mayor absorción de energía global. Específicamente, la masa de referencia puede ajustarse cuando el periodo de olas cambia para mantener la eficacia de absorción de energía undimotriz.

En otro ejemplo, utilizando la ecuación anterior, con una ola de periodo de 10 segundos, esto indica que se requiere una masa total de aproximadamente 8.000 kg para un flotador semisumergido 120 de 10 metros de radio. Un calado de flotador de 5 metros será práctico en esta escala, es decir desplazando 1.570 m<sup>3</sup> en agua en calma. Garantizar que un desplazamiento de 1.570 m<sup>3</sup> puede soportar una masa de 8.000 toneladas puede lograrse presentando una masa de referencia que está cerca de la flotabilidad neutra. La masa de agua capturada no pesa en el agua, pero su masa es del orden de cinco veces el desplazamiento de la boya de desplazamiento vertical semisumergido 120, haciendo posible por tanto que el absorbedor puntual 122 presente un periodo natural en desplazamiento vertical similar al de las olas incidentes. Esta masa inercial puede alterarse

fácilmente ajustando el volumen de agua en la masa 125 de referencia ajustable y por tanto alterando la frecuencia natural del absorbedor de desplazamiento vertical. Un mecanismo de control puede funcionar de manera conjunta con la masa de referencia ajustable para controlar el volumen de agua capturada en la misma.

5 La masa 125 de referencia ajustable comprende una pluralidad de volúmenes que facilita la configuración de la masa de flotabilidad neutra del agua capturada que va a ajustarse al régimen de olas predominante en el que  
10 está funcionando el absorbedor de energía undimotriz 100. En la disposición a modo de ejemplo, la masa 125 de referencia ajustable comprende una pluralidad de elementos tubulares huecos alargados 146 que presentan un primer elemento de válvula 148 y un segundo elemento de válvula 150 acoplados funcionalmente en extremos  
15 opuestos respectivos de los mismos. Las longitudes de los elementos tubulares 146 no son todas iguales porque al menos dos de los elementos tubulares 146 son de diferentes longitudes entre sí. Dotar a los elementos tubulares 146 de diferentes longitudes significa que la masa 125 de referencia ajustable presenta varios volúmenes de tamaño diferentes que pueden utilizarse para capturar agua de mar. Por tanto, la masa 125 de referencia presenta varios volúmenes de tamaño diferentes que pueden cargarse selectivamente con agua para  
20 ajustar la masa de flotabilidad neutra del agua capturada al régimen de olas predominante. En la disposición a modo de ejemplo, los extremos respectivos de los elementos tubulares 146 están inclinados y los elementos de válvula 148, 150 se proporcionan como pestañas pivotantes. Cada primer elemento de válvula 148 puede hacerse rotar alrededor de un primer eje de rotación 156, y cada segundo elemento de válvula 150 puede hacerse rotar alrededor de un segundo eje de rotación 158. La masa 125 de referencia ajustable es una combinación beneficiosa de masa inercial real y masa añadida (masa virtual) y pueden simplificarse con el fin de  
25 reducir las pérdidas que surgen del arrastre viscoso. El término masa añadida se utiliza habitualmente en mecánica de fluidos y se refiere a la inercia añadida a un sistema debido a que un cuerpo que acelera o decelera debe desplazar un volumen de fluido circundante a medida que se mueve a través del fluido circundante. Ventilar los elementos tubulares 146, al mismo tiempo que se libera una fracción del agua capturada reduce mucha de la masa añadida asociada con la sección transversal de los elementos tubulares 146. Esto facilita una respuesta resonante en diversas posiciones en la distribución de energía undimotriz.

Los elementos de válvulas 148, 150 pueden controlarse normalmente en respuesta a los cambios en las condiciones meteorológicas. La respuesta de desplazamiento vertical del absorbedor puntual de boya de  
30 desplazamiento vertical 120 se minimiza cuando todos los elementos de válvula 148, 150 se abren. Por ejemplo, durante el mantenimiento puede desearse minimizar la respuesta de desplazamiento vertical del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical 120 abriendo los elementos de válvula 148, 150. Los elementos de válvula 148, 150 están preferiblemente compensados de modo que se requieren su tracción y que se mantengan cerrados (“cerrados energizados”) y entonces se abrirán en la ausencia de una fuerza aplicada. De esta manera,  
35 el convertidor 100 se dispondrá para estar a prueba de fallos automáticamente con todas las válvulas abiertas en el caso de un fallo técnico a bordo, o mares turbulentos, o un fallo en la conexión de la red, por ejemplo.

El mecanismo de control (no mostrado) está acoplado funcionalmente a los elementos de válvula primero y segundo 148, 150 para abrir y cerrar las válvulas. Los elementos de válvula primero y segundo 148, 150  
40 funcionan en pares de modo que ambos se abren o ambos se cierran simultáneamente.

Cuando un par de elementos de válvula primero y segundo se cierra, se captura un volumen de agua en el elemento tubular 146 correspondiente. El tamaño del volumen de agua que se captura depende del volumen definido por la región interior hueca del elemento tubular 146 respectivo.  
45

De manera correspondiente, cuando se abre un par de válvulas primera y segunda, no se captura agua de mar en el elemento tubular 146 correspondiente. Por tanto, se apreciará que funcionar selectivamente las válvulas primera y segunda 148, 150 en pares permite que la masa de flotabilidad neutra del agua capturada se ajuste a una característica funcional del absorbedor puntual 122. La masa añadida asociada con la sección transversal del tubo ventilado también se reducirá siempre y cuando el tubo sea de diámetro adecuado en proporción a su longitud. Puede proporcionarse un sensor (no mostrado) para detectar una característica funcional del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical 120 y el correspondiente patrón de ola incidente a lo largo de un periodo de tiempo predeterminado. Puede incorporarse un circuito lógico programable (PLC) a bordo para analizar los datos detectados/datos grabados y para determinar que el par de elementos de válvula 148, 150 se abre o se cierra. La masa inercial puede alterarse fácilmente controlando los elementos de válvula 148, 150, facilitando así una respuesta resonante a diferentes frecuencias pico espectrales dentro de la distribución de energía undimotriz. Se apreciará por tanto que la respuesta resonante del convertidor de energía undimotriz 100 puede ajustarse para adecuarse a las condiciones meteorológicas.  
50  
55

Cuando dos sistemas oscilantes se combinan como en un dispositivo proporcionado según la presente enseñanza, el control de amortiguación presenta la ventaja adicional de poder afectar tanto a la respuesta de la columna de agua como a la estructura de desplazamiento vertical que encierra, alterando esta última la presión de aire por encima de la superficie de agua interna, alterando eficazmente su constante de resorte. El análisis de hidrodinámica ha confirmado que puede lograrse el ángulo de fase máximo de 180° entre la columna de agua oscilante y la estructura de desplazamiento vertical.  
60  
65

Un convertidor de energía undimotriz de la presente enseñanza está configurado de modo que el cuerpo soportado por el flotador semisumergido 122 y que contiene la cámara 105 oscila en respuesta al paso de las olas. Por tanto, la presente enseñanza combina dos cuerpos oscilantes, concretamente, el absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical 120 que presenta un desplazamiento vertical en respuesta a las olas de superficie y una columna de agua que puede oscilar dentro de la cámara 105 encerrada al menos parcialmente en respuesta a variaciones en la presión de aire por encima de la misma provocadas por fuerzas ejercidas por el absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical 120. La presión de aire por encima de la columna de agua puede modificarse variando la resistencia de par de los generadores 144 y, por lo tanto, el efecto de amortiguación de las palas de turbina rotatorias 142. Esto presenta la ventaja adicional de poder afectar tanto a la respuesta de la columna de agua como a la estructura de desplazamiento vertical que encierra, modificando esta última eficazmente la constante de resorte del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical.

Por tanto, la presente enseñanza hace posible alterar las dos variables clave en un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical, la masa 125 de referencia y aquella parte del resorte de restablecimiento asociada con el aire encerrado en la cámara 105. En funciones habituales, la masa de referencia se ajustará cuando hay cambios significativos en la meteorología (conocido como control "tormenta por tormenta") y el resorte neumático se modificará de manera continua (conocido como control "ola por ola").

Las ventajas de la presente enseñanza son muchas y pueden demostrarse utilizando modelado informático.

Se desarrolló un modelo hidrodinámico del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical y a partir de él un programa informático que calcula las respuestas en un clima de olas dado. El modelo se extendió para tener en cuenta de las interacciones de la boya de desplazamiento vertical y la columna de agua capturada y la cámara de aire por encima de la misma. Se incorporaron la masa dependiente del tiempo de la columna de agua capturada, su masa añadida, la rigidez debido a su área de flotación en contacto con el aire capturado, la amortiguación hidrodinámica, la fuerza de arrastre y la fuerza inercial del fluido. Se determinó una matriz de potencia para un clima de olas a modo de ejemplo, del condado de Mayo, Irlanda.

Los resultados de la solución numérica del modelo hidrodinámico se compararon entonces con los de un paquete de hidrodinámica convencional industrial WAMIT, y un análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) que utiliza Flow-3D, adecuado para estructuras flotantes semisumergido. Los resultados demuestran que el convertidor de energía undimotriz 100 funciona bien como una boya de desplazamiento vertical que reacciona contra una superficie de agua interna de la columna de agua encerrada. Los resultados del WAMIT se describirán ahora. El absorbedor de energía undimotriz 100 se modeló utilizando el modelo de la figura 5 como una boya de desplazamiento vertical semisumergido axisimétrica de amarre flojo que incorpora un amortiguador de aire por encima de una columna de agua abierta al mar por debajo. Se proporcionaron una masa de referencia grande y un lastre en la base 160 para representar la masa 125 de referencia ajustable. Las dimensiones a modo de ejemplo del modelo se ilustran en la figura 5. Se definió que el modelo presentaba las siguientes características:

- Calado: 60 metros
- Masa seca: 550 toneladas
- Masa total: 8200 toneladas
- Volumen: 9200 m<sup>3</sup>
- Altura metacéntrica (GM): 9,5 metros

Masa seca es la masa estructural real de todo el dispositivo incluyendo el lastre. Masa total incluye el peso del agua de mar capturada pero excluye la masa añadida

Se simuló un modelo de diseño asistido por ordenador (CAD) del convertidor de energía undimotriz 100 para las dimensiones a modo de ejemplo proporcionadas en la figura 5. Los valores de masa apropiados se asignan a los componentes individuales y se resolvió la hidrostática. Estos valores, junto con un archivo de geometría apropiado, se pasaron al WAMIT para la simulación de rendimiento del dispositivo en olas de aguas profundas monocromáticas lineales de 3 m de alto y a lo largo de un intervalo de periodos de olas de 4-15 segundos. Se registró la respuesta del dispositivo para los 6 modos de desplazamiento de cuerpo rígido y dos modos adicionales (desplazamiento vertical y paso) para la superficie libre dentro de la columna de agua oscilante tal como se caracterizó por un parche de superficie libre sin masa. La simulación de WAMIT emite datos no dimensionales pertenecientes a la masa añadida dependiente de frecuencia y los valores de amortiguación para la plataforma, la rigidez hidrostática y los operadores de amplitud de respuesta para cada uno de los 8 modos de desplazamiento. Estos valores se importaron a MatLab™ para el redimensionamiento y la evaluación de características.

La figura 6 muestra las relaciones de fase entre el modo de desplazamiento vertical estructural (línea A), el modo de desplazamiento vertical de superficie de agua interna (línea B) y el modo de oleaje estructural (línea C). La amplitud de respuesta de oleaje fue pequeña. Estas líneas ilustran que a lo largo de un intervalo de periodos de olas de desde aproximadamente 8 segundos hasta 13 segundos, la superficie de agua interna y los modos de



desplazamiento vertical estructural son de  $-180^\circ$  fuera de fase. Esto significa que hay potencial de generación potencia significativa para esta geometría a modo de ejemplo en un clima de olas del Atlántico Norte típica, por ejemplo.

5 La PTO 140 se ilustra en más detalle en la figura 7. Esta ilustra una configuración preferible que incorpora al menos un par de turbinas de impulso unidireccionales, una para inhalación, una para exhalación, cada una acoplada a un generador de reluctancia conmutado rotatorio. Una configuración alternativa puede utilizar una o más turbinas bidireccionales tales como las turbinas de Wells o Dennis-Auld y generadores síncronos de imanes permanentes convencionales. Preferiblemente, se conectan generadores 144 de reluctancia conmutados directamente (sin cajas de engranajes) a las turbinas de impulso de entrada y salida. Los generadores de reluctancia conmutados son muy adecuados para las cargas variables habituales de recursos energéticos renovables. Estos son robustos, tolerantes a fallos y eficaces incluso a rpm muy bajas. Permiten el control rápido del par de árbol para la absorción de energía undimotriz óptima. Al aumentar o disminuir el par de árbol aplicado por los generadores, el efecto de amortiguación ejercido por las turbinas de aire puede ajustarse para controlar la respuesta de la cámara 105. Un circuito 171 de control puede funcionar para controlar los modos de funcionamiento de los generadores 144 de reluctancia conmutados. La figura 8 ilustra un parque 182 de energía undimotriz a modo de ejemplo que incluye cinco absorbedores de energía undimotriz 100 que proporcionan potencia a la red 180 eléctrica.

20 Haciendo referencia ahora a la figura 9, se proporciona un mecanismo 200 de almacenamiento de energía a corto plazo que presenta una pluralidad de depósitos de aire 202 incorporados como secciones con mamparo estancas dentro de la boya de desplazamiento vertical 120. Por motivos de claridad, sólo se ilustra un único depósito de aire 202. Sin embargo, se apreciará que pueden proporcionarse una pluralidad de tales depósitos de aire 202 uno al lado del otro a lo largo de la circunferencia de la cámara 105. Este mecanismo de almacenamiento de energía está configurado para un suministro de potencia uniforme y un rendimiento global para mares irregulares, y puede emplearse como mecanismo adicional para controlar la respuesta de la boya de desplazamiento vertical 120. Los depósitos de aire 202 pueden funcionar para almacenar la presión de aire en exceso que puede aparecer en la cámara 205. Los depósitos de aire 202 están en comunicación fluidica con el volumen de aire capturado por encima de la columna de agua en la cámara 105. Se proporcionan válvulas 205 en el extremo superior de los depósitos de aire 202 que pueden activarse para controlar el flujo de aire que entra o que sale de los depósitos 202.

Puede funcionar un mecanismo de control para controlar selectivamente las válvulas 205 para facilitar la carga de aire a o desde la cámara 105 a los depósitos de aire 202 con el fin de almacenar y recuperar energía en exceso. En periodos de olas más energéticas e irregulares, la presión de aire dentro de la cámara 105 durante cualquier ciclo puede superar a la que se requiere para el funcionamiento eficaz de las turbinas. En lugar de malgastar esta energía ventilando a la atmósfera, puede almacenarse temporalmente en los depósitos de aire 205. El mecanismo de control puede funcionar para controlar selectivamente las válvulas 205 para liberar aire presurizado desde los depósitos de aire 202 al interior de la cámara 105 con el fin de potenciar el rendimiento cuando se producen olas más pequeñas.

Aunque no se pretende limitar la presente enseñanza a ningún conocimiento técnico específico, se apreciará a partir de lo mencionado anteriormente que puede considerarse que el volumen de aire capturado forma o define un resorte. Esto forma parte de la PTO. Como resultado del desplazamiento de las olas, la boya de desplazamiento vertical reacciona contra la columna de agua. Dado que la columna de agua presenta inercia y masa sustanciales, intenta resistir esta reacción. Como resultado, se fuerza a la oscilación de la masa de agua parcialmente capturada y puede hacerlo así fuera de fase con la boya de desplazamiento vertical. La dinámica de desplazamiento de interacción se detecta por el resorte neumático definido por el volumen de aire y se utiliza para accionar la PTO.

Las palabras comprende/que comprende cuando se utilizan en esta memoria descriptiva son para especificar la presencia de características establecidas, número enteros, etapas o componentes pero no excluyen la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, etapas, componentes o grupos de los mismos.

55

**REIVINDICACIONES**

1. Convertidor de energía undimotriz (100) que comprende:

5 un absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical resonante (122) que comprende un flotador semisumergido (120) acoplado funcionalmente a una masa (125) de referencia ajustable y un lastre (151), presentando el lastre una masa fija y definiendo la masa (125) de referencia ajustable un volumen para alojar agua de mar en la misma, estando el flotador semisumergido, la masa de referencia ajustable y el lastre configurados para elevarse y caer juntos en respuesta al paso de las olas;

10 una cámara (105) prevista dentro del flotador semisumergido y funcionalmente en comunicación fluidica con el agua de mar para llevar a cabo una captura de un volumen de aire entre una superficie superior de una columna de agua de mar y una superficie superior de la cámara, estando la cámara configurada de modo que funcionalmente el absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical resonante (122) expanda y comprima el volumen de aire capturado que, a su vez, expande y comprime la columna de agua de mar; y

15 una toma (140) de fuerza, PTO, en comunicación con y que responde a aire ventilado desde la cámara resultante de una reacción del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical contra la superficie superior de la columna de agua de mar encerrada, y

20 en el que la relación entre la masa de referencia, un periodo de olas y un área de flotación de la boya es sustancialmente representada por la fórmula:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M_f + M_{añadida}}{\rho g A}}$$

25 en la que **T** es el periodo de olas, **M<sub>f</sub>** la masa inercial de agua de mar capturada en la masa (125) de referencia, **M<sub>añadida</sub>** es la masa añadida resultante del desplazamiento del dispositivo dentro del agua de mar y se determina a partir de la geometría y la configuración del dispositivo, **ρ** es la densidad de agua de mar, **g** es gravedad y **A** es el área de flotación del flotador semisumergido (120).

30 2. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 1, en el que funcionalmente el volumen de agua de mar alojada definido por la masa (125) de referencia ajustable, presenta una masa que es del orden de cinco veces el desplazamiento del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical resonante (122) de manera que pueda lograrse resonancia.

35 3. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 1, que además comprende un mecanismo de control configurado para ajustar una o más características funcionales del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical resonante, y en el que el mecanismo de control puede funcionar para:

40 variar la amortiguación ejercida por la PTO; o

puede funcionar para llevar a cabo una variación selectiva del volumen de agua de mar contenido dentro de la masa (125) de referencia ajustable; o

45 puede funcionar para controlar el volumen de agua de mar dentro de la masa (125) de referencia ajustable de modo que las frecuencias naturales de cada uno del absorbedor puntual (120) y la columna de agua encerrada dentro de la cámara estén fuera de fase.

50 4. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la masa (125) de referencia ajustable comprende por lo menos una abertura para alojar agua de mar a través de la misma, en el que opcionalmente dicha por lo menos una abertura presenta un elemento de válvula (148, 150) asociado.

55 5. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 4, que comprende una pluralidad de aberturas, presentando cada una unos elementos de válvula asociados y en el que la pluralidad de elementos de válvula (148, 150) pueden funcionar selectivamente para controlar el volumen de agua en la masa de referencia ajustable.

60 6. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 5, en el que la masa de referencia ajustable comprende por lo menos uno de entre:

- a) define una pluralidad de volúmenes individuales;
- b) define una pluralidad de volúmenes individuales alargados;

c) una pluralidad de elementos tubulares (146).

5 7. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 6, que comprende una pluralidad de elementos tubulares, en el que cada elemento tubular (146) se extiende entre un primer elemento de válvula (148) y un segundo elemento de válvula (150) u opcionalmente, en el que la longitud de por lo menos dos de los elementos tubulares (146) son diferentes entre sí.

10 8. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la PTO comprende una o más turbinas de aire (142) y opcionalmente en el que:

a) dicha una o más turbinas de aire presentan una resistencia asociada al flujo de aire;

15 b) dicha una o más turbinas de aire pueden estar configuradas de modo que su resistencia asociada al flujo de aire sea ajustable;

c) dicha una o más turbinas de aire están acopladas funcionalmente a uno o más generadores (144).

20 9. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 8, en el que dicha una o más turbinas de aire están acopladas funcionalmente a uno o más generadores (144) y por lo menos uno de entre dicho uno o más generadores es un generador de reluctancia conmutado y en el que:

a) por lo menos uno de entre dicho uno o más generadores (144) puede funcionar para controlar la resistencia al flujo de aire asociado con dicha una o más turbinas de aire; o

25 b) el convertidor de energía undimotriz comprende además un sensor para detectar una característica funcional del absorbedor puntual de boya de desplazamiento vertical (120); o

30 c) la resistencia al flujo de aire de dicha una o más turbinas es variada en respuesta a la característica funcional detectada.

35 10. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además comprende un mecanismo de almacenamiento de aire para almacenar aire a presión, en el que el mecanismo de almacenamiento de aire está en comunicación fluidica con el volumen de aire capturado en la cámara, y opcionalmente en el que el mecanismo de almacenamiento de aire comprende uno o más depósitos.

40 11. Convertidor de energía undimotriz según la reivindicación 10 cuando está subordinada a la reivindicación 3, en el que el mecanismo de control puede funcionar para por lo menos uno de entre:

facilitar selectivamente la carga de aire desde la cámara hasta el mecanismo de almacenamiento de aire;

facilitar selectivamente la liberación de aire desde el mecanismo de almacenamiento de aire hasta la cámara.

45 12. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la cámara (105) está abierta al agua de mar en una parte inferior del flotador semisumergido (120).

50 13. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el volumen de aire capturado está intercalado entre una superficie superior de la columna de agua de mar encerrada y el absorbedor puntual.

14. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el volumen de aire capturado forma un resorte neumático ajustable.

15. Convertidor de energía undimotriz según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el lastre está posicionado en la parte inferior del convertidor de energía undimotriz y opcionalmente, en el que el lastre comprende por lo menos uno de entre plomo, hierro y hormigón.

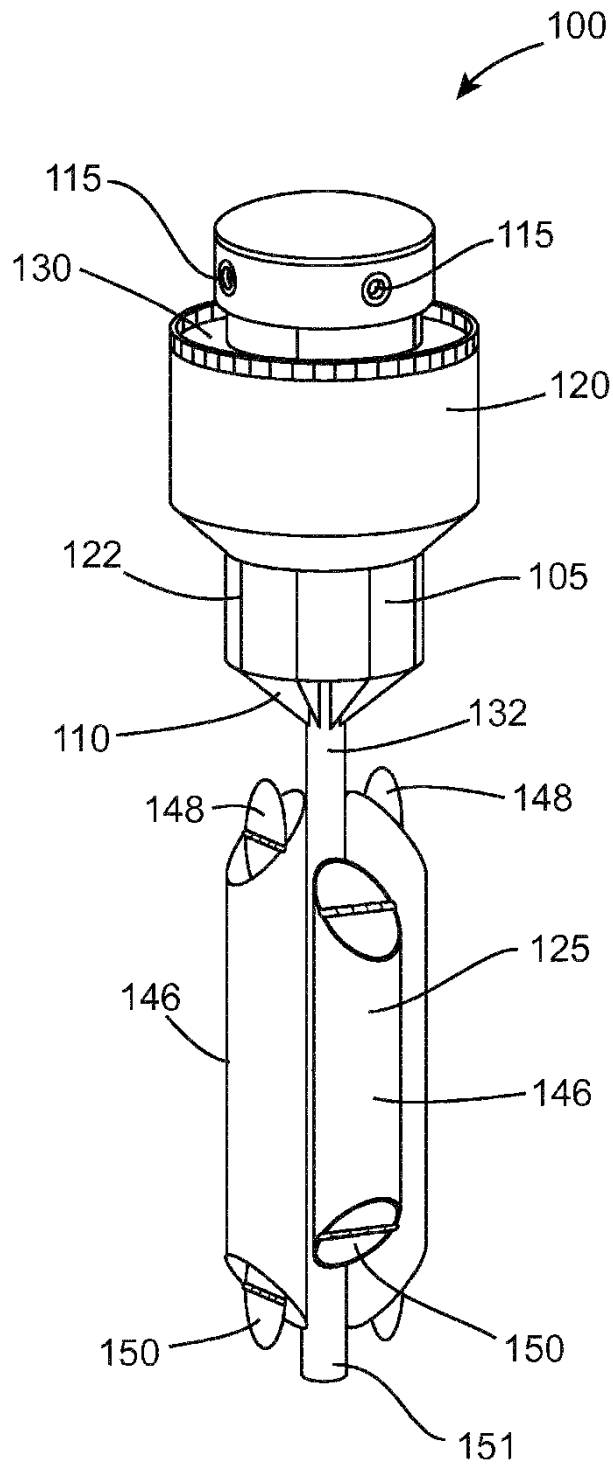


Fig. 1

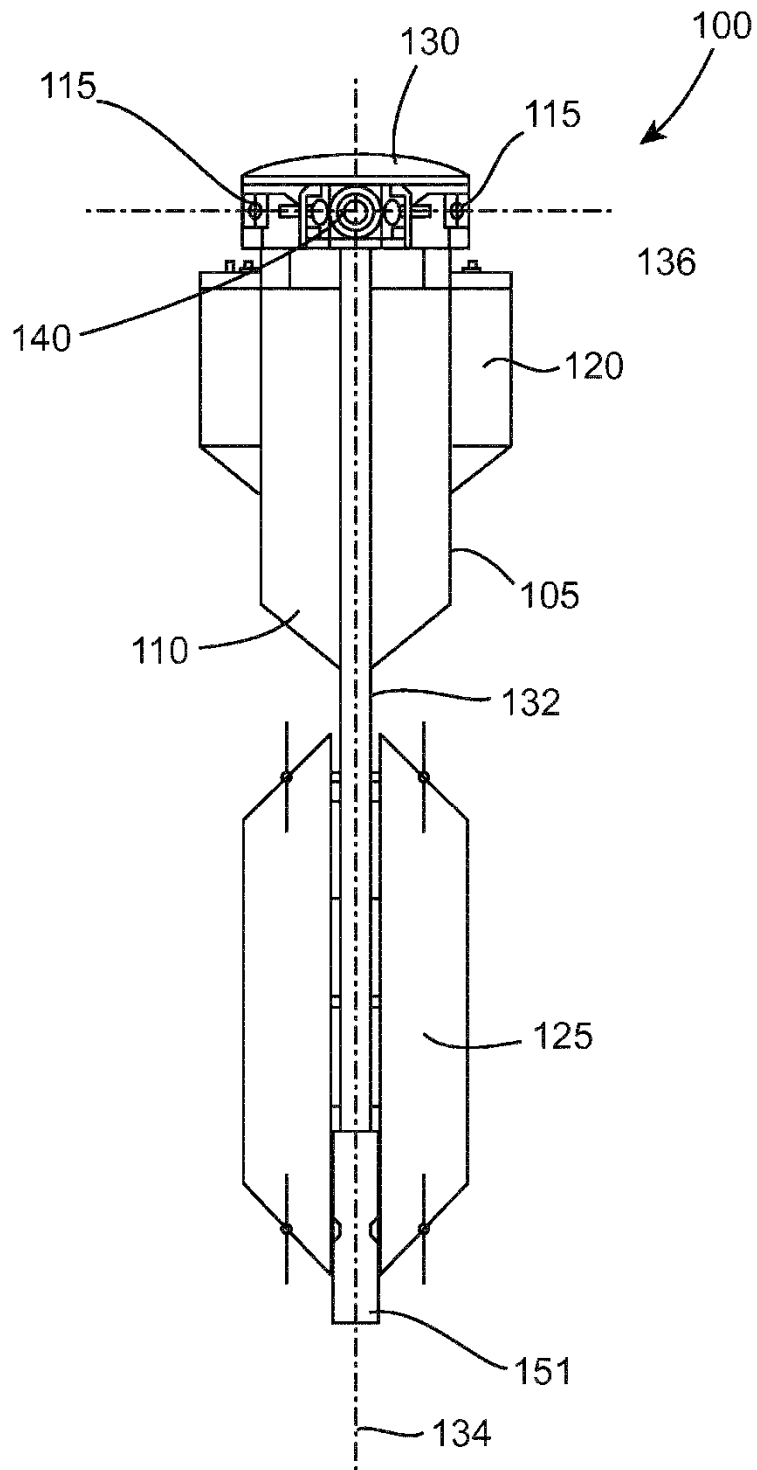


Fig. 2

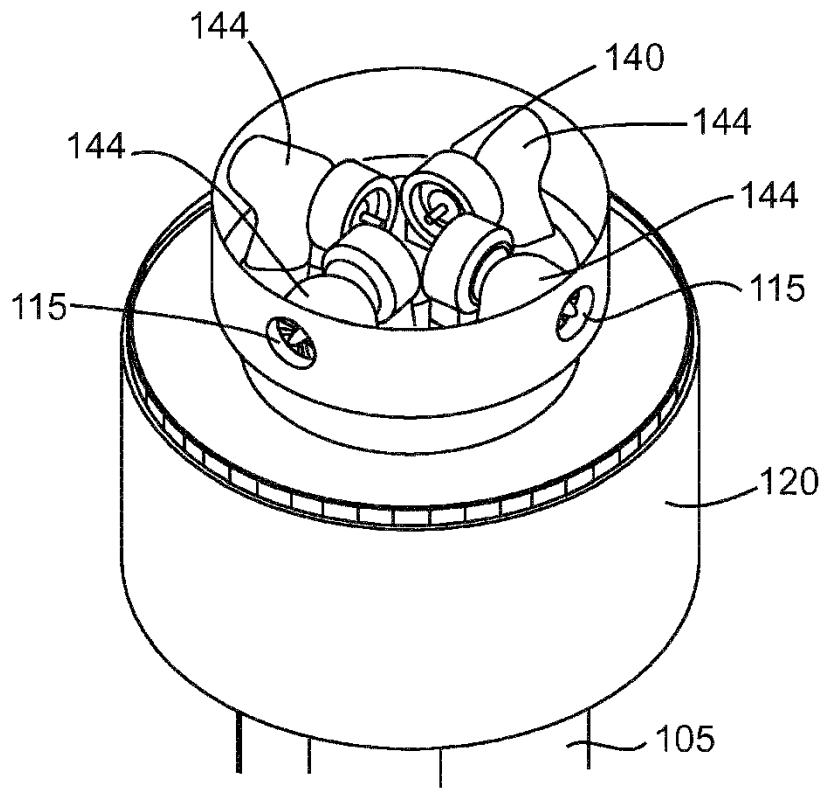


Fig. 3

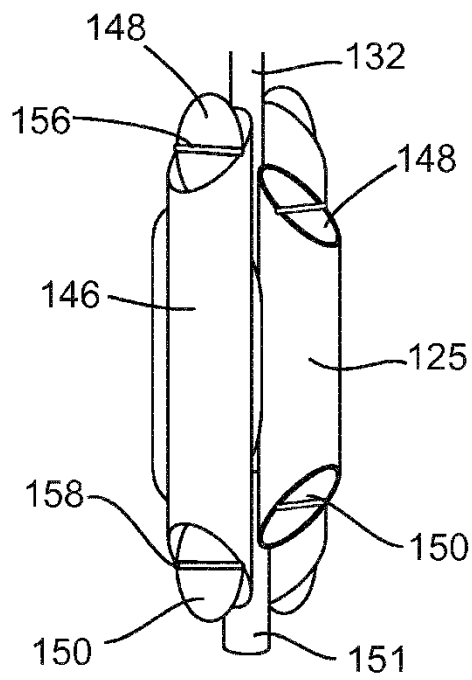


Fig. 4

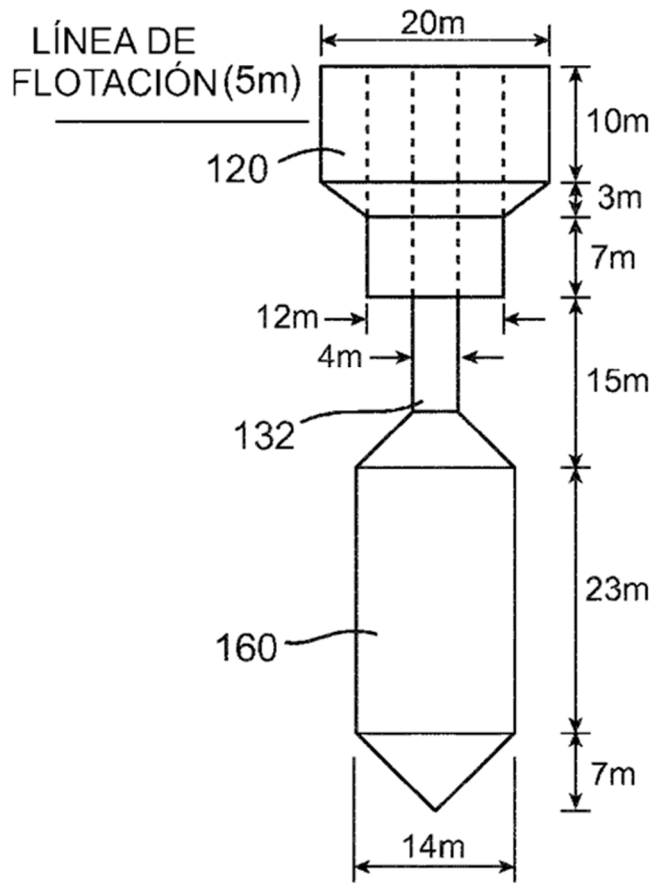


Fig. 5

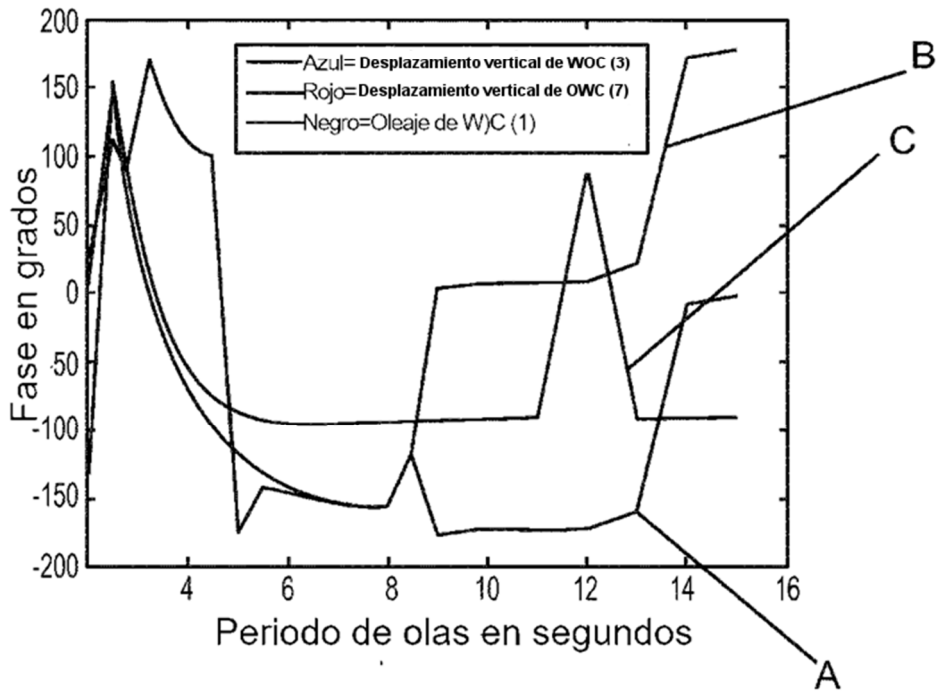


Fig. 6

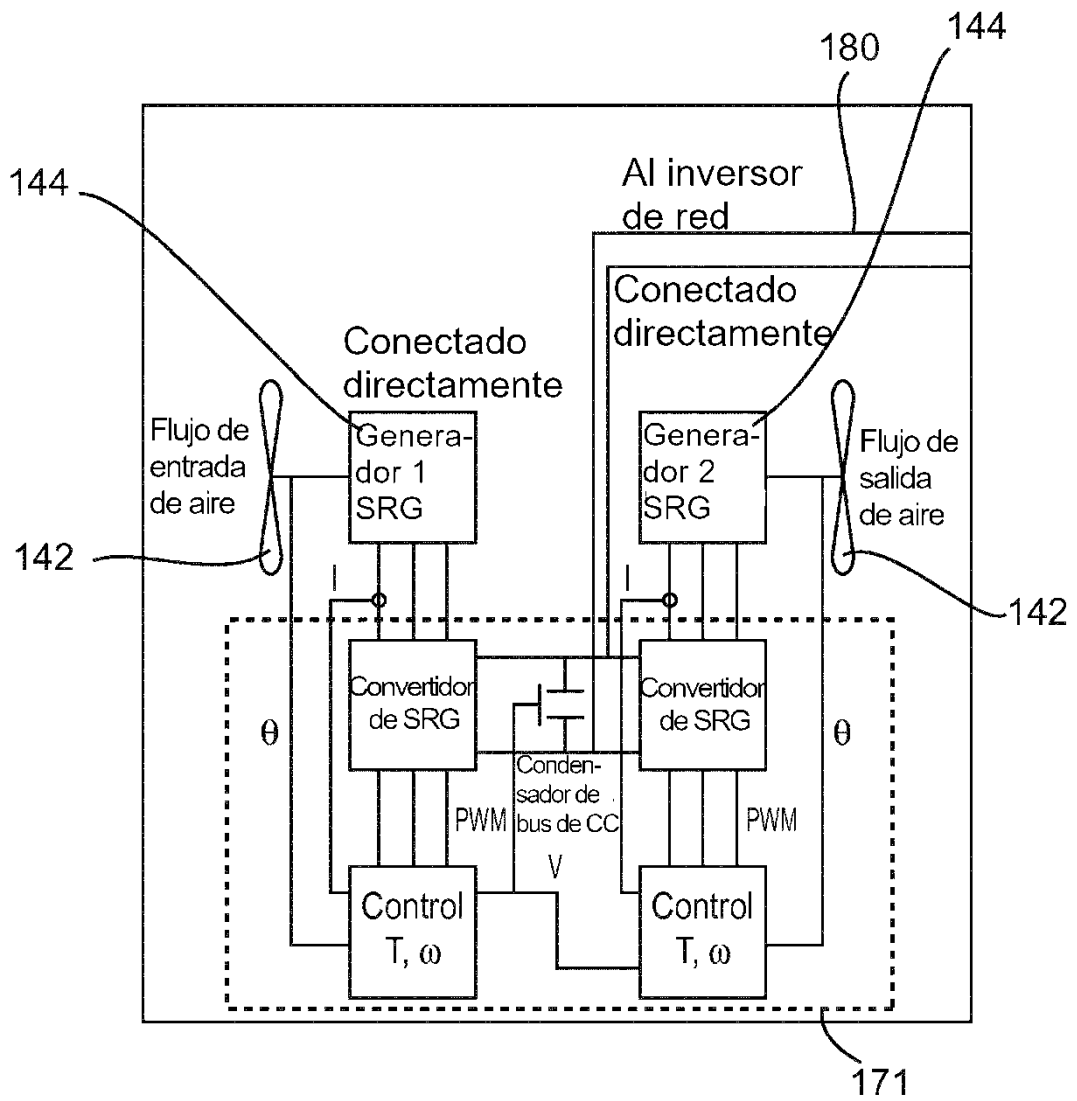


Fig. 7



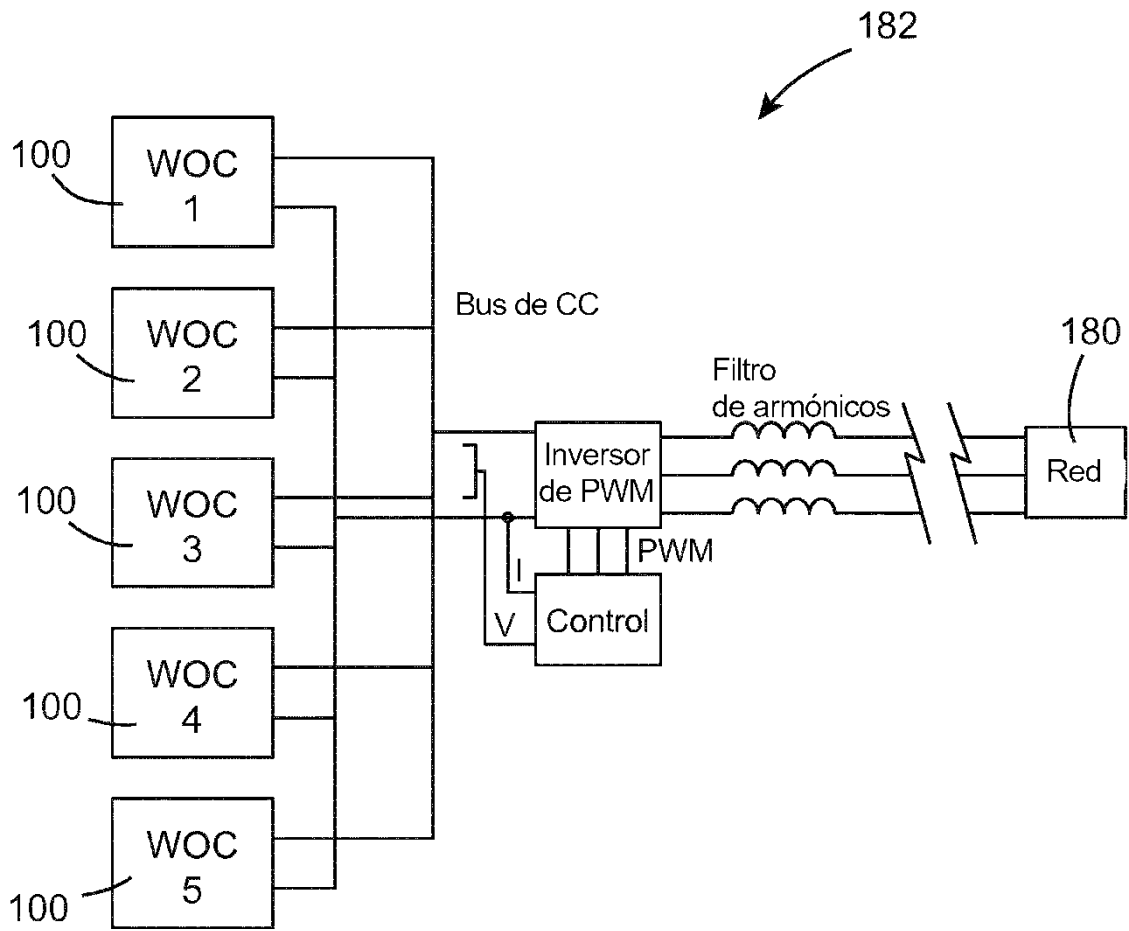


Fig. 8

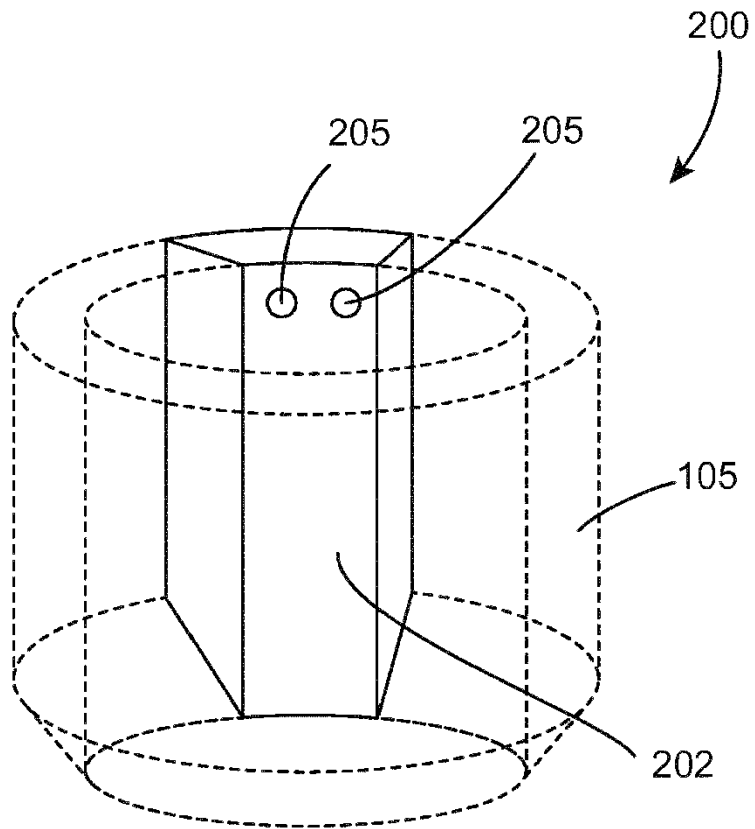


Fig. 9