

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 630 714**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2011 PCT/EP2011/058700**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.12.2011 WO11147949**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2011 E 11724591 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2017 EP 2577049**

54 Título: **Dispositivo de conversión de energía undimotriz**

30 Prioridad:

**26.05.2010 IE 20100344**

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

**23.08.2017**

73 Titular/es:

**SEA POWER LIMITED (100.0%)  
27 Cork Road  
Midleton, Co. Cork, IE**

72 Inventor/es:

**LAVELLE, EUGENE;  
MURTAGH, JOSEPH y  
LYNE, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 630 714 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**

Dispositivo de conversión de energía undimotriz

5 La presente invención se refiere al campo de la conversión de energía undimotriz y también a los campos de tecnologías asociadas tales como sistemas de toma de fuerza e hidráulica de fluidos.

10 Actualmente se están haciendo muchos esfuerzos para desarrollar medios eficientes y robustos para extraer energía de los recursos renovables. El aprovechamiento de la energía undimotriz, en particular, presenta una serie de desafíos de diseño con respecto tanto a la eficiencia como a la robustez de los sistemas aptos para tal fin.

15 Muchos conversores de energía undimotriz (WEC) se basan en un cuerpo móvil, tal como un pontón, que se mueve de un modo, tal como un movimiento de oscilación vertical. En tales conversores de energía undimotriz, el cuerpo móvil está conectado a un segundo cuerpo de referencia, tal como un segundo pontón más grande, o alguna forma de estructura de posición fija, y el movimiento del cuerpo móvil en relación con el cuerpo de referencia se aprovecha y se convierte en energía. Sin embargo, está probado que tales diseños no son capaces de capturar más del 50 % de la energía undimotriz. Por lo tanto, existe la necesidad de proporcionar un conversor de energía undimotriz que sea capaz de extraer energía de las olas de manera más eficiente.

20 Una propuesta para extraer energía de las olas oceánicas es un motor principal alimentado por olas que comprende un par de pontones conectados a una barcaza inercial central, por ejemplo como se ve en el documento WO 99/28622. Los pontones están dispuestos simétricamente con respecto a la barcaza amarrada y pueden moverse de manera pivotante por las olas en relación con la barcaza. El cabeceo de los pontones hace funcionar unas bombas hidráulicas conectadas entre cada pontón y la barcaza para convertir el movimiento de cabeceo en energía de presión de agua. Otra propuesta para una planta de energía undimotriz que comprende dos pontones se basa en el principio de la balsa de Cockerell y se describe en el documento WO 2008/135046. Dos pontones entrecruzados se conectan mediante un sistema de toma de fuerza hidráulica. Los pontones suben y bajan a medida que pasan las olas y esto los hace pivotar alrededor del centro del dispositivo, provocando el movimiento del actuador hidráulico. Otra propuesta más para un aparato de energía undimotriz se describe en el documento WO 00/17519 y se conoce como máquina Pelamis. Este dispositivo comprende una estructura a modo de cadena articulada compuesta por elementos cilíndricos que pueden experimentar movimiento rotacional relativo. Aunque algunas de estas y otras propuestas han sido comercializadas, todos estos dispositivos WEC se basan en un solo modo de movimiento para convertir la energía procedente de las olas y, por lo tanto, sufren de la ineficiencia descrita anteriormente.

35 Muchos sistemas WEC utilizan cilindros hidráulicos de aceite como actuadores en el sistema de extracción de energía. Sin embargo, se apreciará que hay riesgos medioambientales significativos asociados con el uso de la oleohidráulica, especialmente en el mar, donde las inevitables fugas causan problemas. Otros sistemas WEC proponen generadores lineales eléctricos, pero en este momento, estos están en una etapa muy temprana de desarrollo. Algunos sistemas WEC superan estos inconvenientes identificados implementando actuadores hidráulicos que utilizan el agua de mar como medio de transferencia de energía. Sin embargo, el agua de mar tiene un potencial significativo para degradar y descomponer los materiales expuestos a la misma (a través de la acción tanto mecánica como química) y, por lo tanto, los sistemas hidráulicos de agua de mar tienen que ser capaces de soportar tales fuerzas.

45 La mayoría de las bombas de agua en el mercado actual tienen un diseño centrífugo de rodete abierto. Se trata de una solución de bajo coste para el bombeo de propósito general. Estas bombas, sin embargo, tienen una eficiencia muy baja (aproximadamente del 40 %) y, lo que es más importante, no pueden proporcionar alturas piezométricas elevadas a menos que se configuren múltiples bombas en serie. La complejidad de tales disposiciones las hace muy poco atractivas para su implementación en un conversor de energía undimotriz. Las bombas de alta presión, tales como las usadas en la industria de la desalinización (plantas de ósmosis inversa), tienen un diseño de múltiples etapas y generalmente usan pistones y cilindros de desplazamiento positivo en contraposición a los rodetes abiertos. Sin embargo, estas bombas no pueden aceptar agua de mar en bruto, ya que esto conduciría a un desgaste rápido y a un fallo de los componentes y, por lo tanto, están limitadas en su utilidad.

55 La patente de Estados Unidos número US6140712 describe una bomba de manguera de doble efecto usada en el contexto de un conversor de energía undimotriz. La bomba consiste en un par de bombas de manguera conectadas a una tubería de salida común. Una desventaja de este tipo de bombas es que la presión que pueden soportar las mangueras flexibles limitará la presión generada. En un entorno donde es deseable una salida de alta presión (tal como en el contexto de un conversor de energía undimotriz), esto sería una grave limitación.

60 En la patente del Reino Unido n.º GB 2453670 se describe otra bomba. La bomba descrita es una bomba de doble efecto usada en el contexto de un conversor de energía undimotriz. La bomba consiste en un pistón alternativo de doble efecto diseñado para bombear agua de mar a través de un par de patas de aspiración, cada una de las cuales comprende una cámara, una válvula de entrada y una válvula de salida, hasta llegar a un tubo de salida común. Sin embargo, mientras que en la carrera ascendente del pistón la masa de fluido que pasa a través de una pata de aspiración se acelera, la carrera de retorno ve como la masa de fluido en este lado de la bomba pierde aceleración,

solo para acelerarse de nuevo en la siguiente carrera ascendente. Esto se produce de la misma manera en la otra pata de aspiración y en las carreras de retorno del pistón. Se apreciará que la energía que se gasta reaccelerando la masa de fluido al comienzo de cada segunda carrera da como resultado una pérdida de energía y un deterioro significativo en el rendimiento de bombeo. Además, cabe señalar que los volúmenes de las dos cámaras pueden no ser iguales, debido a que el árbol del pistón pasa a través de una cámara pero no de la otra. Esto puede ser desventajoso si se desea un flujo y una presión continuos. Además, la disposición de pistón/cámara doble comprende una única unidad integrada que sería difícil de reparar, debido a que la superficie que actúa conjuntamente con la junta de émbolo está situada en el interior de la cámara. Además, una fuga en la junta de pistón afectaría al fluido que se bombea fuera de ambas cámaras. Como se ha mencionado anteriormente, las bombas basadas en pistón son de poca utilidad para bombear agua de mar, debido a que el pistón necesita alta presión, alta velocidad, juntas o anillos de pistón de alta resistencia al desgaste, y aún no hay nada en el mercado para lograr esto económicamente.

Sería deseable proporcionar un dispositivo de conversión de energía undimotriz y sistemas relacionados que aborden todos los problemas mencionados anteriormente y superen las limitaciones de las soluciones existentes.

En un primer aspecto de la invención, se desvela un dispositivo de conversión de energía undimotriz para su uso en una masa de agua que comprende:

- un primer pontón configurado para responder a una ola incidente funcionando en al menos un primer modo de movimiento;
- un segundo pontón unido de manera móvil al primer pontón por un medio de unión;

en el que el movimiento relativo del primer pontón respecto al segundo pontón en respuesta a una ola incidente se convierte en una forma deseada de energía;

en el que el primer pontón y el segundo pontón comprenden, cada uno, un cuerpo alargado, en el que el segundo pontón está unido al primer pontón de manera adyacente a, o en el punto medio de, el eje alargado del primer pontón, y el eje alargado del segundo pontón es transversal al eje alargado del primer pontón;

caracterizado por que el segundo pontón está configurado para responder a una ola incidente funcionando en al menos un segundo modo de movimiento diferente del primer modo de movimiento;

en el que dicho primer modo de movimiento comprende un movimiento de oscilación vertical; y  
 en el que dicho segundo modo de movimiento comprende un movimiento de cabeceo.

Se comprenderá que, de acuerdo con la invención, se proporcionan un par de pontones en el que un pontón funciona en un primer modo de movimiento mientras que el otro pontón funciona en un segundo modo de movimiento diferente. La expresión "modo de movimiento" hace referencia a un movimiento diferenciado que tiene su propia frecuencia y energía características. En el contexto de un dispositivo de conversión de energía undimotriz, los modos habituales de movimiento incluyen oscilación vertical (movimiento vertical perpendicular a la dirección de desplazamiento de una ola, es decir, arriba y abajo entre valles y crestas de ola), lineal en dirección proa-popa (movimiento horizontal a lo largo de la dirección de desplazamiento de una ola) y cabeceo (movimiento rotacional en un ángulo  $0^\circ < \theta < \pm 90^\circ$  con respecto a la dirección de desplazamiento de una ola, es decir, girando alrededor de un eje alineado con las crestas de ola a medida que pasan las olas). Tales modos de movimiento son independientes entre sí y cada uno de ellos puede contribuir al movimiento global de un cuerpo flotante, dependiendo de su libertad para moverse en respuesta a las olas. Una característica ventajosa de la invención es que el movimiento relativo de dos pontones que se mueven en dos modos de movimiento diferentes se convierte en energía. Por lo tanto, un pontón está configurado para responder a las olas con (al menos) un movimiento de oscilación vertical mientras que el otro pontón está configurado para responder a las olas con (al menos) un movimiento de cabeceo y el movimiento relativo entre estos dos modos diferentes se utiliza para la conversión de energía. En consecuencia, la curva de potencia resultante para el dispositivo contendrá contribuciones procedentes de al menos dos modos de movimiento diferentes y la eficiencia de conversión de energía mejora en comparación con un dispositivo que solo convierte energía procedente de un único modo de movimiento.

De acuerdo con un conjunto preferido de realizaciones, el primer pontón y el segundo pontón responden a la misma ola incidente. Esto puede lograrse seleccionando la longitud total del dispositivo, la separación entre los pontones y/o las dimensiones de los pontones en relación con la longitud de ola predominante en un sitio dado, por ejemplo como se describe con más detalle a continuación.

De acuerdo con un conjunto preferido de realizaciones, el modo de movimiento del primer pontón también comprende un movimiento lineal en dirección proa-popa.

De acuerdo con un conjunto preferido de realizaciones, el modo de movimiento del segundo pontón también comprende un movimiento lineal en dirección proa-popa y/o un movimiento de oscilación vertical.

En un conjunto preferido de realizaciones, el segundo pontón está unido al primer pontón de manera adyacente a, o en el punto medio de, el eje alargado del primer pontón, en el que el dispositivo se orienta cuando está en uso de tal manera que el eje alargado del primer pontón sea paralelo a las crestas de ola de las olas incidentes. En otras

palabras, el eje alargado del primer pontón se alinea en perpendicular a la dirección de desplazamiento de las olas.

5 Esto garantiza que el primer pontón sea capaz de responder eficazmente a las olas incidentes. En particular, puesto que el primer pontón comprende un cuerpo alargado alineado a lo largo de las crestas de ola, no experimenta preferentemente ningún movimiento de cabeceo sustancial en la dirección de desplazamiento de las olas. En su lugar, el primer pontón se mueve predominantemente en un modo de movimiento de oscilación vertical a medida que pasan las crestas de ola. También puede experimentarse un movimiento lineal en dirección proa-popa. El cuerpo alargado comprende, preferentemente, una dimensión a lo largo de su eje alargado que es mucho mayor que una dimensión perpendicular a su eje alargado que se alinea con la dirección de desplazamiento de las olas.

10 En una modificación del conjunto de realizaciones expuestas directamente con anterioridad, la dimensión del primer pontón a lo largo de su eje alargado viene determinada por la longitud de cresta de ola predominante de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo.

15 Esto maximiza la eficacia de la respuesta del primer pontón a las olas incidentes. En particular, cuando el pontón está dimensionado para que coincida con la longitud de cresta de ola, entonces no cabeceará en una dirección perpendicular a la dirección de desplazamiento de las olas. En su lugar, toda la longitud del pontón se mueve hacia arriba y hacia abajo con las olas en un movimiento de oscilación vertical de modo que se maximiza la energía disponible procedente de este modo de movimiento.

20 En un conjunto preferido de realizaciones, el segundo pontón tiene un área de superficie mayor que el área de superficie del primer pontón, y la dimensión del segundo pontón a lo largo de su eje que se sitúa transversalmente al eje alargado del primer pontón es mayor que la dimensión del primer pontón en la dirección transversal a su eje alargado. El segundo pontón comprende un cuerpo alargado y, preferentemente, el dispositivo se orienta cuando está en uso de tal manera que el eje alargado del segundo pontón sea transversal a las crestas de ola de las olas incidentes, en otras palabras, se alinea con la dirección de desplazamiento de las olas. Como resultado de la diferente orientación del segundo pontón con respecto a las olas en comparación con el primer pontón, el segundo pontón se posiciona óptimamente para capturar un modo de movimiento diferente respecto al primer pontón. Por ejemplo, mientras que el primer pontón oscila verticalmente en respuesta a las olas incidentes, el segundo pontón puede cabecear a lo largo de la dirección de desplazamiento de las olas. Uno o ambos del primer y/o segundo pontón también pueden moverse en un modo de movimiento lineal en dirección proa-popa.

25 Limitar las dimensiones de los pontones ayuda a minimizar la componente de reactancia (parte imaginaria) de la impedancia, y a maximizar la componente de resistencia (parte real) de la impedancia, del dispositivo cuando está en uso. Esto es ventajoso debido a que es la componente de resistencia a partir de la cual puede extraerse la energía undimotriz. Por lo tanto, las dimensiones y/o la orientación relativas de los pontones primero y segundo pueden seleccionarse o diseñarse, por ejemplo, basándose en pruebas empíricas, para lograr una respuesta resonante o casi resonante a las olas que se aproximan.

40 Se apreciará que el dispositivo puede orientarse de tal manera que las olas que se aproximan incidan en primer lugar o bien en el primer pontón o bien en el segundo pontón. La orientación del dispositivo con respecto a la dirección de la ola puede depender de cuán bien se sintonice el movimiento del segundo pontón con las olas en cuanto a si su periodo de resonancia natural coincide con la frecuencia de la ola incidente. Esto dependerá de la relación entre la masa y la (rigidez de) flotabilidad del pontón. Si el segundo pontón no se sintoniza de manera óptima, entonces contribuye a la absorción de energía en virtud de su inercia más que en virtud de su excitación. En este caso, el segundo pontón se comporta mejor como un cuerpo inercial y funciona mejor cuando está posicionado a popa del primer pontón en relación con la dirección de las olas que se aproximan. Sin embargo, se ha descubierto que en al menos un conjunto de realizaciones es preferible que el dispositivo se oriente cuando está en uso de tal manera que, en relación con la dirección de las olas que se aproximan, el segundo pontón esté a proa y el primer pontón esté a popa. En este caso, el segundo pontón puede sintonizarse de manera que su modo de movimiento esté en fase con las olas que se aproximan y tenga una frecuencia que coincida con la de las olas con el fin de lograr una excitación resonante de las olas que se aproximan. En tales realizaciones, el segundo pontón puede posicionarse óptimamente para hacer una gran contribución de potencia a partir de su modo de movimiento resonante.

55 En una modificación de las realizaciones de la invención expuestas directamente con anterioridad, la dimensión del dispositivo que es transversal al eje de las crestas de ola de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo es entre 0,5 y 1 veces la longitud de ola predominante de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo.

60 En otra modificación de las realizaciones de la invención expuestas directamente con anterioridad, la dimensión del dispositivo que es transversal al eje de las crestas de ola de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo es entre 0,6 y 1,1 veces la longitud de ola predominante de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo. En otras palabras, la dimensión del dispositivo que se alinea con la dirección de desplazamiento de las olas es preferentemente entre 0,6 y 1,1 veces la longitud de ola predominante en el sitio del dispositivo.

65 Esto permite minimizar aún más eficazmente la reactancia del dispositivo cuando está en uso. Como se ha

mencionado anteriormente, pueden usarse resultados de pruebas empíricas para seleccionar la dimensión del dispositivo en función de la longitud de ola que optimizará la componente de resistencia de la impedancia mecánica y, por lo tanto, la potencia disponible.

5 Los pontones primero y segundo pueden comprender unos cuerpos flotantes que tengan cualquier forma apropiada. La forma y las dimensiones relativas de los pontones en función de su área de superficie en el plano x-y se han descrito anteriormente. Observando los pontones en sección transversal en el plano z, en perpendicular a la superficie del agua, pueden tener una forma generalmente cuadrada, rectangular u oblonga. Sin embargo, es preferible, al menos en algunas realizaciones, que el primer y/o segundo pontón tenga una sección transversal circular. Se ha descubierto que esto minimiza las pérdidas por arrastre del (de los) pontón(es) mientras está(n) en movimiento. Como se ha descrito anteriormente, en al menos algunas realizaciones, el primer pontón puede ser un cuerpo alargado y, por lo tanto, puede ser preferible que el primer pontón sea sustancialmente cilíndrico. Además, ajustando el diámetro, la masa, el lastre y el francobordo de cada pontón, puede ser posible hacer coincidir la respuesta de frecuencia del dispositivo de tal manera que oscile en un modo resonante, lo cual es crítico para una captura eficiente de energía. A diferencia de las secciones rectangulares, las secciones cilíndricas permiten relaciones óptimas entre la masa corporal y la rigidez de flotabilidad del (de los) pontón(es).

20 En un conjunto preferido de realizaciones, el dispositivo comprende además un tanque para contener fluido, que está adaptado para ajustar las características de movimiento del uno o más modos de movimiento en los que los pontones están configurados para funcionar.

Esto también ayuda a reducir la reactancia del dispositivo cuando está en uso. En particular, el movimiento del fluido en el tanque puede sintonizarse para optimizar el (los) modo(s) de movimiento del (de los) pontón(es) y lograr de este modo un estado resonante.

25 En una modificación del conjunto de realizaciones expuestas directamente con anterioridad, el tanque comprende una cavidad estanca a fluidos integrada en el segundo pontón.

30 En un conjunto de realizaciones, el medio de unión comprende, preferentemente, un brazo motriz configurado para tener un único grado de libertad de movimiento. El medio de unión puede comprender una articulación motriz dispuesta para permitir un movimiento pivotante relativo entre los pontones primero y segundo, por ejemplo, un brazo motriz puede conectarse de manera pivotante al segundo pontón y conectarse de manera fija al primer pontón. Por lo tanto, se comprenderá que el medio de unión puede configurarse de tal manera que, cuando el primer pontón se mueve en un modo de movimiento (por ejemplo, oscilando verticalmente hacia arriba y hacia abajo), la articulación motriz puede aplicar un momento de giro al segundo pontón que está preferentemente en fase con su modo de movimiento diferente (por ejemplo, el cabeceo) con el fin de aumentar la energía extraída a partir de este modo de movimiento. El movimiento del primer pontón puede actuar para bloquear el segundo pontón en su modo de movimiento diferente, aumentando de este modo la energía lograda a partir de los dos modos de movimiento diferentes.

40 En otro conjunto de realizaciones, el primer pontón está configurado, preferentemente, para funcionar en un tercer modo de movimiento diferente de su primer modo de movimiento y el segundo pontón está configurado, preferentemente, para funcionar en el mismo tercer modo de movimiento además de en su segundo modo de movimiento. Por ejemplo, ambos pontones primero y segundo pueden experimentar un movimiento lineal en dirección proa-popa adicional. Con el fin de poder extraer energía del tercer modo de movimiento adicional, el medio de unión está configurado, preferentemente, para tener dos grados diferentes de libertad de movimiento, en contraposición a un solo grado de libertad como se ha indicado anteriormente. El medio de unión puede comprender una articulación motriz dispuesta para permitir movimientos pivotantes y horizontales relativos entre los pontones primero y segundo. Por ejemplo, la articulación motriz puede comprender un par de brazos motrices paralelos conectados de manera pivotante entre sí y a los pontones primero y/o segundo. Una articulación motriz con dos grados de libertad es capaz de convertir el movimiento relativo de los pontones en una fuente de energía adicional, por ejemplo, recogiendo también energía de un modo de movimiento lineal en dirección proa-popa.

55 En un conjunto preferido de realizaciones, el dispositivo comprende además un mecanismo de salida de energía para convertir el movimiento relativo del primer pontón respecto al segundo pontón en la forma deseada de energía, en el que el mecanismo de salida de energía está conectado al medio de unión. El mecanismo de salida de energía está dispuesto, preferentemente, para capturar energía a partir del movimiento relativo entre los al menos dos modos diferentes de movimiento, extrayendo de este modo la energía a partir de múltiples modos en comparación con los convertidores de energía undimotriz convencionales. El mecanismo de salida de energía puede tener la forma de cualquier dispositivo de toma de fuerza adecuado, tal como un actuador hidráulico, un generador lineal eléctrico o una bomba de fluido.

60 En una modificación del conjunto de realizaciones expuestas directamente con anterioridad, el dispositivo comprende además:

65 un sensor configurado para detectar el grado de movimiento, velocidad y/o aceleración del primer pontón; y

un actuador configurado para ajustar la línea de acción entre el mecanismo de salida de energía y el medio de unión en respuesta a una señal generada por el sensor como resultado de la detección, de tal manera que la línea de acción proporcione una fuerza constante y uniforme al mecanismo de salida de energía.

5 Esto garantiza que el dispositivo mantenga una resistencia óptima cuando está en uso y también garantiza una entrada de fuerza o presión constante y uniforme al mecanismo de salida de energía. Un sistema de este tipo puede proporcionar un ajuste dinámico de la resistencia mecánica de manera que, aunque se extraigan cantidades variables de energía de las olas en diferentes momentos en el tiempo, haya una entrada de fuerza o presión uniforme al mecanismo de salida de energía. Esto puede ser especialmente beneficioso si el mecanismo de salida  
10 de energía comprende una bomba de fluido, como se describirá con más detalle a continuación.

En una modificación del conjunto de realizaciones expuestas directamente con anterioridad, en un sistema a modo de ejemplo, el sensor comprende un árbol unido de manera móvil al primer pontón de tal manera que cuando el dispositivo se sitúa en una masa de agua, el eje alargado del árbol es sustancialmente perpendicular a la superficie  
15 del agua, y el sensor es libre de moverse a lo largo de su eje alargado en relación con el primer pontón; en el que un primer extremo del árbol está sumergido y un segundo extremo del árbol se sitúa por encima de la superficie del agua, estando el primer extremo unido a una placa, estando configurada la placa para experimentar fuerzas de arrastre en el agua de tal manera que el movimiento del primer pontón no se traduce en un movimiento correspondiente del sensor, provocando de este modo un movimiento del sensor en relación con el primer pontón, y  
20 estando el segundo extremo asociado con un controlador, estando configurado el controlador para generar la señal para el actuador cuando el sensor se mueve en relación con el primer pontón.

En una modificación alternativa, el sensor está configurado para detectar el grado de movimiento, velocidad y/o aceleración del primer pontón en relación con el segundo pontón, y comprende un codificador rotatorio situado en el punto de unión entre el medio de unión y el segundo pontón, o un transductor lineal situado en o adyacente al  
25 mecanismo de salida de energía.

En un conjunto de realizaciones, el actuador comprende una válvula proporcional accionada por solenoide.

30 Aunque el mecanismo de salida de energía puede tener la forma de un actuador hidráulico o un generador lineal eléctrico, como se ha mencionado anteriormente, tales dispositivos pueden no ser idóneamente adecuados para el entorno marino y, por lo tanto, puede ser preferible que el mecanismo de salida de energía comprenda una bomba de fluido, preferentemente una bomba de agua de mar.

35 En un conjunto preferido de realizaciones, el mecanismo de salida de energía comprende una bomba, comprendiendo dicha bomba:

una primera y una segunda entrada de fluido para interactuar con la masa de agua;  
un par de válvulas de retención de aspiración, estando cada válvula de retención de aspiración situada dentro de  
40 una de las entradas de fluido, respectivamente, para permitir el flujo de fluido unidireccional a través de cada una de dichas entradas de fluido;  
una primera y una segunda salida de fluido en comunicación de fluidos con un único colector de salida de fluido común;  
un par de cámaras de bomba de igual volumen situadas adyacentes entre sí, estando cada cámara en  
45 comunicación de fluidos con una de las entradas de fluido y una de las salidas de fluido, y teniendo cada cámara además una abertura dispuesta de tal manera que las dos aberturas están alineadas;  
un bloque de émbolo situado parcialmente en ambas cámaras de bomba, de tal manera que sobresale a través de ambas aberturas lo suficiente para formar una junta estanca con las aberturas y que puede moverse entre  
50 ambas cámaras de bomba;

en el que el movimiento en una dirección que aumenta la parte del bloque de émbolo situada en una cámara de bomba provoca una disminución correspondiente en la parte del bloque de émbolo situada en la otra cámara de bomba;

y adaptada de tal manera que, cuando está en uso, la bomba proporciona un único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido.

55 Se comprenderá que en tales realizaciones se usa un bloque de émbolo de doble efecto para bombear fluido tanto a través de las entradas de fluido primera y segunda como de las salidas de fluido primera y segunda, durante las carreras de avance y de retroceso respectivas, de tal manera que la toma de fuerza se maximiza mientras se proporciona un único flujo de salida unidireccional. El flujo de salida uniforme puede usarse para alimentar varios sistemas subsiguientes, algunos ejemplos de los cuales se describen a continuación.

60 En un conjunto de realizaciones, la bomba comprende además un par de válvulas de retención de suministro, cada una situada dentro de una de las salidas de fluido, respectivamente, para permitir un flujo de fluido unidireccional desde cada una de las cámaras de bomba y a través de cada una de las salidas de fluido hacia el colector de salida de fluido. Esto puede garantizar que no haya flujo de retorno en el sistema.

En un conjunto de realizaciones adicional, la bomba comprende además un par de cámaras de vacío para contener un vacío parcial, estando cada cámara de vacío en comunicación de fluidos con una de las entradas de fluido, respectivamente, de tal manera que, cuando está en uso, el movimiento del bloque de émbolo en una primera dirección arrastra una primera columna de entrada de fluido a lo largo de la primera entrada de fluido, y un movimiento de retorno subsiguiente del bloque de émbolo en la dirección opuesta arrastra una segunda columna de entrada de fluido a lo largo de la segunda entrada de fluido, y en el que la cámara de vacío en comunicación de fluidos con la primera entrada de fluido evita que la primera columna de entrada de fluido vuelva a retroceder en la dirección opuesta a lo largo de la primera entrada de fluido cuando no está siendo arrastrada por el bloque de émbolo y en el que la cámara de vacío en comunicación de fluidos con la segunda entrada de fluido evita que la segunda columna de entrada de fluido vuelva a retroceder en la dirección opuesta a lo largo de la segunda entrada de fluido cuando no está siendo arrastrada por el bloque de émbolo. Ventajosamente, el par de cámaras de vacío pueden sintonizarse de tal manera que las columnas de fluido en las entradas de fluido primera y segunda oscilen de manera sincronizada con las carreras del bloque de émbolo, aumentando de este modo la eficiencia de la bomba.

En un conjunto adicional de realizaciones, la bomba comprende además un par de cámaras de acumulador presurizadas, estando cada cámara de acumulador en comunicación de fluidos con una de las salidas de fluido, respectivamente, de tal manera que, cuando está en uso, el movimiento del bloque de émbolo en una primera dirección impulsa una primera columna de salida de fluido a lo largo de la primera salida de fluido y un movimiento de retorno subsiguiente del bloque de émbolo en la dirección opuesta impulsa una segunda columna de salida de fluido a lo largo de la segunda salida de fluido, y en el que la cámara de acumulador en comunicación de fluidos con la primera salida de fluido evita que la primera columna de salida de fluido vuelva a retroceder en la dirección opuesta a lo largo de la primera salida de fluido cuando no está siendo impulsada por el bloque de émbolo y en el que la cámara de acumulador en comunicación de fluidos con la segunda salida de fluidos evita que la segunda columna de salida de fluido vuelva a retroceder en la dirección opuesta a lo largo de la segunda salida de fluido cuando no está siendo impulsada por el bloque de émbolo.

En un conjunto alternativo de realizaciones, la bomba comprende además una cámara de acumulador presurizada en comunicación de fluidos con ambas salidas de fluido primera y segunda, de tal manera que, cuando está en uso, el movimiento del bloque de émbolo en una primera dirección impulsa una primera columna de salida de fluido a lo largo de la primera salida de fluido, y un movimiento de retorno subsiguiente del bloque de émbolo en la dirección opuesta impulsa una segunda columna de salida de fluido a lo largo de la segunda salida de fluido, y en el que la cámara de acumulador en comunicación de fluidos con las salidas de fluido primera y segunda evita que la primera columna de salida de fluido vuelva a retroceder en la dirección opuesta a lo largo de la primera salida de fluido cuando no está siendo impulsada por el bloque de émbolo y evita que la segunda columna de salida de fluido vuelva a retroceder en la dirección opuesta a lo largo de la segunda salida de fluido cuando no está siendo impulsada por el bloque de émbolo.

De acuerdo con cualquiera de los conjuntos de realizaciones expuestas directamente con anterioridad, se proporciona una salida de flujo suave como resultado de la(s) cámara(s) de acumulador presurizada(s). El o cada acumulador de presión puede ser un acumulador de gas a agua, pero no está limitado a tal diseño.

En un conjunto de realizaciones, el bloque de émbolo se recubre con un recubrimiento de plasma. Dicho recubrimiento es ventajoso debido a que puede dar como resultado pérdidas de fricción muy bajas debido al movimiento del bloque de émbolo, así como proporcionar resistencia a la corrosión y la erosión por los efectos del agua de mar como el fluido de la bomba. De este modo se mejora la eficiencia y la durabilidad de la bomba como sistema de toma de fuerza.

A continuación se describirán algunos usos posibles para el flujo de salida de fluido de la bomba por medio de unas realizaciones a modo de ejemplo. Sin embargo, se apreciará que la bomba puede proporcionar un sistema de toma de fuerza adecuado para su uso con muchos conversores de energía undimotriz diferentes.

En un conjunto de realizaciones, cuando el dispositivo está en uso, el único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido se usa para accionar una rueda Pelton para generar electricidad. Al alimentar directamente una rueda Pelton con el flujo de salida de fluido puede lograrse una alta eficiencia para la conversión en energía eléctrica.

En otro conjunto de realizaciones, cuando el dispositivo está en uso, el único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido se usa para suministrar fluido a un depósito para su uso posterior en la generación de electricidad hidroeléctrica.

En un conjunto de realizaciones, cuando el dispositivo está en uso, el único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido se usa en un sistema de ósmosis inversa para la desalinización de agua.

Una bomba de agua de mar como se ha descrito directamente con anterioridad puede proporcionar varias ventajas con respecto a un sistema de toma de fuerza hidráulico, por ejemplo, debido a que puede ser más robusta y estar mejor diseñada para un entorno marino. Al usar agua de mar como el fluido de bomba, pueden eliminarse los

riesgos medioambientales asociados con la fuga de fluido hidráulico.

Una bomba de este tipo puede considerarse novedosa e innovadora por derecho propio y, por lo tanto, cuando se ve desde otro aspecto, la invención comprende una bomba adecuada para bombear agua de mar en bruto, que comprende:

una primera y una segunda entrada de fluido para interactuar con la masa de agua;  
 un par de válvulas de retención de aspiración, estando cada válvula de retención de aspiración situada dentro de una de las entradas de fluido, respectivamente, para permitir un flujo de fluido unidireccional a través de cada una de dichas entradas de fluido;  
 una primera y una segunda salida de fluido en comunicación de fluidos con un único colector de salida de fluido común;  
 un par de cámaras de bomba de igual volumen situadas adyacentes entre sí, estando cada cámara en comunicación de fluidos con una de las entradas de fluido y una de las salidas de fluido, y teniendo cada cámara además una abertura dispuesta de tal manera que las dos aberturas están alineadas;  
 un bloque de émbolo situado parcialmente en ambas cámaras de bomba, de tal manera que sobresale a través de ambas aberturas lo suficiente para formar una junta estanca con las aberturas y que puede moverse entre ambas cámaras de bomba;

en el que el movimiento en una dirección que aumenta la parte del bloque de émbolo situada en una cámara de bomba provoca una disminución correspondiente en la parte del bloque de émbolo situada en la otra cámara de bomba;  
 y adaptada de tal manera que, cuando está en uso, la bomba proporciona un único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido.

Las ventajas de una bomba de este tipo ya se han comentado anteriormente en el presente documento.

En un conjunto de realizaciones, se prefiere que, cuando la bomba está en uso, el único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido se use en la perforación por inyección en pozos profundos.

A continuación se describirán algunas realizaciones de la invención, solo a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es una vista en perspectiva de un convertor de energía undimotriz de acuerdo con una primera realización de la presente invención;  
 las figuras 2a-b son vistas laterales en sección transversal del convertor de energía undimotriz de la figura 1, que muestran los movimientos antagónicos de oscilación vertical del pontón delantero y de cabeceo del pontón trasero a medida que el dispositivo enfrenta picos y valles de ola;  
 la figura 3 es un diagrama esquemático que ilustra el movimiento de partículas orbital en olas que se propagan desde un mar en calma;  
 las figuras 4a-d son vistas laterales en sección transversal de una segunda realización de un convertor de energía undimotriz, que muestra los pontones delantero y trasero configurados para responder a fuerzas lineales en dirección proa-popa, así como de cabeceo y de oscilación vertical;  
 la figura 5 es una vista lateral en sección transversal del convertor de energía undimotriz de las figuras 1 y 2, que ilustra el tanque de control de movimiento;  
 las figuras 6a-c son vistas laterales en sección transversal de un sistema de toma de fuerza dinámicamente ajustable de acuerdo con una realización de la presente invención;  
 la figura 7 es una vista en perspectiva de un convertor de energía undimotriz de acuerdo con una realización adicional de la presente invención;  
 la figura 8 muestra las curvas de potencia de olaje irregular para un convertor de energía undimotriz de tipo "cabeza de martillo" de acuerdo con realizaciones de la invención en comparación con un dispositivo Pelamis;  
 la figura 9 es una vista lateral en sección transversal de una bomba de acuerdo con una realización de la presente invención;  
 las figuras 10a y 10b son una serie de vistas laterales en sección transversal de la bomba de la figura 9 que representan la trayectoria de flujo de líquido cuando la bomba está en uso;  
 las figuras 11a y 11b son vistas laterales en sección transversal de la cámara de vacío y una pata de aspiración de la bomba, que representan la trayectoria de flujo del fluido hacia y desde la cámara de vacío cuando se está usando la bomba; y  
 las figuras 12a y 12b son vistas laterales en sección transversal del acumulador hidráulico y una pata de aspiración de la bomba, que representan la trayectoria de flujo del fluido hacia y desde el acumulador cuando se está usando la bomba.

La figura 1 ilustra una realización preferida del convertor de energía undimotriz de la presente invención adecuado para su utilización en alta mar. El convertor de energía undimotriz 101 (en lo sucesivo en el presente documento denominado WEC) está compuesto por al menos un pontón delantero 102 y un pontón trasero 103. En algunas realizaciones, el pontón trasero 103 puede comprender un pontón central 104 fijado de forma inamovible a al menos



un pontón estabilizador 106. El pontón delantero 102 está unido de manera pivotante al pontón trasero 103 por medio de un brazo motriz 105. El brazo motriz 105 está unido al pontón trasero en los puntos 111 y al pontón delantero en el punto 112. El brazo motriz 105 forma parte de un sistema de toma de fuerza (PTO), como se describirá en más detalle a continuación.

El pontón delantero 102 es, preferentemente, largo y delgado en dimensiones, de tal manera que su eje alargado puede alinearse, cuando está en uso, en paralelo a la cresta de las olas que se aproximan (cuya orientación coincide con el eje X de la figura 1), y en perpendicular a la dirección de las olas de propagación (cuya dirección coincide con el eje Y de la figura 1). Tal alineación maximiza el grado en que el pontón delantero 102 se acopla con las olas. Se apreciará que pueden usarse pontones delanteros de dimensiones variables en función de las características predominantes de las olas en un sitio dado. En particular, la anchura 109 del pontón delantero a lo largo de su eje alargado puede variarse con el fin de proporcionar la anchura integral óptima correspondiente a la longitud de cresta de ola predominante en un entorno dado. Se apreciará que para los sitios donde las condiciones predominantes se caracterizan por olas de cresta corta, la anchura 109 del pontón delantero puede estrecharse de manera correspondiente, mientras que para los sitios donde las condiciones predominantes se caracterizan por olas de cresta más larga, la anchura 109 del pontón delantero puede ensancharse adecuadamente. Además, se entenderá que para los sitios donde la longitud de cresta de ola predominante es especialmente larga, las limitaciones de ingeniería y económicas pueden impedir la implementación de un único dispositivo de tamaño correspondiente y, en su lugar, pueden utilizarse múltiples dispositivos de menor tamaño uno al lado de otro.

El pontón delantero 102, y la conexión del brazo motriz 105, se diseñan de manera que, cuando está en uso, la posición absoluta del pontón delantero 102 puede cambiar principalmente a lo largo de su eje Z a medida que responde a las olas que se aproximan, subiendo y bajando sobre las crestas y los valles de las olas, respectivamente. Se trata de un modo de movimiento conocido habitualmente como oscilación vertical. Puede verse que el brazo motriz 105 es fijo con respecto al pontón delantero 102 pero está conectado de manera pivotante al pontón trasero 103, de manera que a medida que el pontón delantero 102 oscila verticalmente hacia arriba y hacia abajo, el pontón trasero 103 tiene la libertad de moverse con un modo diferente de movimiento, en concreto cabeceo.

El pontón trasero 103 puede comprender un único pontón sólido, o un pontón central 104 con uno o más pontones estabilizadores fijos 106. El pontón trasero 103 también puede comprender un tanque hueco, como se describe a continuación. Preferentemente, las dimensiones del pontón trasero 103 son tales que, cuando está en uso, se mantiene en un punto relativamente estático sobre sus ejes, con picos y valles de olas haciendo que el pontón trasero 103 rote principalmente alrededor de su eje X, como se ilustra mediante las flechas 107. Este movimiento se conoce como cabeceo. Para permitir esto, la longitud del pontón trasero 103 (la dimensión del pontón que es perpendicular a la cresta de ola cuando está en uso) puede ser sustancialmente mayor que la longitud correspondiente del pontón delantero 102.

Mediante el ajuste de las dimensiones y las características físicas de los componentes del WEC y sus posiciones unos con respecto a otros, la respuesta global del WEC a las olas, cuando está en uso, puede ser tal que se aproxime a la frecuencia de pico del régimen de ola incidente en ese sitio, provocando de este modo una respuesta resonante que es el estado más deseable para capturar la energía de las olas. Por lo tanto, el WEC puede "sintonizarse" con la frecuencia predominante del movimiento de las olas al que se somete durante el uso. En consecuencia, las dimensiones preferidas del WEC pueden considerarse como específicas del sitio. Además de la variación en la anchura del pontón delantero que se ha descrito anteriormente, la longitud total 108 del WEC (la dimensión total del dispositivo en la dirección perpendicular a la cresta de ola cuando está en uso) también puede venir dictada por las características de oleaje predominantes de un sitio específico. La longitud de ola predominante ( $\lambda$ ) en un sitio dado es un factor determinante especialmente significativo en este sentido. La longitud total del WEC será, preferentemente, de entre  $0,5 \lambda$  y  $\lambda$ , o entre  $0,6 \lambda$  y  $1,1 \lambda$ . El impacto de esto es que cuando los regímenes de oleaje son de menor densidad de energía, el coste de capital del dispositivo se reduce automáticamente y, por lo tanto, todavía puede ser capaz de extraer la energía de manera rentable. Al seleccionar la longitud total del dispositivo, tal como la posición del primer pontón y/o el pontón de popa, la respuesta general del WEC a la frecuencia (o período) de ola incidente puede mejorarse en gran medida, lo que da como resultado una mejor captura de energía.

Debido a que el pontón delantero 102 responde a las olas principalmente por oscilación vertical, mientras que el pontón trasero 103 puede responder principalmente por cabeceo, la extracción de energía undimotriz por el WEC se realiza por medio de los movimientos de oscilación vertical y de cabeceo combinados de los pontones, es decir, dos modos diferentes de movimiento. Cuando las dimensiones del WEC están configuradas apropiadamente para las características de oleaje predominantes en un sitio, estos dos movimientos trabajarán antagónicamente, aprovechando más energía y dando lugar a una máquina de energía undimotriz eficiente. Esta eficiencia puede aumentarse complementando esta disposición con un sistema de toma de fuerza (PTO) conectado al brazo motriz 105 que comprenda los componentes adecuados para su uso en este contexto, tal como la bomba de agua de mar en bruto de una sola etapa, de movimiento alternativo y de alta presión, que se describe a continuación.

A continuación se describirá una primera realización del WEC y un PTO complementario cuando están en uso. La

figura 2a ilustra la primera etapa de este proceso, en la que una ola de longitud de ola 201 apropiada interactúa con el dispositivo 200. Una cresta de ola 209 en el pontón delantero 202 y otra cresta de ola 211 en la parte estabilizadora trasera 206 del pontón trasero 203 hacen que estas dos partes se eleven en relación con la parte central del pontón trasero 204, que se encuentra sobre un valle de ola 212 entre las crestas 209, 211. Esto conduce a una carrera de popa 213 de la bomba 207 a través de la biela 208. La elevación del pontón delantero 202 puede verse principalmente como un movimiento de oscilación vertical como se ilustra mediante la flecha 214. La inclinación del pontón trasero 203 puede considerarse principalmente como un movimiento de cabeceo como se ilustra mediante la flecha 215.

La figura 2b ilustra lo que sucede a medida que la cresta de ola 209 sigue propagándose. La parte central 204 del pontón trasero 203 se eleva mientras que el pontón delantero 202 y la parte estabilizadora trasera 206 del pontón trasero 203 caen hacia los valles de ola 212, 217, respectivamente. Esto conduce a una carrera de avance 216 de la bomba 207 a través de la biela 208. La parte estabilizadora 206 actúa como una palanca para aumentar el movimiento de la parte central 204 del pontón trasero 203. Se cree que el pontón delantero 202 ayuda a estabilizar el pontón trasero 203 de manera que este último se bloquea en un modo de movimiento de cabeceo y es capaz de lograr mejor una frecuencia resonante.

Como puede verse en las figuras 2a y 2b, el movimiento de los dos pontones 202, 203 uno con respecto a otro en los dos modos diferentes de movimiento se convierte, preferentemente, en un momento de giro, que puede usarse para accionar un sistema de toma de fuerza 207, situado preferentemente en el pontón trasero 203, cuyo funcionamiento se comentará a continuación. Al tener dos cuerpos conectados diseñados para funcionar en diferentes modos de movimiento y en diferentes fases, por ejemplo, uno principalmente en un modo de oscilación vertical y el otro principalmente en un modo de cabeceo, es posible una captura de energía undimotriz más eficiente. Como se ha expuesto anteriormente, se ha demostrado que no es posible capturar más de un 50 % de la energía undimotriz si se usa un único modo de movimiento. El presente dispositivo aprovecha más de un modo de movimiento y así es teóricamente posible hasta un 100 % de captura. Esto se debe a que ambos cuerpos capturan energía de las olas y pueden diseñarse de tal manera que los movimientos estén fuera de fase y sean de modos diferentes.

Debido a la naturaleza orbital del movimiento de las partículas de agua en oleajes oceánicos de aguas profundas, sinusoidales, hay una componente horizontal (o "lineal en dirección proa-popa") de potencia, equivalente en magnitud a la componente vertical ya comentada. La figura 3 ilustra la dirección del movimiento de partículas a través de las diversas etapas del ciclo de ola, cuando las olas comienzan a propagarse. Cualquier cuerpo flotante con suficiente área no fuselada para interactuar con esta componente lineal en dirección proa-popa se trasladará con respecto a una referencia fija. Por lo tanto, se apreciará que también podrían aprovecharse otros movimientos por el dispositivo con el fin de proporcionar un sistema de conversión de energía undimotriz eficiente. Aunque la realización de la invención tal como se describe en la figura 2 aprovecha indirectamente el modo de movimiento lineal en dirección proa-popa además de depender de los movimientos de cabeceo y de oscilación vertical, otras realizaciones de la invención pueden utilizar más directamente este movimiento. Por ejemplo, el pontón trasero puede configurarse para responder principalmente mediante el movimiento lineal en dirección proa-popa, o mediante una combinación de cabeceo y movimiento lineal en dirección proa-popa, y el pontón delantero podría diseñarse igualmente para ser sensible a los movimientos lineales en dirección proa-popa. Además, el pontón trasero 203 visto en la figura 2 puede responder mediante oscilación vertical además de o en lugar de los modos de movimiento de cabeceo y/o lineal en dirección proa-popa.

A continuación, en relación con las figuras 4a-d, se comentará una realización alternativa de la invención, que se dirige más directamente al modo de movimiento lineal en dirección proa-popa, además del cabeceo y la oscilación vertical. Como en el caso de la realización expuesta con referencia a la figura 2, la configuración de esta realización se basará en regímenes de batimetría y oleaje locales. Además, será más eficaz en regímenes de oleaje oceánico profundo sinusoidal, donde la forma orbital es verdaderamente circular. Para facilitar la referencia, los sistemas de toma de fuerza utilizados en este contexto se han omitido del diagrama.

Para dirigirse directamente al modo lineal en dirección proa-popa, debe tenerse en cuenta un segundo grado de libertad en la articulación entre el pontón delantero 402 y el pontón trasero 403. Específicamente, se requiere una traslación horizontal para permitir que el pontón delantero 402 y el pontón trasero 403 se acerquen y se alejen uno de otro. Esta articulación puede adoptar la forma de articulaciones paralelas 420 o, como alternativa, un carro de rodadura (no mostrado). En caso de que se proporcionen articulaciones paralelas, puede contarse con dos sistemas de toma de fuerza separados, uno para cada uno de los dos componentes de articulación. Puesto que no hay un resorte natural en el modo lineal en dirección proa-popa, tal como el proporcionado a través de la fuerza de flotación en la oscilación vertical, debe proporcionarse una fuerza de restablecimiento mecánica. Este mecanismo de resorte puede adoptar la forma de un resorte mecánico, acumuladores hidrostáticos o una masa inercial pendular.

La figura 4a representa esta realización del dispositivo WEC cuando el pontón delantero 402 cae hacia un valle de ola 430 y está funcionando principalmente, por lo tanto, en el modo de oscilación vertical, como se ilustra mediante la flecha 421. Al mismo tiempo, la parte central 404 del pontón trasero 403 se encuentra sobre una cresta de ola 431, mientras que la parte estabilizadora 406 también está en un valle de ola 432. Esto hace que el pontón trasero

403 cabecee, y el cabeceo y la oscilación vertical relativos se convierten en una fuerza 440 en el primer PTO conectado a la primera parte de articulación 441.

La figura 4b representa la etapa siguiente en el ciclo donde las fuerzas lineales en dirección proa-popa horizontales del movimiento orbital ejercido sobre el pontón delantero 402 y la parte central 404 del pontón trasero se oponen directamente. Esto se produce cuando el pontón delantero ha pasado por el valle de ola 430, y cuando la parte central 404 del pontón trasero 403 ha pasado por la cresta de ola 431. En este punto, las fuerzas lineales en dirección proa-popa 451 que actúan sobre el pontón delantero 402 lo conducen en la dirección opuesta a las fuerzas lineales en dirección proa-popa 452 que actúan sobre la parte central 404 del pontón trasero, y este movimiento se convierte en una fuerza 443 en el segundo PTO conectado a la segunda parte de articulación 442.

La figura 4c ilustra la etapa de movimiento orbital opuesto al ilustrado en la figura 4a, por lo que los componentes del WEC están en la posición opuesta a su posición en la figura 4a. El pontón delantero experimenta principalmente, una vez más, una oscilación vertical a medida que se eleva sobre la cresta de ola 433, mientras que el pontón trasero 403 cabecea en la dirección opuesta a la establecida en la figura 4a, debido al hecho de que es ahora la parte central 404 del pontón trasero la que está en el valle de ola 430, mientras que la parte estabilizadora 431 está en la cresta de ola 431. Esta acción se convierte en fuerza 444 en el primer PTO conectado a la primera parte de articulación 441. Esta fuerza se produce en la dirección opuesta a la fuerza 440 representada en la figura 4a.

La figura 4d ilustra la etapa final en una única iteración del ciclo de movimiento orbital. En la figura 4d, las fuerzas lineales en dirección proa-popa son una vez más la fuerza primaria que se aprovecha por el dispositivo. Los movimientos de los pontones delantero y trasero en este punto son los opuestos a los establecidos en la figura 4b, y dan como resultado una fuerza 445 que se ejerce sobre el segundo PTO conectado a la segunda parte de articulación 442. La fuerza 445 se produce en la dirección opuesta a la fuerza 442 representada en la figura 4b.

Como es evidente a partir de las figuras 4a-d, la traslación horizontal relativa óptima se produce a medida que el pontón delantero 402 se eleva sobre la cresta de una ola y la parte central 404 del pontón trasero 403 está en un valle (y viceversa). Las componentes horizontales del movimiento orbital en este punto del ciclo de ola se oponen directamente. La forma de la parte estabilizadora 406 del pontón trasero 403 debe optimizarse en esta configuración con el fin de no afectar a la tendencia del pontón trasero de oponerse al pontón delantero. Por lo tanto, la parte estabilizadora 406 mantiene su función como palanca en la oscilación vertical, pero juega un papel menos significativo en el movimiento lineal en dirección proa-popa. En tales realizaciones, la energía puede extraerse del modo de movimiento lineal en dirección proa-popa, así como de la oscilación vertical y el cabeceo relativos, aumentando de este modo el número de contribuciones a la respuesta de potencia del dispositivo.

Con el fin de garantizar que un dispositivo WEC absorba la máxima cantidad de energía undimotriz, el sistema debe tener una impedancia mecánica tal que muestre una respuesta resonante o casi resonante a las olas que se aproximan. Esta impedancia mecánica está compuesta por dos componentes, la reactancia y la resistencia. Al minimizar la componente de reactancia, puede optimizarse la componente de resistencia de la impedancia mecánica del sistema. Además, la resistencia mecánica del sistema también puede optimizarse de manera independiente. Esto es deseable debido a que es de la componente de resistencia de la que puede extraerse la energía undimotriz.

La componente de reactancia de la impedancia mecánica del WEC puede minimizarse de dos maneras. En primer lugar, como se ha descrito anteriormente, las dimensiones del WEC pueden ajustarse de tal manera que, cuando está en uso, su respuesta a las olas incidentes se aproxime a la frecuencia pico del régimen de oleaje incidente en ese sitio.

En segundo lugar, y como se muestra en la figura 5, el pontón trasero 503 puede comprender, preferentemente, un tanque de control de movimiento 501. Este tanque está compuesto por una cavidad estanca dentro del pontón trasero 503. Cuando el WEC está en uso, el tanque, que puede alojar volúmenes variables de líquido 502, puede permitir una respuesta de sintonía más rápida al régimen de oleaje incidente. Las dimensiones del tanque y el nivel de agua óptimo en el tanque son críticos para la respuesta del sistema. Se apreciará que la parte estabilizadora 506 del pontón trasero 503 puede separarse de la parte central 504 y una o ambas de las partes central y estabilizadora 504, 506 pueden comprender un tanque de líquido para proporcionar control de movimiento.

El tanque de control de movimiento permite la transferencia controlada del líquido 502 a lo largo de la longitud del pontón trasero 503 y permite un control variable en el tiempo de las características de cabeceo del pontón trasero en su conjunto. Al sintonizar el movimiento del líquido 502 en el tanque 501, parte del movimiento de cabeceo y/o lineal en dirección proa-popa del pontón trasero puede convertirse en una entrada resistiva inercial al movimiento de oscilación vertical del pontón delantero. El tanque de control de movimiento también puede usarse para ampliar el ancho de banda de la respuesta de absorción de potencia del dispositivo, minimizando de este modo la reactancia en una gama más amplia de estados de la mar.

El tanque de control de movimiento debe optimizarse en cuanto a tamaño y posición cuando se usa la configuración de modo lineal en dirección proa-popa de las figuras 4a-d con el fin de sincronizar la entrada inercial de la ola estacionaria para que coincida con la posición de modo de oscilación vertical correcta, pero sin perjudicar al modo

lineal en dirección proa-popa.

La resistencia mecánica del sistema puede optimizarse de manera independiente mediante la utilización de un sistema PTO adecuado para tal contexto. Se optimiza continuamente la resistencia mecánica del WEC por medio de un componente de optimización de resistencia mecánico denominado en lo sucesivo en el presente documento sistema de momento variable de presión constante, o CPVM. El PTO que se describe en el presente documento también realiza otra función distinta pero complementaria. Transmite eficazmente la energía convertida en una forma utilizable por medio de una bomba hidráulica de movimiento alternativo de una sola etapa y de alta presión.

Cuando el WEC está en uso, el CPVM monitoriza constantemente el régimen de oleaje existente y ajusta la respuesta del dispositivo a ese régimen de oleaje. Esto garantiza la optimización dinámica de la resistencia mecánica en el WEC y también garantiza que aunque se extraigan cantidades variables de energía de una ola en diferentes puntos a lo largo de su período, se suministra a la bomba una fuerza de entrada constante y uniforme, lo que da como resultado una presión constante y uniforme en la salida de bomba.

Las figuras 6a-c representan una realización del CPVM en uso. Este sistema CPVM mecánico 601 comprende una placa de arrastre 612 fijada en un extremo de un árbol de levas CPVM 613. Como puede observarse, el árbol de levas 613 está unido de manera móvil al pontón delantero 602, de tal manera que, cuando el WEC está en uso, el eje alargado del árbol de levas es sustancialmente perpendicular a la superficie del mar, moviéndose el árbol de levas libremente con respecto al pontón delantero 602 a lo largo de su eje alargado. Una placa de levas 614 está unida al árbol de levas 613 en el extremo opuesto a la placa de arrastre 612. La placa de levas 614 cuenta con una superficie de control irregular que está configurada para interactuar con una válvula de control 615, de tal manera que el movimiento del árbol de levas 613 en relación con la posición del pontón delantero 602 también mueve la placa de levas 614 en relación con la válvula de control 615. Esto da como resultado que la superficie de control irregular de la placa de levas 614 ejerza un grado variable de influencia sobre la válvula de control 615. El grado variable de influencia sobre la válvula de control 615 activa un correspondiente grado variable de movimiento en un dispositivo deslizante de palanca 616. Esta activación puede efectuarse de una serie de maneras, tal como por medio de un actuador lineal hidráulico de efecto único (no mostrado) conectado tanto a la válvula de control 615 como al dispositivo deslizante de palanca 616. El dispositivo deslizante de palanca 616 está unido al brazo motriz 605 cerca de o en su punto de pivote con el pontón trasero 603. Está dispuesto en perpendicular, o sustancialmente en perpendicular, al brazo motriz 605, y también está unido de manera rotatoria a la biela 618 en un punto 619 que puede variarse a lo largo de su longitud. La biela 618 acciona a su vez la bomba 609. Debido a que el punto de unión entre el dispositivo deslizante de palanca 616 y la biela 618 es variable, esto a su vez significa que el momento de giro generado por el movimiento del pontón delantero 602 con respecto al pontón trasero 603 puede traducirse en una carrera de bomba que también es de longitud variable.

La figura 6a ilustra el WEC en reposo. La placa de arrastre 612 está en reposo y, por lo tanto, también lo está la placa de levas 614 y la válvula de control 615. El dispositivo deslizante de palanca 616 está en la posición de palanca cero, por lo que la biela 618 no está actuando sobre la bomba 609.

La figura 6b ilustra la oscilación vertical del pontón delantero sobre una cresta de una ola. La cresta de ola 620 ejerce una fuerza de flotación 621 sobre el pontón delantero 602. Puesto que la placa de arrastre 612 está situada por debajo de la influencia de la ola, se ejerce una fuerza de arrastre 622 sobre la placa de arrastre 612. Esto lleva el árbol de levas 613 y, en consecuencia, la placa de levas 614 hacia abajo con respecto al pontón delantero 602 y la válvula de control 615. El resultado del movimiento de la superficie de control irregular de la placa de levas 614 en relación con la válvula de control es que la placa de levas 614 ejerce un empuje lineal sobre la válvula de control 615. Esta señal mecánica se transfiere a través de la válvula de control (tal como por medio de un actuador de efecto único hidráulico) en una fuerza de traslación suministrada al dispositivo deslizante de palanca 616. El grado de traslación es proporcional a la traslación de la válvula de control 615 y, por lo tanto, proporcional a la potencia disponible en ese punto preciso en la ola incidente.

En la figura 6c, el valle de ola 623 permite que una atracción gravitatoria 624 actúe sobre el pontón delantero 602. La placa de arrastre 612 experimenta una resistencia 625 al movimiento en una dirección similar, con el efecto neto de que el árbol de levas 613 se mueve en relación con el pontón delantero 602 en la dirección opuesta a su dirección de movimiento como se muestra en la figura 6b. En consecuencia, la placa de levas 614 también se mueve en relación con la válvula de control 615 en una dirección opuesta a la que se muestra en la figura 6b. Debido a la forma irregular de la superficie de control de la placa de levas 614 (que en una realización es una forma mellada), esto también conduce a un empuje mecánico sobre la válvula de control 615 y a una fuerza de traslación correspondiente que se suministra al dispositivo deslizante de palanca 616.

Cuando las condiciones lo permiten y cuando la alimentación eléctrica es la salida WEC objetivo, puede usarse una versión electrónica del CPVM. Se apreciará que esto puede lograrse de una serie de maneras diferentes. Por ejemplo, puede utilizarse un codificador óptico en el punto de pivote entre el brazo motriz 605 y el pontón trasero 603, y usarse para generar la señal de traslación requerida. Como alternativa, puede utilizarse una galga extensiométrica en la articulación de brazo. A continuación, una válvula proporcional accionada por solenoide puede controlar el actuador lineal que suministra la fuerza de traslación al dispositivo deslizante de palanca 616.

Por lo tanto, a partir de las figuras 6a-c puede observarse que la posición del pontón delantero 602 en los puntos de cambio a lo largo del periodo de ola a medida que se propaga la ola generará señales de una magnitud variable. Estas señales, a su vez, se convierten en fuerzas de traslación, de tal manera que cuanto mayor sea la señal más se moverá el punto de conexión 619 entre la biela 618 y el dispositivo deslizante de palanca 616 en relación con el punto de conexión 617 entre el brazo motriz 605 y el dispositivo deslizante de palanca 616. A medida que esta longitud entre puntos en el dispositivo deslizante (indicada como L2 en las figuras 6b y 6c) varía, también lo hace la relación de L1:L2 (siendo L1 la longitud del brazo motriz 605). En caso de que el pontón delantero se mueva sobre una cresta o hacia un valle a una velocidad relativamente sustancial, se generará una señal relativamente fuerte a medida que lo hace, provocando un aumento relativamente sustancial en la longitud entre puntos del dispositivo deslizante de palanca (L2). La consiguiente disminución en la relación de L1:L2 da como resultado un aumento de la longitud de carrera de la bomba. Como tal, el sistema CPVM puede detectar variaciones en la velocidad angular de la rotación del brazo motriz 605 alrededor del pontón trasero 603, y puede ajustar dinámicamente la línea de acción de la articulación brazo motriz 605-dispositivo deslizante de palanca 616-biela 618 de tal manera que se mantenga una resistencia de amortiguación óptima. También significa que se mantiene una fuerza de entrada constante en la bomba 609, lo da como resultado una presión de salida de bomba constante. La presión de salida de bomba constante es una característica muy deseable para un uso eficiente de la energía capturada, ya sea como alimentación para una planta de ósmosis inversa (con fines de desalinización), como alimentación para una turbina de agua (tal como una rueda Pelton) para la generación de electricidad, o para el almacenamiento hidroeléctrico bombeado.

En las realizaciones anteriores descritas con respecto a las figuras 1 a 6, se ha mostrado una dirección de propagación de ola que va a incidir sobre el pontón "delantero" 102, 202, 402, 502, 602, más pequeño, antes de que las olas alcancen el pontón "trasero" 103, 203, 403, 503, 603, más grande. Sin embargo, en otras realizaciones se prevé que el pontón "delantero" descrito anteriormente, en relación con la dirección de la ola incidente, pueda ser de hecho el pontón de popa en una configuración inversa del WEC. Se ha descubierto que en una configuración como esta, el pontón delantero 103, 203, 403, 503, 603, más grande, puede sintonizarse de tal manera que su modo de movimiento esté en fase con las olas que se aproximan y que tenga una frecuencia que coincida con la de las olas con el fin de lograr una excitación resonante, actuando el pontón de popa 102, 202, 402, 502, 602, más pequeño, como un estabilizador para este movimiento. La orientación del WEC en relación con la dirección predominante de propagación de las olas puede ajustarse usando un sistema de amarre adecuado.

El convertidor de energía undimotriz visto en la figura 7 tiene la misma configuración básica que los dispositivos mostrados en las figuras 1-2 y 4-5 y, por lo tanto, no se describirá en gran detalle. Sin embargo puede observarse que en este dispositivo los pontones tienen una forma cilíndrica en lugar de una forma similar a una balsa con una sección transversal rectangular. Como resultado de la sección transversal circular, pueden minimizarse las pérdidas por arrastre de los pontones mientras están en movimiento. Además, las secciones cilíndricas permiten relaciones óptimas entre la masa corporal y la rigidez de flotabilidad. En esta realización, el convertidor de energía undimotriz 801 también está compuesto por un pontón de tipo "cabeza de martillo" 802 periférico y un pontón principal 803 que comprende una parte central 804 y un pontón estabilizador 806. El pontón de tipo cabeza de martillo 802 está unido de manera pivotante al pontón principal 803 por medio de un brazo motriz 805. El brazo motriz 805 está unido al pontón principal 803 en los puntos de bisagra 811. Puede observarse que un sistema de toma de fuerza en forma de una bomba 807 está montado en la parte superior del pontón principal 803.

El rendimiento de un WEC de tipo "cabeza de martillo" del tipo visto en la figura 7 se muestra en la figura 8 en comparación con la respuesta de potencia de un dispositivo Pelamis. Puede observarse que el dispositivo de tipo cabeza de martillo proporciona una salida de potencia aumentada en un amplio intervalo de periodos de ola (frecuencias). La salida de potencia mejorada puede atribuirse a la capacidad del dispositivo de tipo cabeza de martillo para extraer energía de al menos dos modos diferentes de movimiento en lugar de basarse en un solo modo de movimiento.

La figura 9 representa una bomba de fluido de una sola etapa, de movimiento alternativo y de alta presión, adecuada para el bombeo de agua de mar en bruto que puede usarse en la realización mencionada del PTO de la invención. La bomba 701 comprende un par de patas de aspiración de fluido 702, 703, un émbolo de doble efecto 704 y un colector de salida de fluido 705. Cada pata de aspiración comprende una entrada de fluido 706, 707, una cámara de bomba 708, 709, un conducto de salida 722, 723, una válvula de retención de aspiración 710, 711, una válvula de retención de suministro 712, 713, una cámara de vacío 714, 715 y una cámara de acumulador 716, 717. Se entenderá que la capacidad volumétrica de las dos patas puede ser idéntica, como pueden serlo los componentes correspondientes en cada pata.

A continuación, se describirá la configuración de las partes de ambas patas de aspiración 702, 703 con respecto a la pata de aspiración 702. Con respecto a la pata de aspiración 702, la entrada 706 está en comunicación de fluidos con la cámara de vacío 714. La entrada 706 también se comunica con la cámara de bomba 708 a través de la válvula de retención de aspiración 710, de tal manera que la entrada 706 y la cámara de bomba 708 pueden estar en comunicación de fluidos cuando la válvula de retención de aspiración 710 está abierta, pero no cuando está cerrada. Cuando la bomba está activa, la entrada 706 y la cámara de bomba 708 pueden estar en comunicación de fluidos entre sí a intervalos regulares. La cámara de bomba 708 también está en comunicación con el conducto de

salida 722 a través de la válvula de retención de suministro 712, de tal manera que la cámara de bomba 708 y el conducto de salida 722 pueden estar en comunicación de fluidos cuando la válvula de retención de suministro 712 está abierta, pero no cuando está cerrada. Cuando la bomba está activa, la cámara de bomba 708 y el conducto de salida 722 pueden estar en comunicación de fluidos entre sí a intervalos regulares. El conducto de salida 722 también está en comunicación de fluidos con la cámara de acumulador 716 y con el colector de salida de fluido 705. Debe quedar claro que la configuración de las piezas para la pata de aspiración 703 es de forma análoga.

La figura 9 representa cómo el émbolo móvil de doble efecto tiene un primer extremo 718, que se introduce en la primera cámara de bomba 708 a través de una abertura en la pared de cámara 720, y un segundo extremo 719, que se introduce en la segunda cámara de bomba 709 a través de una abertura en la pared de cámara 721. El émbolo 704 y las cámaras 708, 709 están configurados para garantizar que exista una junta hermética en todo momento entre el cuerpo de émbolo y las bocas de las aberturas en las paredes 720, 721 durante el movimiento del émbolo 704.

Las cámaras de bomba primera y segunda 708, 709 pueden estar situadas en alojamientos separados, y pueden estar soportadas por un bastidor fabricado de un material adecuadamente robusto, tal como el acero. En una realización preferida, el émbolo 704 puede estar recubierto por plasma usando un material de carburo de tungsteno. El recubrimiento puede aplicarse por medio de un proceso de recubrimiento por pulverización ampliamente establecido. Tal recubrimiento es ventajoso porque da como resultado pérdidas por fricción muy bajas en las juntas. Además, proporciona resistencia a la corrosión y la erosión por los efectos del agua salada y los desechos del agua, y es capaz de resistir impactos localizados. Preferentemente, el émbolo también se mecaniza con una alta tolerancia dimensional y un acabado superficial y puede fabricarse de un material adecuado tal como acero inoxidable de alta calidad.

Durante el uso, las entradas 706 y 707 de las patas de aspiración 702 y 703 de la bomba 701 están en comunicación de fluidos con una masa de fluido 725, como se muestra en las figuras 9, 10a y 10b. La figura 10a representa la configuración de la bomba 701 al comienzo de una primera carrera, adentrándose el émbolo 704 más en la cámara de bomba 708 que en la cámara de bomba 709. A medida que se aplica fuerza sobre el émbolo 704 de manera que se mueva en la dirección que se indica mediante la flecha 730, aumenta la capacidad de la cámara de bomba 708. Esto crea un efecto de aspiración que hace que se abra la válvula de retención de aspiración 710 y se arrastre el fluido hasta la entrada 706 en la dirección que se indica mediante la flecha 731. Este efecto de aspiración también puede contribuir a garantizar que la válvula de retención de suministro 712 se cierre durante este tiempo, garantizando de este modo que el efecto de aspiración no arrastre también fluido desde el conducto de salida 722. Al final de la primera carrera, el émbolo 704 se adentra más en la cámara de bomba 709 que en la cámara de bomba 708. En este punto, una masa de fluido se encuentra dentro de la entrada 706 y la cámara de bomba 708. Al final de la primera carrera puede haber una pausa momentánea antes de que comience la carrera de retorno.

Con la carrera de retorno, como se representa en la figura 10b, el émbolo 704 se mueve en la dirección indicada por la flecha 733 y se arrastra fluido hasta la entrada 707 hacia la cámara de bomba 709 en una dirección indicada por la flecha 732 de una manera análoga al flujo de fluido descrito para la entrada 706 y la cámara de bomba 708 en la figura 10a. La carrera de retorno también tiene el efecto de reducir la capacidad de la cámara de bomba 708, de tal manera que la masa de fluido que se encuentra en la misma se pone a presión aumentada. Esta presión aumentada conduce un volumen de fluido fuera de la cámara de bomba 708. Se evita que el fluido se conduzca a través de la entrada 706 debido a la válvula de retención de aspiración 710 que evita el flujo en esta dirección. Sin embargo, el fluido se conduce, en su lugar, a través de la válvula de retención de suministro 712 hacia el conducto de salida 722 y, posteriormente, al colector de salida de fluido 705.

A medida que el émbolo 704 inicia una carrera más (de nuevo en la dirección indicada por la flecha 730), el fluido recién arrastrado que se encuentra en la cámara de bomba 709 se conduce a través de la válvula de retención de suministro 713, el conducto de salida 723 y, posteriormente, el colector de salida de fluido 705 de una manera análoga a la descrita en el párrafo anterior. De esta manera, el movimiento de bombeo oscilatorio puede convertirse en un flujo de salida unidireccional.

Cabe señalar que las figuras 10a y 10b no ilustran el flujo de fluido hacia y desde las cámaras de vacío 714, 715 y las cámaras de acumulador 716, 717 mientras tiene lugar el proceso descrito anteriormente. Este detalle se ilustrará a continuación con respecto a las figuras 11a y 11b y 12a y 12b.

Las figuras 11a y 11b ilustran el flujo de fluido hacia y desde la cámara de vacío 714 mientras la bomba está en acción, como se representa en las figuras 10a y 10b. En la figura 11a, cuando el émbolo 704 comienza a moverse en la dirección indicada por la flecha 730, la capacidad de la cámara de bomba 708 empieza a expandirse. El efecto de aspiración resultante arrastra fluido a través de la entrada 706 en la dirección 752 y hacia la cámara de bomba 708 a través de la válvula de retención de aspiración 710 como se representa mediante la flecha 751. El efecto de aspiración resultante también hace que se extraiga fluido de la cámara de vacío 714 como se representa mediante la flecha 753. La cámara de vacío 714 puede contener un vacío parcial 755, y se extrae fluido de la cámara de vacío 714 de esta manera debido a que la fuerza ejercida por el vacío parcial 755 puede ser más débil que la fuerza de aspiración ejercida por el émbolo 704 que se mueve en la dirección 730. Como resultado, cae el nivel de fluido en la

cámara de vacío 714, como se representa mediante las flechas 754.

Con la carrera de retorno 733 del émbolo 704 que se representa en la figura 11b, la disminución de la capacidad de la cámara de bomba 708 conduce un flujo de fluido hacia el conducto de salida 722 a través de la válvula de retención de suministro 712 como se representa mediante la flecha 756. Al mismo tiempo, se cierra la válvula de retención de aspiración 710, debido en parte a la fuerza del fluido que se conduce desde la cámara de bomba 708. La toma de fluido por aspiración -accionada por el émbolo- a través de la entrada 706 también cesa en esta etapa. Sin embargo, se continúa arrastrando fluido a través de la entrada 706 (como se representa mediante las flechas 759) y hacia la cámara de vacío 714 como se representa mediante la flecha 758. Esto se produce debido al vacío parcial en la cámara de vacío 714 y también debido al impulso del fluido en la entrada 706, que se ha ejercido durante la carrera de émbolo descrita en la figura 11a. Como resultado, se eleva el nivel de fluido en la cámara de vacío 714. Una vez que el émbolo 704 ha dejado de moverse en esta dirección, el proceso que se representa en la figura 11a comienza de nuevo.

De esta manera, la velocidad de la masa de fluido a través de la entrada 706 (y, de manera análoga, a través de la entrada 707) puede ser relativamente constante, independientemente de la dirección de la carrera de émbolo. Como resultado, se gasta menos energía en la aceleración de la masa de fluido al comienzo de cada carrera. Además, una velocidad de flujo más uniforme da como resultado picos de velocidad mucho más pequeños y, por lo tanto, pérdidas por fricción mucho menores. Si las cámaras de vacío 714, 715 se sintonizan correctamente, las oscilaciones de las columnas de fluido contenidas en las mismas se sincronizan para coincidir con las carreras de aspiración del émbolo 704 y, por lo tanto, esto conduce a una mayor eficiencia de la bomba. Las pérdidas por fricción pueden reducirse adicionalmente proporcionando al émbolo 704 un recubrimiento de plasma.

Las figuras 12a y 12b ilustran el flujo de fluido hacia y desde las cámaras de acumulador 1001, 1002 mientras la bomba está en acción, como se representa en las figuras 10a y 10b. En la figura 10a, cuando el émbolo 1004 comienza a moverse en la dirección indicada por la flecha 1033, la capacidad de la cámara de bomba 1008 comienza a contraerse. El efecto de presurización resultante impulsa el fluido a través del conducto de salida 1022 en la dirección 1003 y hacia el colector de salida de fluido 1005 como se representa mediante la flecha 1007. Este efecto de presurización resultante también hace que se fuerce el fluido hacia la cámara de acumulador 1001 como se representa mediante la flecha 1004. Las cámaras de acumulador 1001, 1002 pueden presurizarse parcialmente, y el fluido se fuerza hacia la cámara de acumulador 1001 de esta manera debido a que la fuerza ejercida por la presurización parcial en la cámara de acumulador 1001 puede ser más débil que la fuerza de presurización ejercida por el émbolo que se mueve en la dirección 1033. Como resultado, aumenta el nivel de fluido en la cámara de acumulador 1001, como se representa mediante las flechas 1010.

Con la carrera de retorno del émbolo 1030 que se representa en la figura 12b, la disminución de la capacidad de la cámara de bomba 1009 conduce un flujo de fluido hacia el conducto de salida 1023 a través de la válvula de retención de suministro 1013 como se representa mediante la flecha 1056. Al mismo tiempo, se cierra la válvula de retención de suministro 1012, debido en parte a la fuerza del efecto de aspiración creado por la expansión de la cámara de bomba 1008. De igual modo, el flujo de fluido impulsado por el émbolo hacia el conducto de salida 1022 también cesa en esta etapa. Sin embargo, se continúa impulsando el fluido en la dirección 1007. Esto se produce debido a la presurización parcial en la cámara de acumulador 1001 y también debido al impulso del fluido hacia el conducto de salida 1022, que se ha ejercido durante la carrera de émbolo descrita en 12a. Como resultado, el nivel de líquido en la cámara de acumulador 1001 cae una vez más. Una vez que el émbolo ha dejado de moverse en esta dirección 1030, el proceso que se representa en la figura 12a comienza de nuevo.

De esta manera, la velocidad de la masa de fluido a través de los conductos de salida 1022, 1023 puede ser relativamente constante, independientemente de la dirección de la carrera de émbolo. Como resultado, puede gastarse menos energía en la aceleración de la masa de fluido al comienzo de cada carrera. Además, una velocidad de flujo más uniforme da como resultado picos de velocidad mucho más pequeños y, por lo tanto, pérdidas por fricción mucho menores.

Se apreciará que las cámaras de acumulador 1001, 1002 pueden utilizar cualquier tipo de acumulador hidráulico adecuado para su utilización en el contexto de la presente invención. Esto puede incluir, pero no se limita a, acumuladores hidroneumáticos o acumuladores de tipo resorte.

El uso de una bomba de este tipo en un sistema de conversión de energía undimotriz tiene una serie de ventajas diferenciadas con respecto a las disposiciones de bombas alternativas. El uso de agua de mar en bruto como fluido hidráulico evita los problemas medioambientales que rodean a la posible fuga de bombas hidráulicas a base de aceite. Sin embargo, el uso de agua de mar en bruto como fluido hidráulico presenta sus propios problemas, y la presente disposición es ventajosa con respecto a las bombas de agua de mar alternativas debido a su bajo número de piezas móviles y a su diseño resistente al desgaste. Esto significa que es robusta y tiene pocos requisitos de mantenimiento, lo que la hace especialmente adecuada para su utilización en alta mar. Además, aunque es una bomba de una sola etapa, sin embargo es capaz de suministrar altas presiones, y cuando se implementa junto con el WEC descrito en el presente documento, u otros dispositivos, es capaz de funcionar a altos niveles de eficiencia.

- 5 El sistema de conversión de energía undimotriz y los componentes PTO asociados comentados en el presente documento son adecuados para la generación de energía de una serie de maneras. En una implementación de la presente invención, el agua de mar a alta presión emitida por la bomba descrita en el presente documento puede estar vinculada a una turbina de rueda Pelton, que a su vez acciona una dinamo con el fin de generar de inmediato electricidad. Como alternativa, la bomba de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede usarse para bombear fluido hacia un depósito sobre el nivel del mar, almacenando de este modo energía como energía potencial gravitatoria. Además, el sistema de conversión de energía undimotriz y los componentes PTO asociados pueden utilizarse juntos en otros contextos, tales como la provisión de la acción de bombeo a alta presión requerida, necesaria en una planta de desalinización por ósmosis inversa.
- 10 También se apreciará que aunque la bomba que se ha descrito en el presente documento es especialmente adecuada para su utilización como parte de un sistema de conversión de energía undimotriz, también puede ser de utilidad significativa por sí misma en otras aplicaciones. La bomba, que también puede accionarse por sistemas distintos al sistema de conversión de energía undimotriz descrito en el presente documento, puede emplearse para
- 15 otras aplicaciones, tales como sistemas de perforación de pozos de petróleo de inyección profunda o sistemas de ósmosis inversa.
- 20 La expresión “ola incidente” cuando se usa en el presente documento en referencia a la presente invención se usa para indicar una ola que está en contacto con el elemento en cuestión (en el presente contexto, uno de los pontones del dispositivo). En este contexto, se considera que “ola” significa un periodo de ola completo, incluyendo de este modo tanto una cresta de ola como un valle de ola. Además, se considera que la expresión “régimen de oleaje incidente” significa las características de las olas en un sitio en un punto dado en el tiempo, en contraposición a las características de ola predominantes en ese sitio.
- 25 Las palabras “comprende/que comprende” y las palabras “que tiene/que incluye” cuando se usan en el presente documento con referencia a la presente invención se usan para especificar la presencia de características, elementos, etapas o componentes indicados, pero no excluyen la presencia o la adición de otra u otras características, elementos, etapas, componentes o grupos de los mismos.
- 30 Se aprecia que ciertas características de la invención, que se describen, para mayor claridad, en el contexto de realizaciones separadas, también pueden proporcionarse en combinación en una única realización. A la inversa, diversas características de la invención que se describen, por brevedad, en el contexto de una única realización, también pueden proporcionarse por separado o en cualquier sub-combinación adecuada.



**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo de conversión de energía undimotriz (101; 200; 801) para su uso en una masa de agua que comprende:
- 5 un primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) configurado para responder a una ola incidente funcionando en al menos un primer modo de movimiento;
- un segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) unido de manera móvil al primer pontón por un medio de unión (105; 420; 805);
- 10 en el que el movimiento relativo del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) respecto al segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) en respuesta a una ola incidente se convierte en una forma deseada de energía;
- en el que el primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) y el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) comprenden, cada uno, un cuerpo alargado, en el que el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) está unido al primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) de manera adyacente a, o en el punto medio de, el eje alargado del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802), y el eje alargado del segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) es transversal al eje alargado del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802);
- 15 caracterizado por que el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) está configurado para responder a una ola incidente funcionando en al menos un segundo modo de movimiento diferente del primer modo de movimiento;
- 20 en el que dicho primer modo de movimiento comprende un movimiento de oscilación vertical; y
- en el que dicho segundo modo de movimiento comprende un movimiento de cabeceo.
2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) y el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) responden a la misma ola incidente.
- 25 3. El dispositivo de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el modo de movimiento del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) también comprende un movimiento lineal en dirección proa-popa.
4. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el modo de movimiento del segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) también comprende un movimiento lineal en dirección proa-popa y/o un movimiento de oscilación vertical.
- 30 5. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el dispositivo (101; 200; 801) se orienta cuando está en uso de tal manera que el eje alargado del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) sea paralelo a las crestas de ola de las olas incidentes y el eje alargado del segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) sea transversal a las crestas de ola de las olas incidentes.
- 35 6. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que la dimensión del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) a lo largo de su eje alargado viene determinada por la longitud de cresta de ola predominante de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo (101; 200; 801).
- 40 7. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) tiene un área de superficie mayor que el área de superficie del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802), y la dimensión del segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) a lo largo de su eje alargado que se sitúa transversal al eje alargado del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) es mayor que la dimensión del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) en la dirección transversal a su eje alargado.
- 45 8. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que la dimensión del dispositivo (101; 200; 801) que es transversal al eje de las crestas de ola de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo (101; 200; 801) es entre 0,5 y 1 veces, o entre 0,6 y 1,1 veces, la longitud de ola predominante de la masa de agua donde va a situarse el dispositivo (101; 200; 801).
- 50 9. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, que comprende además un tanque (501) para contener fluido, que está adaptado para ajustar las características de movimiento del uno o más modos de movimiento en los que los pontones (102; 202; 402; 502; 602; 802, 103; 203; 403; 503; 603; 803) están configurados para funcionar, en el que el tanque (501) comprende, preferentemente, una cavidad estanca a fluidos integrada en el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803).
- 55 10. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio de unión (105; 420; 805) comprende un brazo motriz configurado para tener un único grado de libertad de movimiento, y en el que el medio de unión (105; 420; 805) comprende, preferentemente, una articulación motriz dispuesta para permitir un movimiento pivotante relativo entre los pontones primero y segundo (102; 202; 402; 502; 602; 802, 103; 203; 403; 503; 603; 803).
- 60 11. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) está configurado para funcionar en un tercer modo de movimiento diferente de su primer modo de movimiento y el segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) está configurado para funcionar en el mismo tercer modo de
- 65

movimiento además de en su segundo modo de movimiento.

5 12. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, en el que el medio de unión (105; 420; 805) está configurado para tener dos grados de libertad de movimiento diferentes, y en el que el medio de unión (105; 420; 805) comprende, preferentemente, una articulación motriz dispuesta para permitir movimientos pivotantes y horizontales relativos entre los pontones primero y segundo (102; 202; 402; 502; 602; 802, 103; 203; 403; 503; 603; 803).

13. El dispositivo de cualquier reivindicación anterior, que comprende además:

10 un mecanismo de salida de energía (207; 609) para convertir el movimiento relativo del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) respecto al segundo pontón (103; 203; 403; 503; 603; 803) en la forma deseada de energía, en el que el mecanismo de salida de energía está conectado al medio de unión (105; 420; 805);  
 15 un sensor configurado para detectar el grado de movimiento del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802); y un actuador configurado para ajustar la línea de acción entre el mecanismo de salida de energía (207; 609) y el medio de unión (105; 420; 805) en respuesta a una señal generada por el sensor como resultado de la detección, de tal manera que la línea de acción proporcione una fuerza constante y uniforme al mecanismo de salida de energía (207; 609).

20 14. El dispositivo de la reivindicación 13, en el que el sensor comprende un árbol (613) unido de manera móvil al primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) de tal manera que, cuando el dispositivo está situado en una masa de agua, el eje alargado del árbol (613) es sustancialmente perpendicular a la superficie del agua, y el sensor es libre de moverse a lo largo de su eje alargado en relación con el primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802); en el que un primer extremo del árbol (613) está sumergido y un segundo extremo del árbol (613) está situado por encima de la superficie del agua, estando el primer extremo unido a una placa (612), estando configurada la placa (612) para  
 25 experimentar fuerzas de arrastre en el agua, de tal manera que el movimiento del primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802) no se traduce en un movimiento correspondiente del sensor, provocando de este modo un movimiento del sensor en relación con el primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802), y estando el segundo extremo asociado con un controlador, estando configurado el controlador para generar la señal para el actuador cuando el sensor se mueve en relación con el primer pontón (102; 202; 402; 502; 602; 802).

30 15. El dispositivo de la reivindicación 13 o la reivindicación 14, en el que el mecanismo de salida de energía comprende una bomba (701; 1001), comprendiendo dicha bomba:

35 una primera y una segunda entrada de fluido (706, 707) para interactuar con la masa de agua;  
 un par de válvulas de retención de aspiración (710, 711), estando cada válvula de retención de aspiración (710, 711) situada dentro de una de las entradas de fluido (706, 707), respectivamente, para permitir un flujo de fluido unidireccional a través de cada una de dichas entradas de fluido (706, 707);  
 una primera y una segunda salida de fluido (722; 1022, 723; 1023) en comunicación de fluidos con un único colector de salida de fluido común (705; 1005);  
 40 un par de cámaras de bomba (708; 1008, 709; 1009) de igual volumen situadas adyacentes entre sí, estando cada cámara (708; 1008, 709; 1009) en comunicación de fluidos con una de las entradas de fluido (706, 707) y una de las salidas de fluido (722; 1022, 723; 1023), y teniendo cada cámara (708; 1008, 709; 1009) además una abertura (720, 721) dispuesta de tal manera que las dos aberturas (720, 721) están alineadas;  
 un bloque de émbolo (704; 1004) situado parcialmente en ambas cámaras de bomba (708; 1008, 709; 1009), de  
 45 tal manera que sobresale a través de ambas aberturas (720, 721) lo suficiente para formar una junta estanca con las aberturas (720, 721) y que puede moverse entre ambas cámaras de bomba (708; 1008, 709; 1009);  
 en el que el movimiento en una dirección que aumenta la parte del bloque de émbolo (704; 1004) situada en una cámara de bomba (708; 1008) provoca una disminución correspondiente en la parte del bloque de émbolo (704; 1004) situada en la otra cámara de bomba (709; 1009);  
 50 y adaptada de tal manera que, cuando está en uso, la bomba (701; 1001) proporciona un único flujo de salida de fluido unidireccional en el colector de salida de fluido (705; 1005).

FIGURA 1

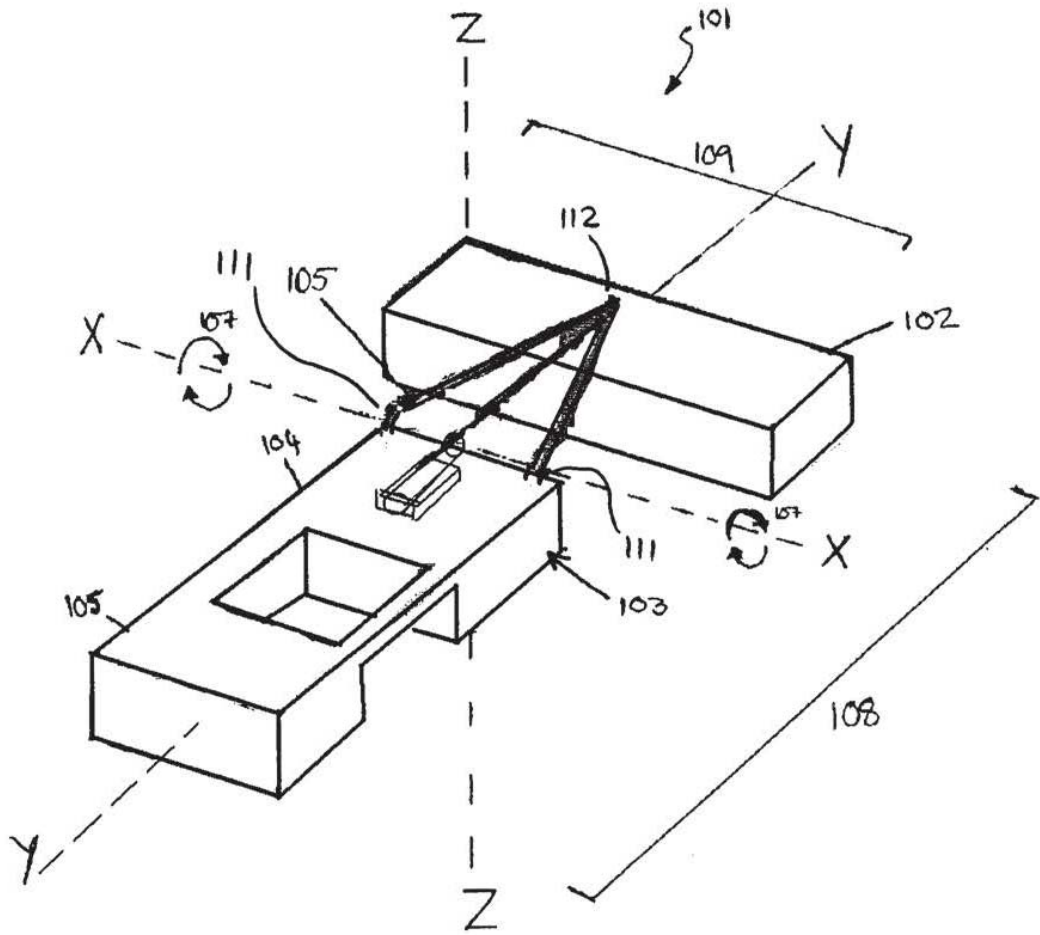


FIGURA 2a

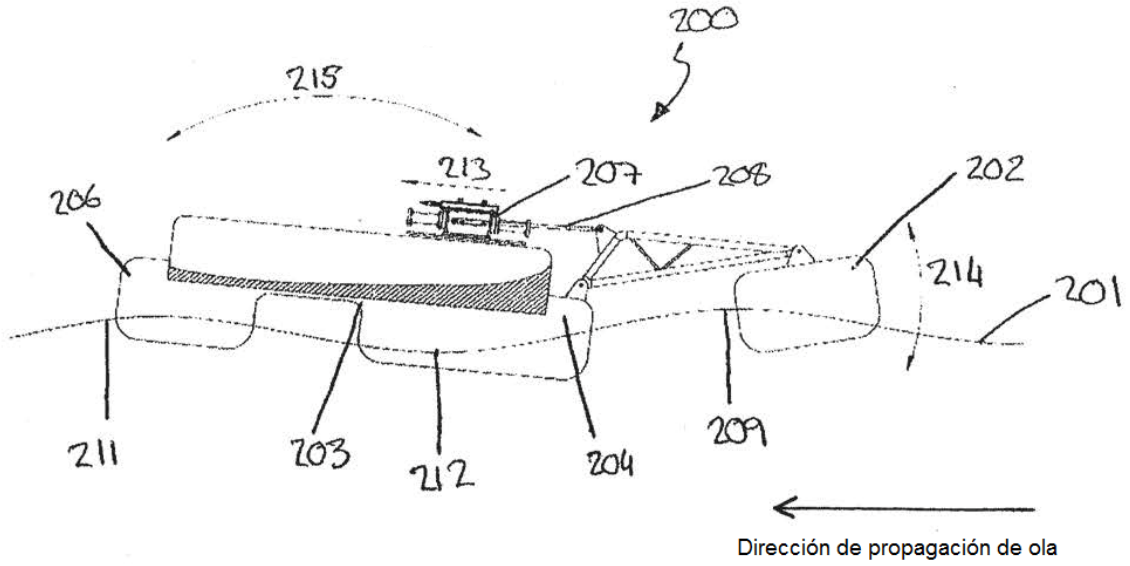


FIGURA 2b

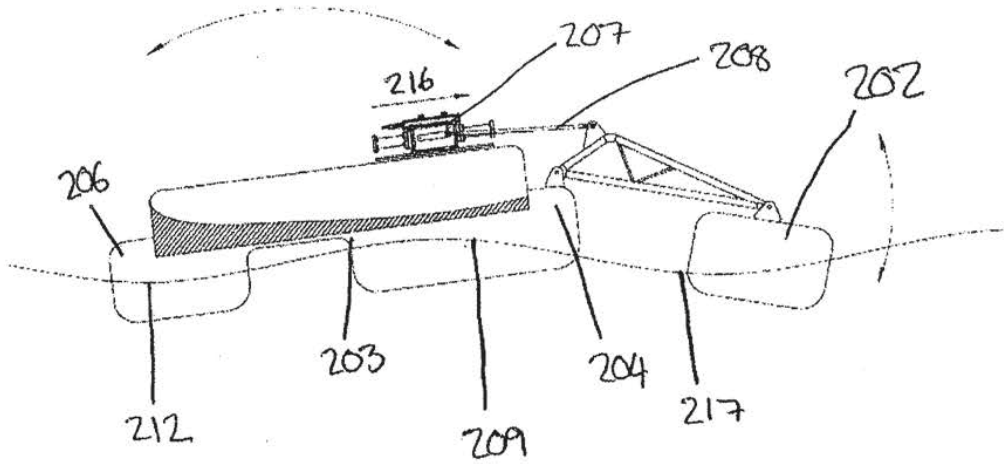
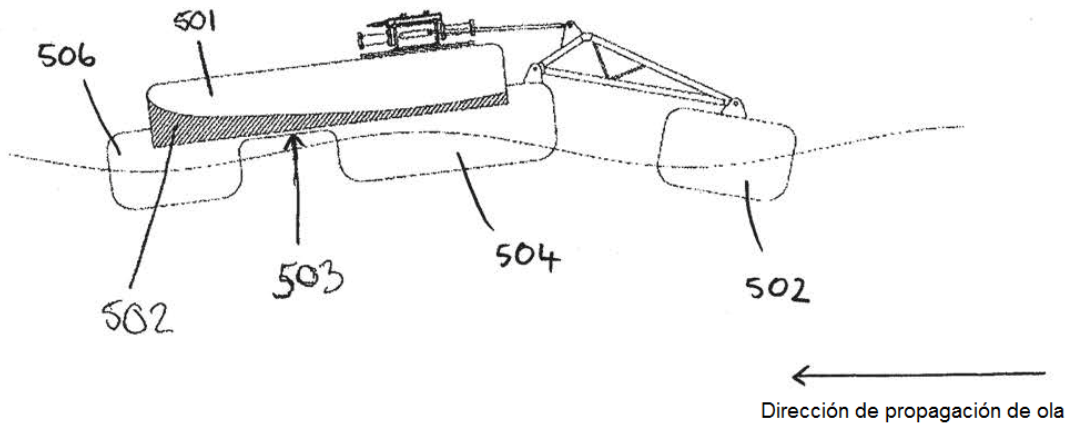
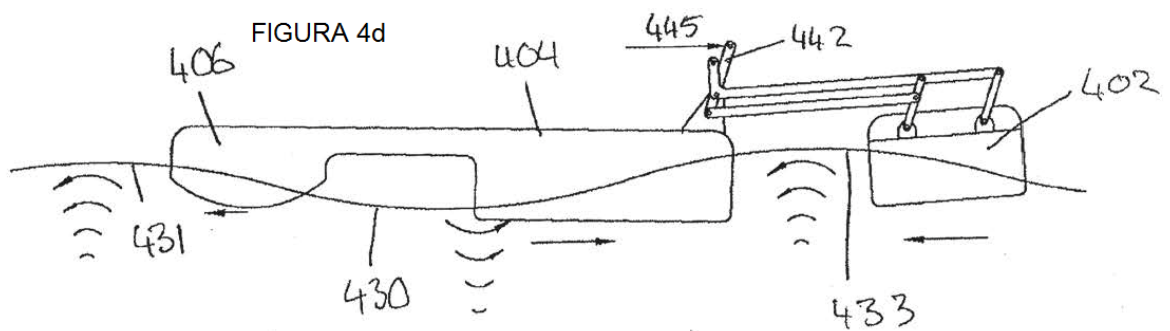
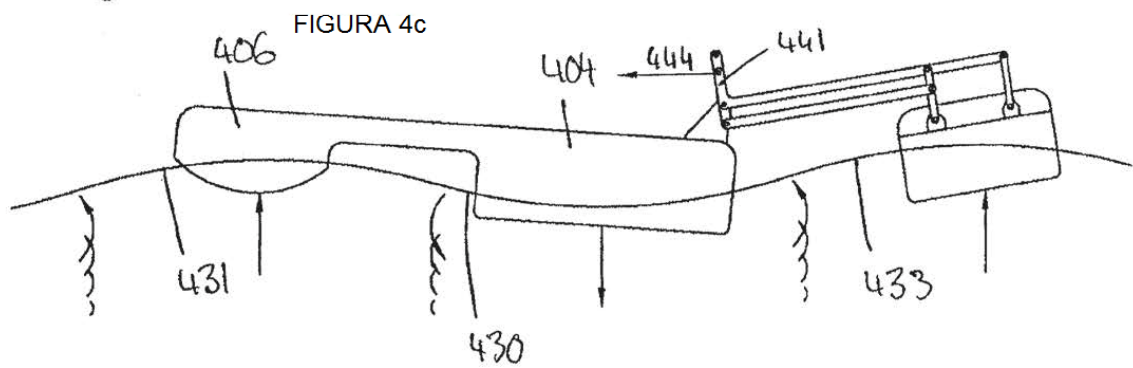
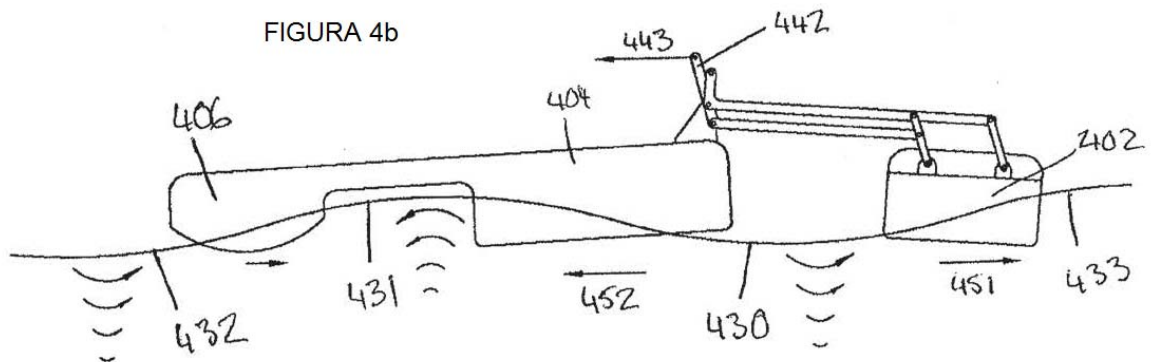
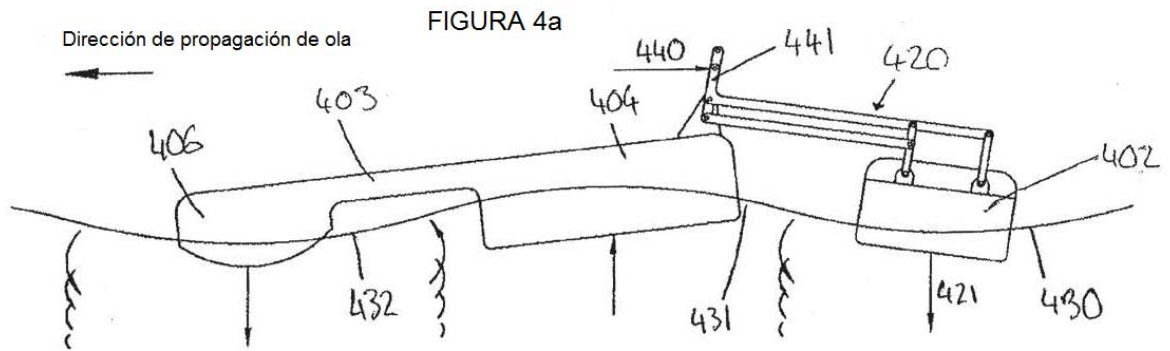


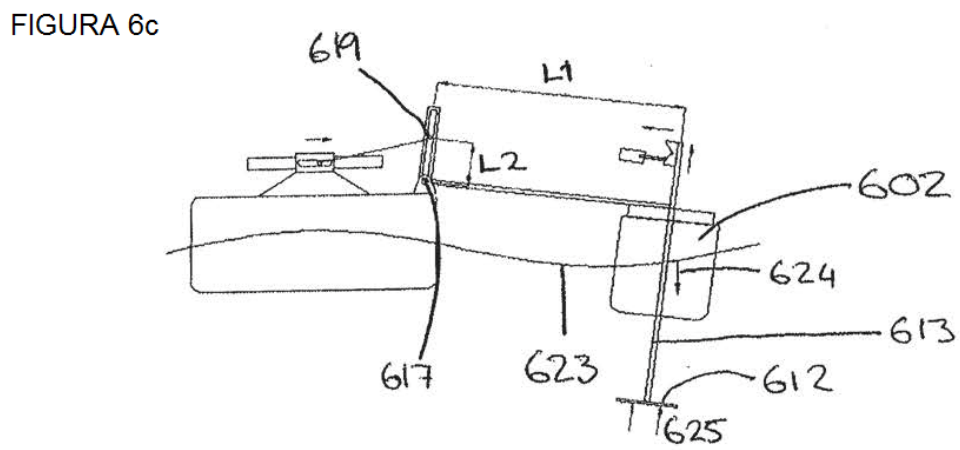
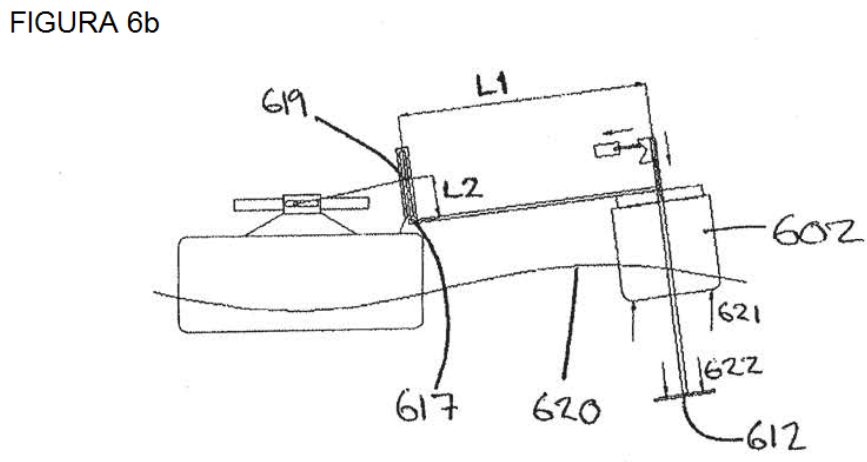
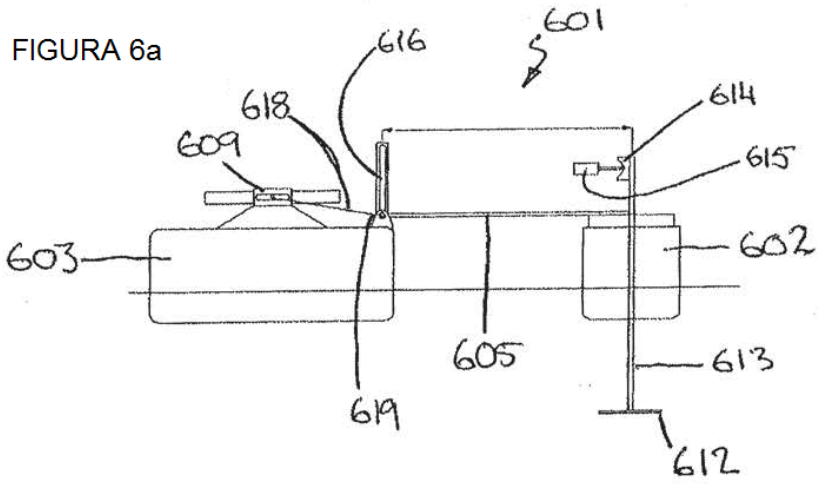
FIGURA 3



FIGURA 5







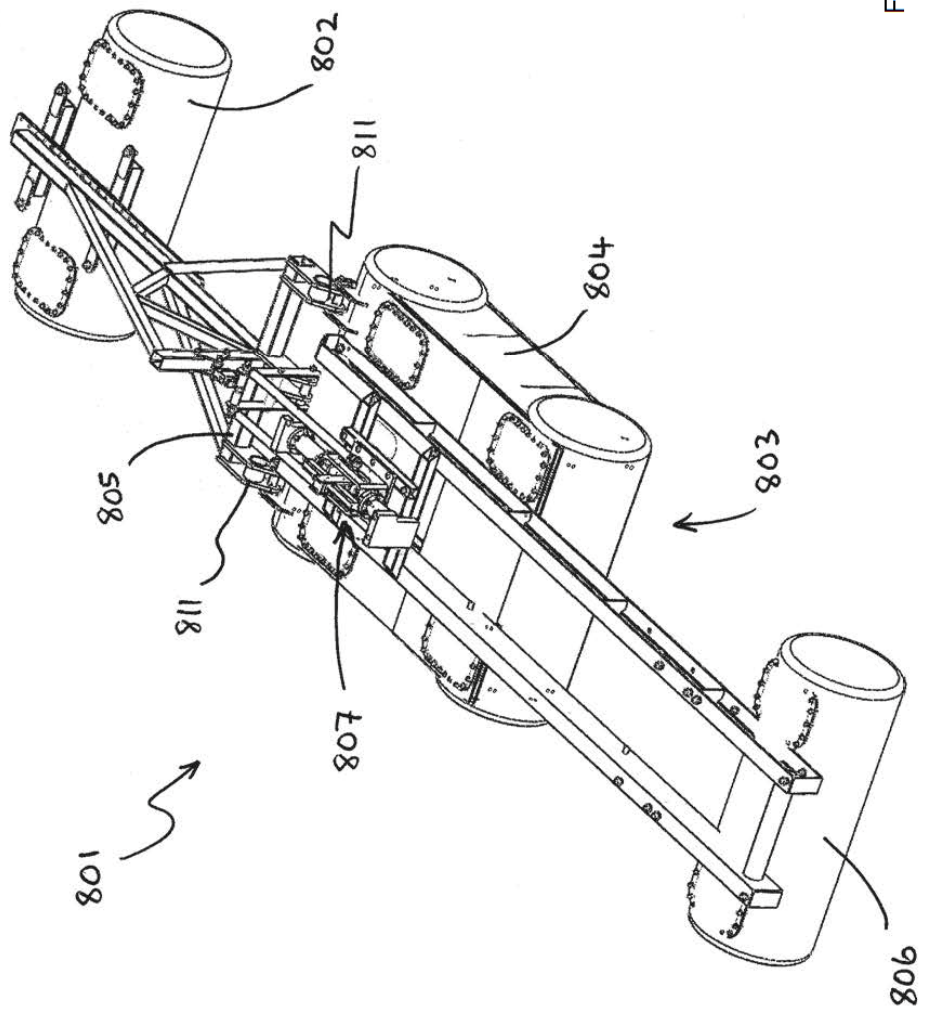
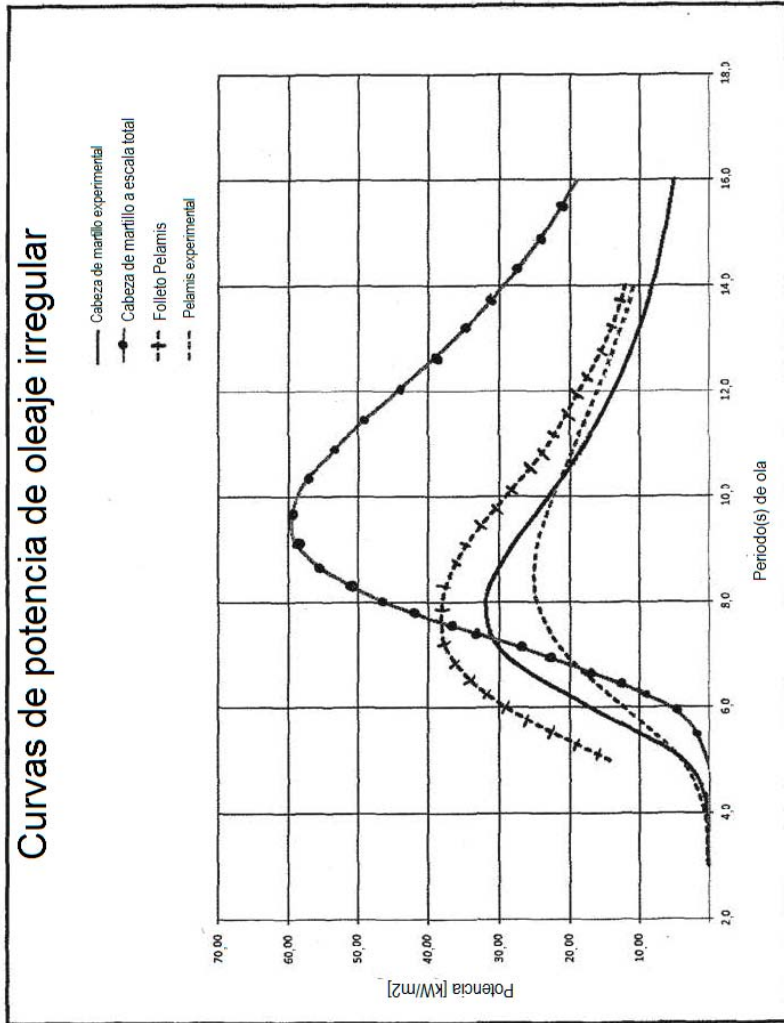


FIGURA 7





Fuente: Resultados experimentales de las pruebas y análisis de tanque Seapower por Pure Marine Gen Ltd (consultores)

FIGURA 8



FIGURA 10a

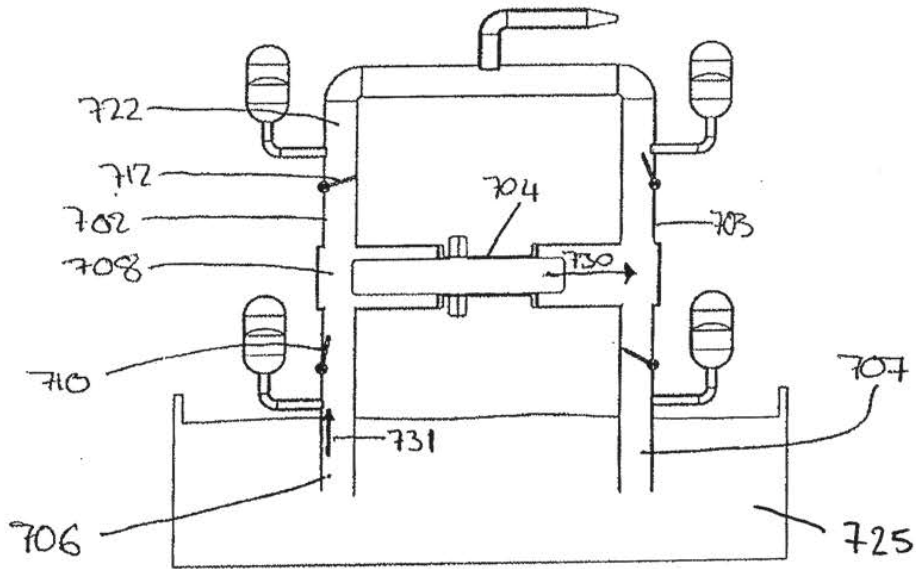


FIGURA 10b

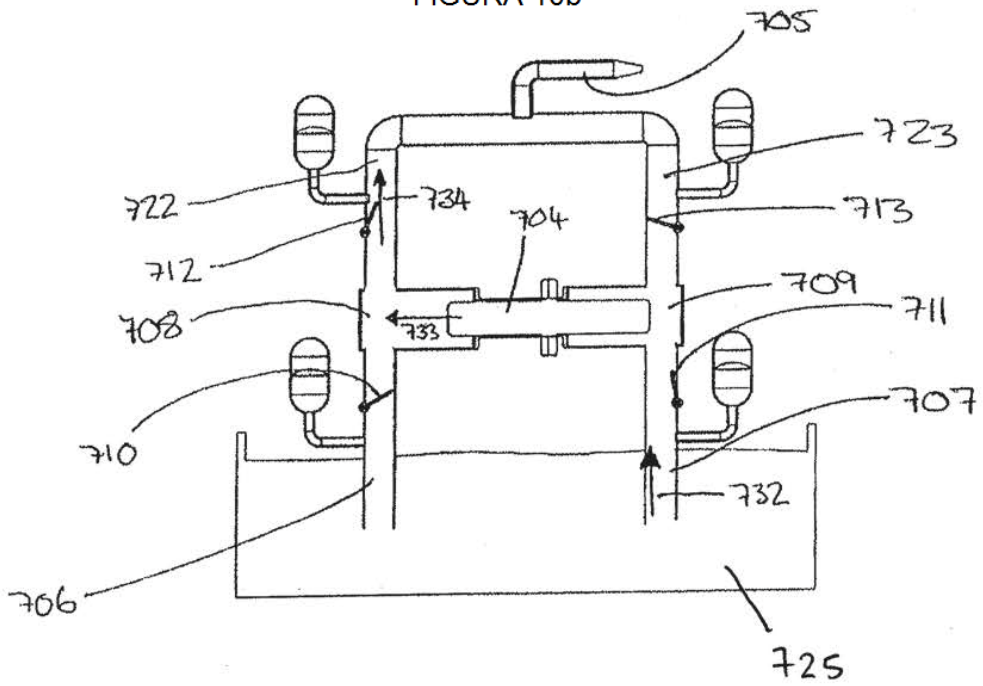


FIGURA 11a

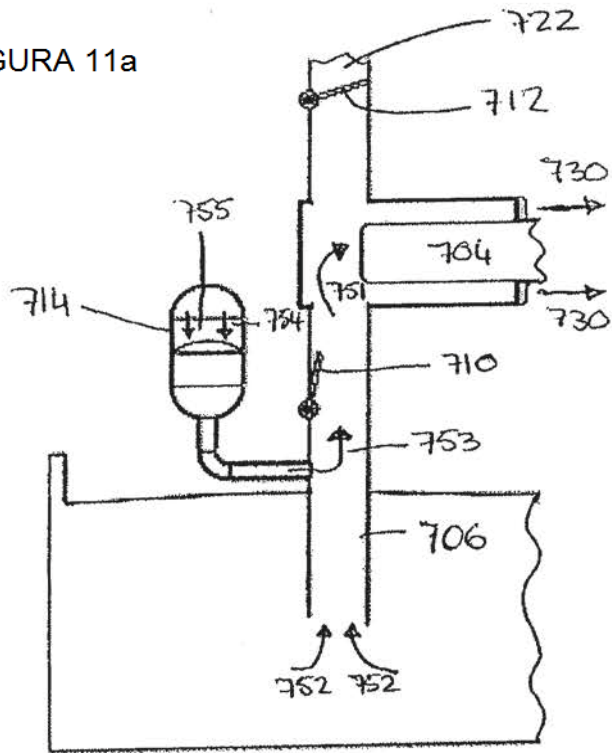


FIGURA 11b

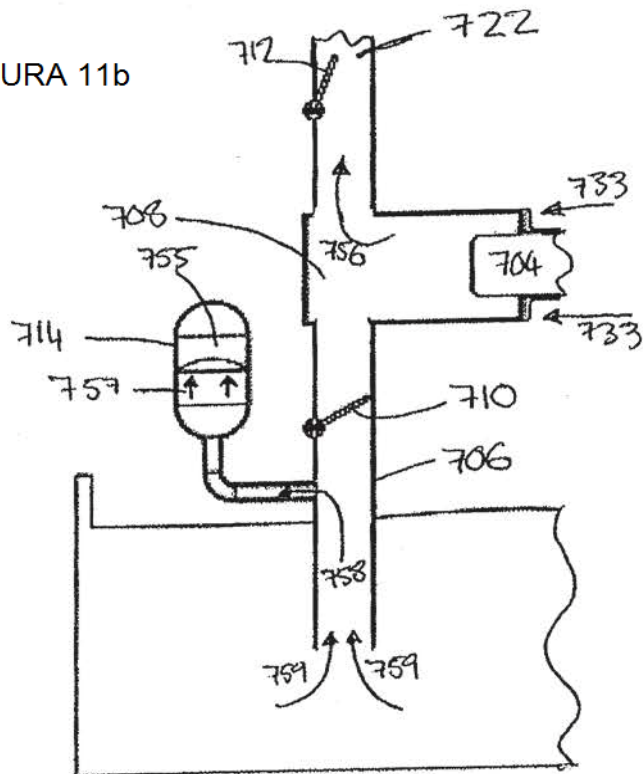


FIGURA 12a

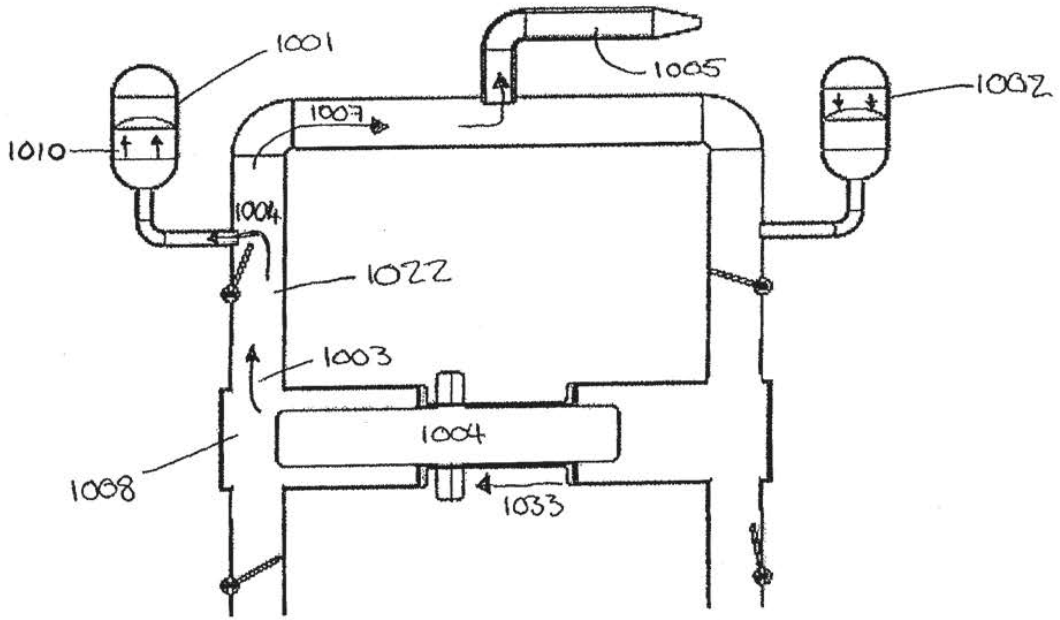


FIGURA 12b

