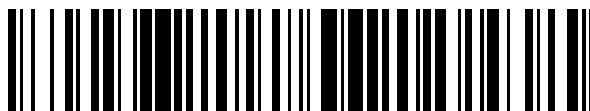


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 608 932**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/00** (2006.01)

**F03B 15/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.01.2005 PCT/US2005/001100**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2005 WO05069824**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.01.2005 E 05711418 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2016 EP 1751424**

54 Título: **Sistemas de adaptación de impedancia activa y métodos para convertidor de energía de onda**

30 Prioridad:

**14.01.2004 US 536397 P**

**15.01.2004 US 536645 P**

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

**17.04.2017**

73 Titular/es:

**OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)**

**Suite 1, Building A, 1590 Reed Road**

**Pennington, NJ 08534, US**

72 Inventor/es:

**GERBER, JAMES, S. y**

**STEWART, DAVID, B.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 608 932 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**

Sistemas de adaptación de impedancia activa y métodos para convertidor de energía de onda

Antecedentes de la invención

5 Esta invención se refiere a la conversión de energía de fuentes naturales de energía mecánica, tales como la energía mecánica presente en las ondas de superficie del océano o flujo de corriente en agua, corrientes y aire, a energía eléctrica y, en particular, a la producción y transferencia eficientes de energía.

Se conocen diversos sistemas de convertidor de energía de onda (WEC). Por ejemplo, se hace referencia a la Patente U.S. No. 6.291.904 presentada el 21 de agosto de 1999, titulada "Wave Energy Converter Utilizing Pressure Difference", asignada al cesionario de la presente solicitud y cuyas enseñanzas se incorporan aquí como referencia.

10 Existen numerosos problemas en el diseño de un sistema mecánico para aprovechar la energía contenida en las olas oceánicas. Particularmente, existe un problema en el aprovechamiento eficiente de esta energía. Para empezar, hay un problema en la conversión de la energía de las olas a movimiento la fuerza mecánicas utilizables. Además, existe un problema adicional de convertir la energía mecánica en energía eléctrica de una manera eficiente. Una dificultad significativa para aumentar la eficiencia de convertir la energía de las olas oceánicas en energía eléctrica se debe al hecho de que las ondas varían continuamente en amplitud, frecuencia y fase en función del tiempo.

15 Se han propuesto diversos conceptos para tratar de aumentar la eficiencia de la conversión de energía de las olas a energía eléctrica utilizando WEC. En algunos de estos sistemas, los componentes mecánicos de los WEC están "sintonizados" para tener una alta eficiencia cuando operan con olas oceánicas de una frecuencia específica. Dado el comportamiento de banda estrecha de estos sistemas y la naturaleza altamente variable de las olas oceánicas, la eficiencia global de estos sistemas es deficiente.

20 También se ha propuesto ajustar las propiedades mecánicas del WEC para tener en cuenta la frecuencia de onda predominante durante un período de tiempo. La incorporación de tal propuesta requiere dispositivos mecánicos que cambien las propiedades de muelle, masa y amortiguación del WEC. Sin embargo, la realización de los ajustes propuestos para las propiedades mecánicas de un WEC es problemática ya que no existe una manera práctica de proporcionar un ajuste continuo o de nivel múltiple del sistema.

25 Otro esquema para aumentar la eficiencia de un WEC se muestra en la Patente US 6.731.019, basada en la Solicitud con número de serie 09/922877 presentada el 8/6/01 titulada "Aparato y Método para Optimizar la Transferencia de Potencia Producida por un Convertidor de Energía de Onda (WEC )", asignado al cesionario de la presente solicitud y cuyas enseñanzas se incorporan aquí como referencia. En este sistema patentado, el dispositivo electromecánico es controlado y su comportamiento mecánico es alterado para aumentar su eficiencia de conversión de energía ajustando la carga de salida.

30 El documento US20032206358 divulga un WEC en el que se utiliza un generador lineal para propósitos de control de fase. Cuando se detecta que el movimiento del estator del generador está fuera de fase con la presión cambiante del agua ambiente, el generador funciona como un motor para forzar los movimientos del estator a coincidir con los cambios de presión ambiental.

35 En todos los esquemas de impulso de eficiencia del convertidor de energía de onda propuestos conocidos, los componentes de almacenamiento y/o ajuste de energía son grandes y/o costosos haciendo difícil y/o costoso producir productos comercialmente viables. Además, los sistemas conocidos tienden a ser reactivos (es decir, no anticipan ciertas condiciones de ola) y un control proactivo sobre el comportamiento del WEC.

40 Sumario de la invención

Por consiguiente, la invención proporciona una combinación que comprende:

45 un convertidor de energía de ondas (WEC) que tiene un árbol y una carcasa destinados a ser colocados en un cuerpo de agua, pudiendo moverse el árbol y la carcasa uno con relación a otro en respuesta a fuerzas aplicadas al WEC por ondas en el cuerpo de agua; medios de toma de energía (PTO) conectados entre el árbol y la carcasa para: extraer energía del WEC y para producir energía eléctrica de salida en función del movimiento relativo entre la carcasa y el árbol; y medios para detectar y determinar los seleccionados entre el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de una de la carcasa y el árbol y, en respuesta a las señales indicativas de que uno de la carcasa y el árbol está en o cerca de su desplazamiento máximo y la velocidad de dicha carcasa y el árbol va hacia cero o simplemente pasa a cero, la energía eléctrica es suministrada selectiva y activamente a uno de la carcasa y el árbol  
50 para provocar un aumento en el desplazamiento y la velocidad de uno de la carcasa y el árbol con relación al otro

cambiando la relación de fase entre las fuerzas de las ondas y el movimiento del WEC para aumentar la cantidad neta de energía eléctrica de salida producida por dichos medios de PTO (PTO).

5 La invención también proporciona un método para aumentar la eficiencia de un convertidor WEC de energía de onda en la producción de una salida eléctrica donde el WEC incluye un árbol y una carcasa destinados a ser colocados en un cuerpo de agua, pudiendo el árbol y la carcasa moverse uno con respecto al otro en respuesta a fuerzas aplicadas al WEC por el cuerpo de agua; comprendiendo las etapas de:

detectar el desplazamiento de uno de la carcasa y el árbol a medida que se mueve hacia arriba y hacia abajo con respecto a una posición cero;

10 determinar la velocidad de uno de la carcasa y el árbol a medida que se mueve hacia arriba y hacia abajo en relación con la posición cero;

determinar cuándo la velocidad de la carcasa y el árbol está en o cerca de cero; y

15 de forma selectiva y activa, suministrar potencia a uno de la carcasa y el árbol para aumentar su velocidad y desplazamiento y, de este modo, aumentar la potencia generada por el WEC en respuesta a señales indicativas de que uno de la carcasa y el árbol está en su desplazamiento máximo y cerca de éste; la velocidad de dicho uno de la carcasa y el árbol va hacia cero o simplemente pasa de cero.

20 La invención de los solicitantes reside, en parte, en el uso de sistemas de adaptación de impedancia activa (AIMS) para proporcionar medios para ajustar la respuesta de un sistema electromecánico de WEC para maximizar la eficiencia del WEC. La tecnología AIMS prevista para su uso por los solicitantes combina algoritmos basados en ordenador y hardware avanzado.

25 Un WEC que incorpora la invención incluye una carcasa y un árbol que están diseñados para moverse uno con relación al otro para convertir la fuerza de las ondas en energía mecánica. En la discusión que sigue, la carcasa se representa generalmente o se hace denomina como el miembro móvil y el árbol como el elemento no móvil o mecánicamente conectado a tierra. Pero, lo contrario puede ser el caso e incluso el árbol y la carcasa pueden moverse entre sí. El WEC incluye un dispositivo de PTO (PTO) acoplado entre la carcasa y el árbol para convertir la energía mecánica disponible del WEC en energía eléctrica. Esta es la salida deseada que se debe producir de la manera más eficiente posible.

30 La invención de los solicitantes reside, en parte, en el uso de aparatos y métodos para aumentar el desplazamiento y la velocidad (y la aceleración) de la carcasa para aumentar la potencia disponible del WEC y la salida eléctrica de su PTO. Según un aspecto de la invención, el desplazamiento y velocidad (y aceleración) de la carcasa se incrementa suministrando selectivamente energía a la carcasa durante partes de un ciclo de onda; donde la energía suministrada se obtiene de una fuente suministrada previamente por la PTO o de una fuente independiente. Aunque se gasta energía para mover la carcasa, el movimiento es tal que hay una ganancia neta significativa en la energía generada por el WEC.

35 En un sistema que incorpora la invención, se proporciona un medio para absorber u obtener energía del WEC y que imparte selectivamente energía al WEC para aumentar el desplazamiento y la velocidad (y la aceleración) de la carcasa para aumentar la energía neta producida por el WEC. Esto contrasta con un sistema típico de captura de energía, que sólo puede absorber energía mecánica. Los medios de absorción de energía y los medios de transmisión de energía pueden ser implementados por el mismo dispositivo capaz de funcionar bidireccionalmente (en dos modos diferentes) o puede ser implementado utilizando un dispositivo optimizado para la absorción de potencia desde la carcasa WEC y otro dispositivo optimizado para (suministro) de energía a la carcasa WEC.

40 En sistemas que incorporan la invención, una PTO acoplada entre la carcasa y el árbol puede ser un generador (o un dispositivo mecánico o hidráulico equivalente) para convertir la energía disponible del WEC en energía eléctrica. Como se ha indicado anteriormente, es deseable, aunque no necesario, que el generador PTO también pueda funcionar como un motor (o un dispositivo mecánico o hidráulico similar) que, cuando se suministra con energía, puede causar el movimiento deseado entre la carcasa y el árbol del CME. Por lo tanto, en sistemas que incorporan la invención, cuando se utiliza un único dispositivo, el PTO debe poder funcionar selectivamente tanto como un dispositivo de suministro de energía (PSD) como para un dispositivo de extracción de potencia.

45 La invención de los solicitantes incluye también un método para controlar la carga eléctrica del generador eléctrico accionado por el WEC para que coincida con la impedancia de la carga WEC a la entrada para maximizar el rendimiento de conversión y la potencia de salida.

50

5 La invención se puede implementar usando un convertidor de potencia de 4 cuadrantes que controla el flujo de potencia hacia o desde la PTO/PSD. A modo de ejemplo, la PTO/PSD puede ser un generador/motor o un dispositivo mecánico o hidráulico equivalente. En los sistemas que hacen uso de un dispositivo generador/motor, a veces, el generador funciona como una carga en la boya (WEC) extrayendo energía de ella, mientras que en otras ocasiones gasta energía y funciona como un motor que aplica una fuerza (y energía) a la boya. El convertidor de potencia de 4 cuadrantes utilizado en los sistemas que incorporan la invención puede ser controlado por ordenador de modo que permita o bien que la corriente sea extraída del sistema o bien que la corriente sea suministrada al sistema. El algoritmo informático puede utilizarse para ajustar la corriente del generador en función de la velocidad de la boya, la posición y/o la aceleración. El ordenador puede programarse para determinar cuándo y cómo se suministra energía al conector WEC para optimizar la salida eléctrica deseada.

Breve descripción de los dibujos

En el dibujo adjunto, los caracteres de referencia iguales designan componentes similares;

y la Figura 1 es un diagrama que identifica diversos componentes relevantes de un sistema WEC desplegado en una masa de agua que puede usarse para practicar la invención;

15 La Figura 1A es un modelo matemático simplificado de un WEC que se puede usar para practicar la invención;

Las Figuras 2A-2E son diagramas que muestran e identifican diferentes estructuras y componentes de WEC que pueden usarse para practicar la invención;

20 La Figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema WEC de la técnica anterior, que muestra un WEC 101 que está acoplado a tierra 108 mecánica por medio de un muelle 102 mecánico y un amortiguador 170 compuesto por elementos 103, 104, 105, 106, 109 y 110;

La Figura 3A es un diagrama de bloques equivalente simplificado de la Fig. 3;

Las Figuras 4 a 6 ilustran diversos sistemas y métodos para "afinar" las propiedades mecánicas de un WEC para optimizar la extracción de energía de las olas oceánicas, de acuerdo con la invención;

Las Figuras 7A, 7B y 7C ilustran elementos clave de sistemas AIMS usados para practicar la invención;

25 La Figura 8 es un diagrama de bloques de un sistema de control AIMS usado para practicar la invención;

La Figura 9 es un diagrama que representa las funciones realizadas por un convertidor de potencia de 4 cuadrantes utilizado en la práctica de la invención;

La Figura 10 es un diagrama de una parte de la electrónica de un convertidor de potencia;

30 Las Figuras 11 y 11A son diagramas de bloques altamente simplificados de un sistema que incorpora la invención, en el que el dispositivo de PTO (PTO) es un generador eléctrico lineal (LEG);

La Figura 12 es un diagrama de formas de onda idealizadas asociadas con el funcionamiento de un WEC, con fuerzas de posición de restauración "fuertes", de acuerdo con la invención y en comparación con la técnica anterior;

35 La Figura 13 es un diagrama de formas de onda idealizadas asociadas con el funcionamiento de un WEC, con fuerzas de posición de restauración "débiles", de acuerdo con la invención y en comparación con la técnica anterior

Descripción detallada de la invención

40 La Figura 4 ilustra un sistema que incorpora la invención en el que una carcasa WEC 5 está acoplada a un dispositivo de PTO (PTO) 170 en cuya salida se produce la energía eléctrica deseada extraída del WEC. La Figura 4 muestra también un módulo 120 de control eléctrico/electrónico conectado entre la carcasa 5 móvil y tierra mecánica (es decir, el árbol del WEC). El módulo 120 de control se utiliza para realizar la función de un muelle correspondiente al muelle mecánico del tipo mostrado en la Figura 3. Sin embargo, la(s) función(es) realizada(s) por el módulo 120 define significativamente sobre la función del muelle 102 mostrado en la Figura 3, porque el muelle 102 es un dispositivo pasivo, mientras que el módulo 120 (como se describe más adelante) es un dispositivo activo, programado para controlar cuándo y cómo se suministra energía a la carcasa WEC para aumentar la potencia neta absorbida por el WEC de las ondas y que se pone a disposición de la PTO para producir una tensión y una corriente de salida incrementadas deseables.

5 La Figura 5 ilustra que el módulo 120 utilizado para producir una función "similar a un muelle" incluye un módulo 202 de almacenamiento de energía (que puede ser una fuente de energía local o externa), un módulo 201 de control para controlar la aplicación de la potencia desde la fuente 202 de potencia a un motor 203 para accionar un traductor lineal a giratorio 204. El módulo 201 de control puede incluir un dispositivo de cálculo, como se muestra en las Figuras 7A-8 y 11, 11A. Como se muestra en dichas figuras, el módulo de control puede ser accionado y controlado por señales de comando (no mostradas en las Figuras 4 ó 5) para controlar cuándo y cómo se acciona el motor 203. El módulo 201 también puede incluir un convertidor de potencia de 2 o 4 cuadrantes para controlar la aplicación de potencia al motor.

10 En las Figuras 4 y 5, la PTO 170 incluye un traductor lineal a giratorio (103, 104, 105) que acciona un generador 106 para producir una tensión de salida aplicada a través de las líneas 109 a una carga 110

15 La Figura 6 ilustra un sistema que incorpora la invención en el que varias de las funciones que va a realizar el módulo 120 y por la PTO 170 pueden realizarse utilizando el mismo equipo; pero en este caso se selecciona un equipo que puede funcionar bidireccionalmente y el equipo es operado bidireccionalmente para conseguir las funciones deseadas. Por lo tanto, en la Figura 6, el módulo 120 y 170 se combinan en un único bloque que contiene un motor/generador 206 y un módulo 201 de control que incluye un convertidor de potencia de 4 cuadrantes y un dispositivo de cálculo. Como se detalla a continuación, para una condición de señales, la potencia absorbida por la carcasa 5 acciona el traductor lineal a giratorio 103, 104, 105 y hace que el motor/generador 206 funcione como generador produciendo una tensión y corriente de salida eléctrica deseada que está acoplada el convertidor de potencia de 4 cuadrantes en el módulo 201 para suministrar una carga 110 de salida que, para facilitar la descripción, se muestra como una resistencia, pero que podría ser una carga compleja, como se muestra en las otras figuras.

20 Con el fin de comprender mejor la discusión que sigue, debe observarse que, como se muestra en varias de las figuras, una WEC que incorpora la invención incluye una carcasa y un árbol que están diseñados para moverse uno con relación a otro para convertir la fuerza (F1) de las ondas en energía mecánica. En la descripción que sigue, la carcasa se representa generalmente, o se hace referencia a, como el miembro móvil y el árbol como el elemento no móvil o mecánicamente conectado a tierra. Pero, lo contrario puede ser el caso e incluso el árbol y la carcasa pueden moverse entre sí. El WEC incluye una PTO acoplada entre la carcasa y el árbol para convertir la energía mecánica disponible del WEC en energía eléctrica. Por lo tanto, el WEC se utiliza para extraer, o absorber, energía (energía) de las ondas y la PTO a su vez extrae energía (energía) del WEC y funciona como un amortiguador en el WEC.

25 Las ondas de agua que actúan sobre un dispositivo de conversión de energía de las olas (WEC) ejercerán una fuerza (F1) en la carcasa WEC debido a los cambios en la presión del agua causada por la onda. La potencia absorbida por el WEC (que posteriormente puede ser utilizada para producir y/o generar electricidad por el WEC) debido a las ondas es igual a la fuerza (F1) de la onda multiplicada por la velocidad (v) de la carcasa WEC a medida que se mueve;

$$[P= (F1) \times (v)].$$

35 Es sabido que en muchas situaciones en las que un objeto está respondiendo a las fuerzas de onda, la fuerza (F1) de la onda aplicada al objeto (WEC) es independiente del movimiento de ese objeto (es decir, la fuerza de onda sentida por un objeto estacionario es aproximadamente igual a la fuerza de onda sentida por un objeto que se mueve lentamente). Por lo tanto, si se desea aumentar la potencia absorbida por un WEC particular (y tener más potencia disponible de un WEC), esto sólo puede hacerse aumentando la velocidad del WEC, (no siendo controlable la fuerza de las ondas). Por ejemplo, una duplicación de la velocidad del WEC conducirá a una duplicación instantánea de la potencia mecánica absorbida por el WEC. Esto puede entonces estar disponible en el WEC para la conversión a energía eléctrica.

40 La invención de los solicitantes reside, en parte, en el uso de aparatos y métodos para aumentar el desplazamiento y la velocidad de la carcasa WEC para aumentar la potencia neta disponible del WEC y para aumentar la salida eléctrica de la PTO del WEC. De acuerdo con un aspecto de la invención, el desplazamiento y la velocidad del WEC se incrementan mediante la aplicación selectiva de energía al WEC durante partes de un ciclo de onda. Esto incluye un sistema basado en ordenador para determinar cuándo debe suministrarse la energía para lograr mejor los resultados deseados. También incluye la selección de señales de sistema apropiadas (por ejemplo, desplazamiento, velocidad, aceleración) para determinar cuándo y cómo se debe suministrar energía a la carcasa WEC. La energía suministrada para accionar la carcasa WEC se obtiene de una fuente de energía suministrada/cargada previamente por la PTO o de una fuente independiente. Aunque la energía es sacada del sistema para mover la carcasa de WEC, el movimiento de la carcasa de WEC es tal que la carcasa producirá más energía como resultado del movimiento y hay una ganancia neta significativa en la energía generada por el WEC.

Como se detalla a continuación, un aspecto de la invención es la capacidad de impartir potencia mecánica de una manera controlada y en tiempos seleccionados controlados a la carcasa WEC para aumentar su desplazamiento y velocidad en puntos seleccionados del ciclo de onda. Esto contrasta con un sistema típico de captura de energía, que sólo puede absorber energía mecánica.

- 5 La invención se aplica a todos los WEC, incluso cuando tienen diferentes fuerzas de restauración posicional. Por ejemplo, una carcasa de WEC sumergida tiende a tener fuerzas de restauración posicional "débiles", mientras que una carcasa de WEC que flota en la superficie del agua tiende a tener fuerzas de restauración posicional "fuertes".

10 Las fuerzas de restauración posicional son fuerzas que tienden a hacer que la carcasa del WEC vuelva a una posición de "reposo" o "neutral". Esta fuerza puede ser el resultado de la restauración hidrostática (es decir, una carcasa flotante volverá a su posición inicial cuando se desplaza) o algún muelle mecánico (por ejemplo, un muelle helicoidal grande fijado entre la carcasa del WEC y el componente de puesta a tierra WEC). "Las fuerzas de restauración" posicional débiles y fuertes se refieren al tamaño de las fuerzas de restauración en relación con las fuerzas de inercia requeridas para oscilar la carcasa WEC a la frecuencia de las ondas superficiales. Mientras que las características generales del aparato y método AIMS son las mismas para los casos de fuerza de restauración posicional fuerte y débil, la operación para los dos casos difiere en algunos aspectos, como se discute más adelante, en cualquier caso, se muestra que mediante la aplicación de la invención la cantidad de energía extraída de las ondas aumenta para ambos casos.

20 Se puede asumir que el movimiento de la carcasa de WEC es sinusoidal, como es el forzamiento de la onda. La relación entre la fase de la carcasa WEC y la fuerza de la onda es tal que cuando la carcasa WEC alcanza su desplazamiento máximo desde su posición neutra y comienza a ser forzada hacia la posición de desplazamiento cero, la fuerza de la ola actúa de tal manera que se acelere la carcasa WEC hacia la posición de desplazamiento cero. En los sistemas de la técnica anterior, la carcasa WEC se permite acelerar hacia la posición de desplazamiento cero y su PTO absorbe parte de la energía mecánica del WEC.

25 En contraste con ello, en sistemas que incorporan la invención, el desplazamiento y la velocidad de la carcasa de WEC se aumentan para producir más energía (potencia). A modo de ejemplo, en el caso de fuerzas de restauración de posición débiles (véase la Figura 13), a medida que la carcasa se desplaza en una dirección (por ejemplo, hacia arriba) y alcanza su desplazamiento máximo (por ejemplo, positivo) desde neutro, su velocidad va hacia cero. El punto (por ejemplo,  $t_A$  en la Figura 13) en el que el desplazamiento y velocidad de la carcasa se convierten en cero (y comienza a aumentar primero) se detecta y se aplica entonces potencia a la carcasa (o el eje) para aumentar su desplazamiento, velocidad y la aceleración. La energía se aplica a la carcasa a través de la PTO (y/o cualquier dispositivo de suministro de energía adecuado - PSD) que imparte energía a la carcasa WEC en lugar de absorber la energía del WEC. Dependiendo del diseño del sistema y de los requisitos del sistema, se puede aplicar potencia durante un intervalo de tiempo más largo o más corto. Este procedimiento se repite cuando la carcasa se mueve en la dirección opuesta (por ejemplo, hacia abajo) y alcanza su desplazamiento máximo (por ejemplo, negativo) (por ejemplo,  $t_B$  en la Figura 13). Es decir, el sistema detecta la velocidad de la carcasa a medida que disminuye y va a cero, y también detecta el punto (y el tiempo) en el que la carcasa ha alcanzado el desplazamiento máximo y empieza a acelerar en la dirección opuesta. El sistema AIMS proporciona entonces al WEC un impulso suministrando energía (potencia) a la carcasa a través de la PTO (y/o cualquier dispositivo de suministro de energía adecuado - PSD). Este procedimiento tiene el efecto de incrementar el desplazamiento de la carcasa WEC (comparado con la técnica anterior) y aumentar sustancialmente la velocidad (y la aceleración) de la carcasa WEC. A medida que la velocidad y la aceleración de la carcasa WEC aumentan "la potencia de onda mecánica absorbida por la carcasa WEC (y la energía posteriormente impartida por la carcasa WEC a su PTO) aumenta drásticamente. El aumento dramático de la potencia absorbida por el WEC puede entonces estar disponible para la PTO que puede absorber el aumento de potencia y convertirlo para producir un aumento de la producción de energía eléctrica. Debe apreciarse que la infusión de potencia está destinada a hacer que el WEC resuene y / o oscile, dando como resultado una operación más eficiente.

35 Así, una vez que la carcasa WEC ha alcanzado una cierta posición, velocidad y/o aceleración, la PTO se utiliza para absorber la energía mecánica del WEC y convertirla en energía eléctrica. En los sistemas AIMS y el método que incorpora la invención, la PTO absorbe energía durante un período de tiempo más corto que en los sistemas de la técnica anterior, pero hay mucha más energía que absorber.

40 El aparato y método AIMS también mejora la eficiencia de conversión de potencia cuando el WEC tiene fuertes fuerzas de recuperación posicional. Una PTO controlada por AIMS mejora el método de la técnica anterior impartiendo energía al WEC durante partes de cada ciclo de onda, aumentando así el desplazamiento máximo y, por tanto, la velocidad del WEC, lo que aumenta la absorción de potencia de onda por parte de la carcasa WEC. Para el caso del WEC que exhibe fuertes fuerzas de restauración posicional, su PTO imparte energía a la carcasa WEC cuando la carcasa se acerca a su desplazamiento máximo. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 12, la carcasa alcanza su desplazamiento máximo en el instante  $t_B$ , pero se aplica potencia a la carcasa WEC antes de ese tiempo. Esto tiene el efecto de retrasar el instante (extendiendo el tiempo) en el que la carcasa WEC alcanza su desplazamiento máximo. Debido a que el WEC alcanza su desplazamiento máximo más adelante en el ciclo de

onda, el WEC alcanza su velocidad pico más tarde. Para este caso, el aparato y método AIMS, controlando la temporización cuando se suministra potencia a la carcasa WEC, hace que el pico de velocidad de la carcasa WEC coincida aproximadamente con la fuerza de la onda pico. Debido a que la potencia de onda mecánica absorbida por la carcasa WEC es el producto de la fuerza de onda y la velocidad de WEC, esto conduce a un aumento en la absorción de potencia mecánica por el WEC, lo que conduce a un aumento en el desplazamiento WEC máximo. Este aumento en el desplazamiento máximo de WEC a su vez conduce a una mayor velocidad de WEC, lo que conduce a una mayor absorción de potencia. Eventualmente, la potencia absorbida deja de aumentar con el aumento de la velocidad y de la carrera del WEC, debido a los efectos de amortiguación, y la incapacidad del campo de onda para ejercer fuerza sobre un objeto que se mueve rápidamente. Por lo tanto, en los sistemas que conforman la invención, para los casos de fuerzas de restauración de posición "débiles" y "fuertes", el desplazamiento y la velocidad máximos (así como la aceleración) de la carcasa WEC aumentan conduciendo a una mayor absorción de potencia por parte del WEC

Para explicar mejor la invención, se hace referencia a las formas de onda mostradas en las Figuras 12 (fuerzas de recuperación "fuertes") y 13 (fuerzas de restauración "débiles"). Supóngase que la forma de onda A representa la fuerza de las ondas oceánicas aplicada a un WEC del tipo mostrado en las figuras (por ejemplo, Figura 11). La forma de onda B representa el desplazamiento del WEC en respuesta a la aplicación de la invención AIMS al sistema. La forma de onda C representa el desplazamiento del WEC de acuerdo con la técnica anterior. Obsérvese que, de acuerdo con la invención, el desplazamiento mostrado en la forma de onda B es significativamente mayor que el desplazamiento visto en la forma de onda C. En los sistemas que conforman la invención, se obtienen desplazamientos mayores (en los dos extremos de la excursión de la envolvente WEC) al impartir energía al WEC en el extremo superior y en el extremo inferior del recorrido de la carcasa WEC, cuando la velocidad de la carcasa va hacia cero, sólo llega a cero y/o pasa a cero). Concurrente con el mayor desplazamiento es un aumento significativo en la velocidad de la carcasa WEC como va desde un extremo de su viaje al otro extremo de su viaje. También hay un beneficio debido al cambio de fase favorable que da como resultado una ganancia de potencia aún mayor. (Como se ha indicado anteriormente, se supone que el árbol está fijo mientras que el depósito se desplaza hacia arriba y hacia abajo con relación al árbol, lo que se hace para facilitar la descripción solamente. En la descripción y en las reivindicaciones adjuntas, ser fijo mientras el árbol se mueve con respecto a la carcasa y/o que el árbol y la carcasa pueden moverse ambos entre sí.)

La parte superior de la Figura 12 (forma de onda A) representa la fuerza de la onda en el WEC. La segunda porción de la Figura 12 (formas de onda B y C) representa el desplazamiento del WEC desde la posición de reposo. La tercera porción de la Figura 12 (formas de onda D y E) representa la fuerza (FPTO) del dispositivo de PTO (PTO). La cuarta parte de la Figura 12 (formas de onda F, H, G, I) representa la potencia instantánea y la potencia media absorbida por la PTO. Las formas de onda F y G representan la potencia instantánea y las formas de onda H e I la potencia media. La ganancia neta en potencia usando la invención puede verse comparando las formas de onda H e I, donde H es claramente más positivo que I.

Las formas de onda de las Figuras 12 y 13 demuestran los beneficios del aparato y método AIMS propuesto cuando se compara con la técnica anterior. La gráfica de potencia instantánea (forma de onda F) absorbida por la PTO indica que la potencia absorbida es a veces negativa. La potencia absorbida negativa implica potencia impartida positiva, lo que significa que la PTO actúa como un motor (PSD) (es decir, está utilizando energía generada previamente o externa para conducir el WEC). Haciendo referencia a la Figura 12, la operación se puede describir brevemente de la siguiente manera: A partir de  $t = 0$  segundos, el WEC ha alcanzado su mayor desplazamiento negativo desde su posición de reposo. En este momento, la PTO comienza a impartir energía (es decir, la PTO actúa para acelerar el WEC), lo que lo conduce hacia arriba. En el ejemplo, a aproximadamente 1,5 segundos, el WEC pasa a través de su punto de reposo, y PTO comienza a extraer energía del WEC (es decir, la PTO actúa para desacelerar el WEC). Obsérvese que en este punto, la velocidad del WEC es grande en relación con el caso sin AIMS. La PTO continúa extrayendo energía del WEC hasta que el WEC alcanza su máximo alcance en aproximadamente 3 segundos. En esta realización del método AIMS, la potencia neta absorbida por la PTO se muestra por la línea horizontal discontinua en la figura. Tenga en cuenta que el rango sobre el cual la PTO extrae energía de la carcasa WEC puede ser controlado y/o variado.

Este método de impartir energía a la boya justo después de que ha alcanzado su máxima extensión tiene el efecto de enviarlo ligeramente pasado su siguiente punto de inflexión "natural", cambiando así la relación de fase entre la fuerza de onda y el movimiento WEC. Cuando se implementa y ejecuta adecuadamente, este cambio en la relación de fase proporciona un beneficio para la conversión de potencia alineando la fuerza de onda con la velocidad del WEC. Obsérvese que en la Figura 12, los máximos en la magnitud de la fuerza de onda ocurren a 1,5 segundos, 4,5 segundos, 7,5 segundos, etc. Esto coincide con el máximo de velocidad del sistema WEC con el aparato AIMS, pero no para el sistema WEC sin el aparato AIMS. Claramente, de acuerdo con la invención, el desplazamiento de la carcasa en la dirección hacia arriba será mayor que lo que sería en el esquema estándar de la técnica anterior; y, asimismo, el desplazamiento de la carcasa en la dirección descendente se extiende significativamente por debajo del fondo para el caso estándar (caso no AIMS). A modo de ejemplo, en la Figura 12, la carcasa sometida al proceso AIMS es desplazada aproximadamente 5 unidades durante el tiempo en que la carcasa (sin AIMS) se desplaza 2 unidades, lo que para este caso indica que la velocidad de la carcasa se ha más que duplicado.

5 Como se ha explicado anteriormente, la eficiencia de un WEC puede aumentarse significativamente ajustando selectivamente las características del muelle del sistema ( $\alpha$ ) y de la amortiguación de la carga (carga  $\beta$ ) para que se adapten a las condiciones de las olas. El aparato para realizar esta afinación se ilustra en las Figuras 7A, 7B, 7C, 8, 11 y 11A. La constante del muelle del sistema corresponde al desplazamiento del WEC (por ejemplo, la carcasa) y la constante de amortiguación de carga corresponde a la potencia tomada por el PTO del WEC (y convertida en energía eléctrica útil). De acuerdo con la invención, la constante del muelle del sistema puede ajustarse suministrando selectivamente energía al WEC.

10 En el sistema básico de adaptación de impedancia activa (AIMS), la corriente de salida de la PTO (asumida como un generador para facilitar la descripción) se controla de tal modo que la carcasa (asumida, a modo de ejemplo, como elemento móvil) se pone en resonancia con las ondas. Suponiendo que la PTO funcione normalmente como un generador, el sistema AIMS requiere que el generador actúe también como un motor para porciones de cada ciclo de onda y como generador para otras porciones de cada ciclo de onda. La energía eléctrica útil o de salida se genera durante la mayor parte del ciclo de onda (cuando la PTO funciona como un generador) y se almacena. 15 Alguna energía almacenada (o externa) es devuelta al sistema durante las porciones "motorizadas" del ciclo de onda. El sistema AIMS incluye un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes, condensadores, varios sensores y algoritmos de control basados en ordenador como se muestra en las figuras.

20 En las Figuras 7A, 7B y 7C se muestra un procesador embebido u ordenador 700 de control que muestrea continuamente diversos sensores, incluyendo la carcasa WEC, la posición y la velocidad y/o la aceleración. Un algoritmo que reside en este ordenador 700 de control determina las instrucciones de consigna de corriente de generador que se envían continuamente a un convertidor 702 de potencia de cuatro cuadrantes. Este convertidor 702 puede cargar el generador o accionar el generador de modo que funciona como un motor (por ejemplo, carga de corriente positiva o negativa determinada por el ordenador de control).

25 Un "convertidor de cuatro cuadrantes" permite aplicar un par (o fuerza) positivo o negativo a un motor/generador mientras el motor/generador está acelerando o desacelerando. Así, es posible con un convertidor de cuatro cuadrantes tener las siguientes cuatro condiciones: 1) par positivo (par para un generador eléctrico rotatorio o fuerza para un generador eléctrico lineal) con velocidad positiva, 2) par positivo (fuerza) con velocidad negativa, 3) par negativo (fuerza) con velocidad positiva, y 4) par negativo (fuerza) con velocidad negativa.

30 En el caso de un sistema con un motor/generador eléctrico lineal (por ejemplo, un LEG), la fuerza es el parámetro controlado, y es aproximadamente proporcional a la corriente del generador. En el caso de un sistema con un motor/generador rotativo, el par es el parámetro controlado que es aproximadamente proporcional a la corriente del generador. El término "motor/generador" se utiliza aquí porque la máquina electromecánica puede funcionar en cualquiera de los modos, dependiendo de la polaridad del par (fuerza) y de la velocidad.

35 En la Figura 7A, se muestra un dispositivo de PTO (PTO) 706A conectado entre una carcasa 5 del WEC y su columna o árbol 3, que se supone que está mecánicamente conectado a tierra. La PTO 706A puede ser cualquier tipo de generador/motor eléctrico o cualquier tipo de dispositivo mecánico o hidráulico tal como, por ejemplo, una disposición de engranajes de piñón y cremallera, una disposición de bola y tornillo, un cilindro hidráulico, un motor hidráulico y/o cualquier aparato que pueda convertir el movimiento mecánico entre la carcasa y el árbol en energía eléctrica.

40 La PTO se muestra conectada a un generador/motor eléctrico rotativo 704A que está conectado a un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes 702. En la Figura 7A se muestra un ordenador 700 o microprocesador embebido al cual se aplica: (a) datos relativos a la posición de la carcasa con respecto al árbol; y (b) datos relativos a la velocidad de la carcasa con relación al árbol. Los datos de aceleración también pueden ser suministrados o determinados por el ordenador. El ordenador 700 está programado para producir señales 701 de corriente deseadas que se aplican al convertidor 702 de potencia en respuesta a una condición predeterminada o programada de velocidad, desplazamiento y otros criterios (por ejemplo, aceleración) ajustados en el ordenador. 45

50 El objetivo principal del sistema es hacer que la PTO 706A y el generador 704A conviertan la energía de onda absorbida por la carcasa WEC en energía electromecánica y para producir de la manera más eficiente posible una tensión y corriente de salida en la salida 720 del convertidor 702 de potencia. La salida 720 del convertidor 702 de potencia puede aplicarse a una carga simple o compleja. La carga puede incluir: a) un convertidor DC/DC 721 acoplado a un banco de condensadores 722 (o batería) donde se almacena la energía eléctrica; y/o b) una carga DC 723 y una fuente DC 724; y/o c) un inversor 725 para generar una señal de potencia de AC (cuya frecuencia y amplitud es controlada) que se puede aplicar a una carga de AC 726 o a una fuente de AC 727.

55 En los sistemas que incorporan la invención, durante ciertas porciones del ciclo de la ola oceánica, bajo el control del ordenador 700, la alimentación desde el sistema se suministra a través del convertidor 702 al generador/motor 704A que entonces acciona la PTO 706A de manera que la energía (potencia) se suministra a la carcasa para hacer que se mueva en una dirección que producirá una ganancia de potencia total. Es decir, utilizando energía del sistema



para accionar la carcasa y controlando el tiempo y la manera en que se suministra la energía a la carcasa WEC, se obtiene una energía más útil de las ondas y del sistema que en la técnica anterior.

5 La señal de datos de posición mostrada en la figura 7A puede ser un componente de mando actual que es una función del desplazamiento de la carcasa WEC. Este componente representa una característica de "muelle". Un desplazamiento grande de la carcasa WEC desde una posición cero da como resultado una corriente grande y una fuerza del generador resultante para devolver la carcasa WEC al punto nulo. La señal de datos de velocidad es otro componente de mando actual que representa una característica "resistiva" o de amortiguación. Una alta velocidad de la carcasa del WEC da como resultado un alto voltaje del generador. La corriente del generador, determinada por el algoritmo de control y el convertidor de potencia de cuatro cuadrantes, es alta en este caso. Por lo tanto, la corriente programada del generador consiste en un componente real y reactivo.

10 Como se muestra en la Figura 7A, una corriente alterna generada por la PTO 706A y el generador 704A eléctrico rotatorio puede convertirse en DC por el convertidor modulado en anchura de impulsos de cuatro cuadrantes 702. La corriente de salida DC de este convertidor de cuatro cuadrantes es principalmente DC con una componente variable que sigue la potencia del generador. El componente de DC es proporcional a la potencia media del convertidor de cuatro cuadrantes. Para mantener la potencia a la carga positiva y constante, la alimentación desde el controlador del generador se alimenta a un bus DC soportado por uno o más bancos de condensadores (o algún otro dispositivo de almacenamiento de energía). Los condensadores almacenan energía cuando la salida del generador excede la demanda del inversor y liberan energía cuando la salida del generador está por debajo de la demanda del inversor. La demanda del inversor se cambia lentamente para mantener el balance energético de los condensadores.

15 Este sistema requiere que una cierta energía sea alimentada de nuevo en el convertidor de la energía de la onda durante una porción de cada ciclo de la onda. Como se ha descrito anteriormente, esta energía puede ser aquella que se ha almacenado en condensadores. Para aplicaciones en las que la energía de energía de las olas se alimenta a una red de energía eléctrica, la energía que se devuelve al convertidor de energía de onda puede ser suministrada por la red eléctrica de la red pública. La potencia neta promedio de la red eléctrica será positiva.

20 La Figura 7B es en general similar a la Figura 7A, excepto el dispositivo de extracción de potencia que se muestra que incluye un conjunto 706B de imán permanente (PMA) y un conjunto 704B de bobinas de inducción (ICA) para formar un generador eléctrico lineal (LEG). En la Figura 7B, se muestra que el conjunto de bobina está mecánicamente conectado a tierra. Esto sugiere que el PMA está conectado a la envolvente móvil 5, provocando que se produzca voltaje y corriente a través de las bobinas de la ICA. La tensión y la corriente generadas por las bobinas se suministran al convertidor 702 de potencia modulado en anchura de impulso de 4 cuadrantes. Como en la Figura 7A, el funcionamiento del convertidor 702 de potencia es controlado por el dispositivo de cálculo 700 que controla la extracción de potencia y el suministro de potencia en respuesta a los datos de posición y velocidad (y aceleración) generados por el movimiento de la carcasa con relación al árbol. Bajo el control del ordenador, el convertidor 702 determina a su vez cuándo y cómo se extrae la energía de la carcasa WEC y cuando se suministra energía a la carcasa WEC. En la Figura 7B, se suministraría energía a las bobinas o se extraería de las bobinas. El funcionamiento del sistema es similar al de la Figura 7A y no necesita ser detallado

25 La Figura 7C es en general similar a la Figura 7B, con la excepción de que en esta configuración del WEC, tanto el árbol 101a como la carcasa 101b pueden desplazarse uno con respecto al otro.

30 Los elementos clave del sistema AIMS que incorpora la invención incluyen los siguientes:

1. AMORTIGUADOR DE ENERGÍA DE ONDA Este componente (que puede estar formado por la combinación de la carcasa y el árbol del WEC) absorbe energía mecánica de las olas oceánicas y aplica una fuerza a un dispositivo de PTO (PTO).

45 2. DISPOSITIVO DE APAGADO DE ENERGÍA (PTO) - Este componente, típicamente conectado entre el árbol y la carcasa del WEC, convierte la fuerza lineal y el movimiento del absorbedor de energía de la onda y lo convierte en una forma de fuerza intermedia o final utilizable y movimiento. Por ejemplo, este componente podría ser un cilindro hidráulico que convierte la fuerza y el movimiento lineales en la presión y el flujo del fluido hidráulico. Este componente también podría ser un dispositivo que traduce la fuerza y el movimiento lineal al par rotativo y al desplazamiento angular. Este componente puede ser también un generador eléctrico lineal (LEG) unido a la carcasa y al árbol y que puede convertir su movimiento relativo en una corriente alterna y corriente alterna

50 3. CONVERTIDOR MECÁNICO-ELÉCTRICO- Este componente convierte la fuerza lineal mecánica (o par) y el desplazamiento lineal (o desplazamiento angular) a corriente eléctrica y voltaje, y viceversa. Como ejemplo, este componente podría ser un generador de imán permanente que también puede actuar como un motor.

4. TIERRA MECÁNICA- se refiere a una parte de la PTO (carcasa o árbol) mantenida relativamente estacionaria de modo que la PTO puede someterse a una fuerza aplicada por el ABSORBEDOR DE ENERGÍA DE ONDA. Este componente podría estar a lo largo de la espiga (árbol) anclada al fondo del océano.
5. CONVERTIDOR DE ENERGÍA DE CUATRO CUADRANTES Un "convertidor de cuatro cuadrantes" es un dispositivo electrónico que permite aplicar un par positivo o negativo (o fuerza) a un motor o generador mientras el motor o generador está acelerando o desacelerando. Por lo tanto, es posible con un convertidor de cuatro cuadrantes tener las siguientes cuatro condiciones: 1) par positivo (fuerza) con velocidad positiva, 2) par positivo (fuerza) con velocidad negativa, 3) par negativo (fuerza), y 4) par negativo (fuerza) con velocidad negativa. En el caso de un sistema con motor/generador lineal, la fuerza es el parámetro controlado, y es aproximadamente proporcional a la corriente del generador. En el caso de un sistema con un motor/generador rotativo, el par es el parámetro controlado que es aproximadamente proporcional a la corriente del generador. El término "motor/generador" se utiliza aquí porque la máquina electromecánica puede funcionar en cualquiera de los modos, dependiendo de la polaridad del par (fuerza) y de la velocidad. El convertidor de cuatro cuadrantes es generalmente un dispositivo modulado en anchura de impulso (PWM) compuesto por un número de conmutadores de estado sólido y componentes de almacenamiento de energía. El ciclo de trabajo de los conmutadores de estado sólido se controla de manera que regula el flujo de corriente dentro y fuera del motor/generador.
6. BANCO (722) DE CONDENSADOR - funciona para almacenar energía eléctrica durante la parte del generador del ciclo de onda y para liberar energía eléctrica durante la porción de motor del ciclo de onda. El banco de condensadores puede conectarse directamente al bus de DC conectado al CONVERTIDOR DE CUATRO CUADRANTES o alimentarse al bus de DC mediante un convertidor de potencia bidireccional
7. CONVERTIDOR BIDIRECCIONAL DC/DC - regula el flujo de energía eléctrica dentro y fuera del BANCO CONDENSADOR. El flujo de energía puede ser controlado para mantener un voltaje constante del bus de DC o mantener el estado de carga del banco de condensador.
8. INVERSOR (725) - puede ser un dispositivo modulado en anchura de pulso que convierte la corriente continua en corriente alterna altamente regulada. Si se desea, este dispositivo puede ser bidireccional de modo que la corriente alterna pueda convertirse en corriente continua que pueda alimentar al convertidor cuádruple y conducir de nuevo el generador eléctrico (es decir, el convertidor mecánico a eléctrico).
9. CARGA (723) DE DC - es el usuario final de la potencia generada por el convertidor de energía de onda en ciertas aplicaciones.
10. FUENTE DE DC (724) - puede ser una fuente de energía que es devuelta al generador a través del generador eléctrico. Este componente generalmente no se requeriría para los sistemas conectados y que suministrarán energía a una red eléctrica de la red pública.
11. CARGA (726) DE AC - es el usuario final o los usuarios de la energía generada por el convertidor de energía de onda en ciertas aplicaciones.
12. FUENTE (727) DE AC - es la fuente de alimentación de AC en una aplicación de sistema de alimentación de CA.
13. SENSORES DE DESPLAZAMIENTO (731) Y/O VELOCIDAD (733) Los sensores de desplazamiento (por ejemplo, 731 en la Figura 7A) detectan el desplazamiento del absorbedor de energía de la onda con respecto a la masa mecánica o, en el caso de un sistema de absorción doble, detectan el desplazamiento relativo de los dos elementos absorbentes de energía de las ondas. Un sensor de velocidad separado (por ejemplo, 733 en la Figura 7A) puede detectar la velocidad relativa del absorbedor de energía de la onda con respecto a la masa mecánica o, en el caso de un sistema de absorción doble, detecta la velocidad relativa de la absorción de energía de dos ondas elementos.
14. PROCEDIMIENTO INTEGRADO U ORDENADOR (por ejemplo, 201, 700 y 81) - es un dispositivo computacional que recibe entradas de datos de varios sensores, recibe entradas de parámetros y/o modos de funcionamiento de un operador del sistema y transmite salidas al cuadrante de cuatro cuadrantes convertidor. La salida incluye una señal que ajusta el punto de consigna de corriente alterna del convertidor de cuatro cuadrantes. El dispositivo de cálculo

(por ejemplo, 700 en la Figura 7A) se puede programar y utilizar para controlar cuándo y cómo se extrae la potencia del WEC y cuándo se suministra potencia al WEC.

15. Procesador para algoritmos de control-

5 Este componente (que puede ser parte del ordenador) recibe datos que indican el desplazamiento relativo del amortiguador de la energía de la onda y del terreno mecánico, o en el caso de un sistema de doble amortiguador, recibe datos que indican el desplazamiento relativo entre los dos elementos de absorción de energía de onda. El algoritmo puede calcular la derivada temporal de este desplazamiento relativo para determinar la velocidad relativa entre el absorbedor de energía de la onda y la masa mecánica o entre dos elementos de absorción de energía de las ondas. Alternativamente, la velocidad puede suministrarse al algoritmo de control mediante un sensor de  
10 velocidad. Además, el algoritmo puede calcular la derivada temporal de la velocidad para determinar la aceleración de la carcasa o árbol.

15 Este componente puede usarse para determinar un valor deseado para la corriente del motor/generador ( $I_{GENSET}$ ) como una función del desplazamiento y velocidad del absorbedor(es) de energía de la onda. Esta corriente es una función del desplazamiento ( $x$ ) del absorbedor de energía de la onda desde una posición neutra ( $x-x_0$ ), también aumenta el componente "muelle" de la corriente de motor/generador deseada ( $I_{GENSET}$ ). El valor deseado de la corriente del motor/generador es también una función de la velocidad del absorbedor de energía de la onda. A medida que aumenta la velocidad del absorbedor de energía de la onda, también aumenta el componente de "amortiguación" de la corriente de motor/generador deseada. La corriente de motor/generador deseada es la suma algebraica del muelle y componente de amortiguación:  
20

$$I_{GENSET} = \alpha (x-x_0) + \beta x' + \mu x''$$

25 Donde:  $\alpha$  es la constante de muelle que relaciona la corriente del generador deseada con el desplazamiento lineal del absorbedor de energía de onda respecto a un punto neutro deseado ( $x-x_0$ ),  $\beta$  es la constante de amortiguación que relaciona la corriente de motor/generador deseada con la velocidad del absorbedor de energía de onda ( $x'$ ),  $\mu$  es la masa constante que relaciona la corriente de motor/generador deseada con la aceleración del absorbedor de onda ( $x''$ ),  $x$  es el desplazamiento lineal del absorbedor de energía de la onda,  $x_0$  es el punto neutro (o nulo) del absorbedor de energía de la onda deseado,  $x'$  es la constante de masa que relaciona la corriente deseada del motor/generador con la aceleración,  $x'$  es la derivada temporal del desplazamiento lineal (es decir, la velocidad) y  $x''$  es la derivada temporal de la velocidad lineal. Este valor deseado para la corriente del motor/generador se convierte en una señal eléctrica que puede ser recibida por el convertidor de cuatro cuadrantes.  
30

Haciendo referencia a la Figura 8 (y la Figura 11), se muestra un amortiguador 5 de energía de onda (carcasa WEC). Se aplica una fuerza  $F_{wave}$  a la carcasa 5 que la hace moverse. La posición o desplazamiento ( $x$ ) de la carcasa 5 puede ser detectado o medido (por ejemplo, a través de los sensores 731) a medida que la carcasa se desplaza con relación al árbol 3 (no mostrado). El desplazamiento puede expresarse como una función de una posición cero  $x_0$ , con la carcasa moviéndose hacia arriba y hacia abajo con relación a la posición cero. La velocidad ( $v$ ) de la carcasa puede calcularse (módulo 810) determinando  $dx/dt$  o utilizando un sensor de velocidad. La aceleración ("a") de la envolvente puede calcularse (módulo 810a) determinando  $dv/dt$  o utilizando un sensor de aceleración. El desplazamiento, la velocidad y la aceleración de la carcasa se suministran a un controlador incorporado o ordenador 81 (que puede ser equivalente al ordenador 700 de la Figura 7A). El ordenador 81 se muestra que incluye la sección 810 de procesamiento de datos para calcular la velocidad de la carcasa (si no se utiliza un sensor independiente para realizar esta función). También se muestra que el ordenador 81 incluye una sección 811 de procesamiento para determinar el desplazamiento de la carcasa con respecto a la posición cero ( $x_0$ ) para producir una señal referida como el error de posición de casco ( $x-x_0$ ). También se muestra que el ordenador 81 incluye una base de datos y una sección 812 de procesador en la que pueden suministrarse (y almacenarse) diversos parámetros tales como la masa y el volumen y el desplazamiento del WEC para generar: (a) un término que representa la constante de muelle ( $k$ ) del CME; y (b) un término que representa la constante de amortiguación ( $b$ ) del WEC. Obsérvese que la constante de muelle ( $k$ ) representa y es una función de las fuerzas que tienden a devolver la carcasa a su posición cero y depende de la posición. Obsérvese también que la constante de amortiguación ( $b$ ) representa y es una función de la potencia sacada del sistema y pérdidas del sistema y depende de la velocidad. El ordenador 812 también se muestra que incluye una sección 813 de procesador a la que se suministran las siguientes señales: (a) constante de muelle ( $\alpha$ ), (b) constante de amortiguación ( $\beta$ ); (c) la constante de masa ( $m$ ), (d) la velocidad de la carcasa ( $v$ ), (e) la posición neutra de la carcasa ( $x_0$ ) y (f) la señal de error de la posición de la carcasa ( $x-x_0$ ).  
45  
50

55 El procesador 813 está programado para calcular la fuerza, denominada FPTO. La aplicación de esta fuerza puede requerir que se suministre energía al WEC. Sin embargo, el efecto neto de su aplicación es que tiende a optimizar la respuesta del WEC ya aumentar la potencia neta producida por el WEC y por lo tanto su eficiencia. El procesador

determina FSPRING, FDAMPER y FMASS que cuando se suma FPTO igual que, como se muestra en la Figura 8 también puede expresarse como:

$$F_{PTO} = F_{SPRING} + F_{DAMPER} + F_{MASS} = \alpha (x - x_0) + \beta \dot{x} + \mu \ddot{x}. \quad \text{Eq. A}$$

5 El procesador 813 está también programado para suministrar datos digitales a un circuito de interfaz digital a analógico 814 para producir una señal de punto de ajuste de corriente de generador denominada I<sub>GENSET</sub> que es una función de F<sub>PTO</sub>. La señal digital I<sub>GENSET</sub> se aplica a una entrada de un convertidor 90 de potencia de 4 cuadrantes (que puede ser como el convertidor 702 de la Figura 7A). El convertidor de potencia de 4 cuadrantes 90 se muestra conectado entre el bloque 90 y el bloque 110. El bloque 100 puede incluir la carga accionada por el WEC y/o una fuente de alimentación cargada por el WEC y o un suministro para almacenar energía que se puede usar para proporcionar una corriente a la PTO 114. La Figura 8 muestra una corriente de generador I<sub>GEN</sub> producida por el convertidor 90 de potencia que se aplica a un generador 112 (que cuando se acciona funciona como un motor) para aplicar una fuerza o un par a una PTO del dispositivo 114 para producir una fuerza de PTO deseada (F<sub>PTO</sub>), que se muestra que se suma (simbólicamente en el verano 120) para producir la fuerza neta aplicada a la carcasa 5. Se debe apreciar que el convertidor de potencia controla la corriente del generador a producir la fuerza de la PTO deseada (F<sub>PTO</sub>).

Características de la FPTO utilizada en la práctica de la invención.

F<sub>PTO</sub> es positivo si  $\alpha x + \beta \dot{x} + \mu \ddot{x} > 0$

F<sub>PTO</sub> es negativo si  $\alpha x + \beta \dot{x} + \mu \ddot{x} < 0$

20 Ignorando la parte  $\mu \ddot{x}$ , se puede ver que la fuerza de la PTO puede ser positiva cuando el WEC está por encima o por debajo del punto neutro, todo depende de la suma de los cálculos  $\alpha x$  y  $\beta \dot{x}$ . Por ejemplo, son dos casos cuando el WEC está por encima del punto neutro. En un caso, la velocidad está en una dirección que da lugar a una fuerza que soporta la fuerza del muelle. En el otro caso la velocidad está en una dirección que da lugar a una fuerza que se opone. Por lo tanto, es necesario calcular  $\alpha x + \beta \dot{x}$ .

25 En el cálculo del algoritmo de optimización, los cálculos pueden incluir las etapas de determinar la frecuencia (f) de las ondas que afectan al WEC, donde  $\omega = 2\pi(f)$ ; determinar la masa (M) del WEC; determinar el factor de restauración hidrostático (k); determinar la fuerza del muelle del WEC (amortiguación b); y definiendo  $\alpha = [M(\omega^2)] - k$ ; definiendo  $\beta = b$ ; (c) determinar la posición X; determinando la velocidad v (donde  $v = dx/dt$ ) y calculando la fuerza deseada  $F_{(pto)} = \alpha x + \beta v$ ; y aplicando F a WEC.

30 La Figura 9 ilustra las funciones realizadas por el convertidor de potencia de cuatro cuadrantes 90 (702 en la Figura 7A). La función del convertidor 90 de potencia es conceptualmente similar para (a) el caso de un motor/generador giratorio usado conjuntamente con, o como, el dispositivo de PTO, o (b) el caso de un motor/generador lineal usado conjuntamente con, o como, el dispositivo de PTO. Sin embargo, en el caso del motor/generador rotativo debido a la rotación del motor/generador, el gráfico de velocidad del par está en términos de velocidad angular (mostrado a lo largo del eje Y) y par (mostrado a lo largo de la abscisa) y los 4 cuadrantes puede describirse como sigue: (a) par negativo, velocidad positiva; (b) par positivo, velocidad positiva; (c) par positivo, velocidad negativa; y (d) par negativo, velocidad negativa. Para el caso del motor/generador lineal, el diagrama de velocidad de la fuerza muestra la velocidad lineal a lo largo del eje Y y la fuerza a lo largo del eje X y los 4 cuadrantes pueden describirse como sigue: (a) fuerza negativa, velocidad positiva; (b) fuerza positiva, velocidad positiva; (c) fuerza positiva, velocidad negativa; y (d) fuerza negativa, velocidad negativa.

40 La Figura 10 es un diagrama esquemático de parte del convertidor de 4 cuadrantes que ilustra que las corrientes de salida producidas por el generador son detectadas y las señales detectadas son suministradas a un dispositivo (700, 81) de cálculo. El dispositivo de cálculo suministra señales de encendido y apagado a los conmutadores T1-T6, mostrados en la figura. La Figura 10 muestra una realización de un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes utilizado para controlar la corriente y el par de un motor/generador rotatorio de corriente continua sin escobillas de tres fases o la fuerza de un motor/generador eléctrico lineal de corriente continua sin escobillas de tres fases. En este ejemplo, una señal que refleja la corriente del generador deseada (o fuerza o par) es enviada desde el controlador del sistema (computadora) al convertidor cuádruple. Este punto de consigna ha sido calculado por el controlador del sistema y es una función de la posición de la percha de carcasa, velocidad y/o aceleración. Las señales de posición del generador se envían desde un sensor (típicamente un codificador o resolver) al convertidor de cuatro cuadrantes. El convertidor de cuatro cuadrantes tiene un procesador incorporado que recibe estos dos conjuntos de señales junto con la corriente actual del generador y controla los seis interruptores de potencia (transistores en este ejemplo) para encender y apagar en el momento apropiado para lograr la corriente deseada. A medida que el punto de ajuste se actualiza continuamente y la posición actual del motor/generador está cambiando

continuamente, los interruptores de alimentación del convertidor de cuatro cuadrantes se activan y desactivan para obtener la corriente del motor/generador deseada.

5 La Figura 11 muestra un LEG conectado entre el árbol y la carcasa de un WEC. En esta figura, el PMA está conectado/acoplado al árbol y el conjunto de bobina de inducción (ICA) está unido a la carcasa. En una aplicación típica, a medida que el árbol se desplaza en relación con la carcasa (o viceversa), los voltajes y corrientes generados a través de las bobinas del ICA, en respuesta al movimiento relativo, son alimentados a través de los interruptores S1 y S2 a la carga. Los conmutadores S1 y S2 pueden ser controlados por el ordenador 81. Para facilitar la ilustración se supone que la carga es un condensador utilizado para almacenar la energía generada en las bobinas.

10 En la Figura 11, se muestra una fuente de potencia (724, 727) que está conectada a través de las bobinas a través de los conmutadores S3 y S4. El encendido y apagado de estos conmutadores es controlado por el ordenador 81 del controlador. Obsérvese que hay una carga variable (VL) acoplada a través del conmutador S5 a través de la carga. El conmutador S5 también puede ser controlado por el ordenador 81. La fuente 724, 727 de alimentación puede ser una fuente de alimentación independiente o puede ser parte de una fuente de alimentación asociada con la carga que es cargada por la energía obtenida de las bobinas del ICA.

15 Mediante el control de los conmutadores S3 y S4 y la naturaleza de la fuente 724, 727 de alimentación, pueden aplicarse corrientes y voltajes a través de las bobinas para devolver selectivamente energía a la carcasa/árbol y lograr un grado de adaptación de impedancia activa.

20 El control de la conmutación de S1, S2, S3 y S4 permite: (a) extraer energía de la carcasa/árbol y suministrarla a la carga; o (b) para que la energía se suministre al casco/árbol. Los interruptores pueden ser controlados en respuesta a señales de posición, velocidad o aceleración aplicadas o desarrolladas por el ordenador. El ordenador puede utilizarse para controlar la apertura y el cierre de los conmutadores y la alimentación desde el suministro de tal manera que se pueda aplicar un par positivo o negativo (o fuerza) a el LEG (funcionando como un motor o generador) y, por lo tanto, al árbol y mientras que el árbol o carcasa (motor o generador) está acelerando o desacelerando. Por lo tanto, es posible tener las siguientes cuatro condiciones: 1) par positivo (fuerza) con velocidad positiva, 2) par positivo (fuerza) con velocidad negativa, 3) par negativo (fuerza) con velocidad positiva y 4) par negativo (fuerza) con velocidad negativa.

25 La Figura 11A también muestra un LEG conectado entre el árbol y la carcasa de un WEC. La Figura 11A muestra que la salida del ICA está acoplada a un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes (90, 702) cuya salida está conectada a la carga (723, 721, 722) para suministrar la carga cuando se extrae una salida eléctrica del conjunto de bobina. En respuesta a señales de posición, velocidad o aceleración, el ordenador 81 puede generar señales aplicadas al convertidor 90 de potencia que permite al convertidor suministrar entonces energía al ICA para hacer que la carcasa se mueva con relación al árbol (o viceversa).

35 Debe apreciarse que la invención de los Solicitantes incluye aparatos y métodos para controlar la fuerza trasera de la PTO ( $F_{PTO}$ ) de una manera que aumenta la potencia generada por un WEC. La PTO puede ser un generador eléctrico lineal (LEG) o una combinación de un trasladador giratorio lineal (por ejemplo, cremallera y piñón) y un generador giratorio. El  $F_{PTO}$  de la PTO se controla de tal manera que la  $F_{PTO}$  es una función de la posición de la carcasa (relativa al larguero) y la velocidad o la posición de la carcasa y la aceleración de la carcasa. La posición, la velocidad y las cargas dependientes de la aceleración se controlan de manera que se logre una "casi resonancia" de la boya (es decir, la fuerza de la PTO combinada con la masa natural del WEC y el comportamiento similar al muelle hacen que el sistema WEC se comporte como un amortiguador de masa sistema en resonancia con el período predominante de excitación de onda incidente en el WEC).

40 La  $F_{PTO}$  que puede ser positiva o negativa puede expresarse como:

$$F_{PTO} = \alpha \cdot x + \beta \cdot \dot{x} + \mu \cdot \ddot{x}$$

45 Donde  $x$  es la posición de la percha de la carcasa respecto a un punto "neutro" deseado,  $\dot{x}$  es la velocidad de la percha de la carcasa  $\ddot{x}$  es la percha de la carcasa,  $\alpha$  es un coeficiente del muelle,  $\beta$  es un coeficiente de amortiguación y  $\mu$  es un coeficiente de masa.

5 Los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\mu$  se eligen para las condiciones de onda existentes de una manera que optimiza la captura de energía de las olas por el WEC. Estos parámetros pueden ser elegidos por un operador y descargados a un ordenador de control WEC, o pueden ser determinados por un ordenador de a bordo WEC utilizando diversos algoritmos alternativos. Un método simple de selección de parámetros es determinar el período de las ondas predominantes y seleccionar los parámetros para lograr la resonancia para este período de onda.

La fuerza PTO ejercida entre la carcasa y la percha puede obtenerse por uno de los siguientes:

10 1. una combinación de un generador eléctrico lineal, un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes que controla la corriente hacia/desde el generador, y un controlador que emite continuamente órdenes de ajuste de corriente (o fuerza) al convertidor de potencia de cuatro cuadrantes con el objetivo de impulsar la PTO (es decir, el LEG en este caso) para ejercer una fuerza entre la carcasa y la percha que es una función de la posición y la velocidad de la carcasa-percha, o la aceleración y velocidad de la carcasa-percha.

15 2. una combinación de un dispositivo que traslada la fuerza lineal y el movimiento lineal al par rotativo y al movimiento giratorio (por ejemplo, cremallera y piñón, pistón hidráulico con motor hidráulico), un generador eléctrico rotatorio, un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes que controla la corriente a/desde el generador y un controlador que emite continuamente órdenes de ajuste de corriente (o par) al convertidor de potencia de cuatro cuadrantes con el objetivo deseado de impulsar la PTO para ejercer una fuerza entre la cubierta y la percha, la posición y la velocidad de la percha, o la aceleración y velocidad de la percha de la carcasa.

20 El convertidor de potencia de cuatro cuadrantes puede conducir el generador eléctrico lineal (o rotatorio) a 1) ejercen una fuerza positiva (o par) cuando la velocidad del generador es positiva, 2) ejercen una fuerza positiva (o par) cuando la velocidad del generador es negativa, 3) ejercen fuerza negativa (o par) cuando la velocidad del generador es positiva, y 4) ejercen fuerza negativa (o par) cuando la velocidad del generador es negativa.

25 El convertidor de potencia de cuatro cuadrantes suministra potencia y extrae energía de un bus de potencia de DC para permitir que el generador y la PTO realicen la función de fuerza deseada. El bus de DC puede suministrar energía a una carga de DC y/o una carga de AC a través de un convertidor de CC/ AC (inversor). La energía de DC también puede suministrarse a un dispositivo de almacenamiento de energía tal como una batería electroquímica o un banco de condensadores, ya sea directamente o a través de un convertidor de CC/CC. El bus de potencia de DC puede recibir energía de una batería electroquímica o banco de condensadores, ya sea directamente o a través de un convertidor DC/DC. El convertidor DC y el convertidor de cuatro cuadrantes también pueden recibir energía de  
30 una fuente de AC a través de un convertidor AC/DC.

Reivindicaciones

1. Una combinación que comprende:

5 un convertidor de energía de ondas (WEC) que tiene un árbol y una carcasa destinados a ser colocados en un cuerpo de agua, pudiendo moverse el árbol y la cubierta uno con relación a otro en respuesta a fuerzas aplicadas al WEC por ondas en el cuerpo de agua;

medios de toma (PTO) conectados entre el árbol y el depósito para: extraer energía del WEC y para producir energía eléctrica de salida en función del movimiento relativo entre la carcasa y el árbol; y

10 medios para detectar y determinar los seleccionados de entre desplazamiento, velocidad y aceleración de uno de la carcasa y el árbol y, en respuesta a señales indicativas de que uno de la carcasa y el árbol está en, o cerca de, su desplazamiento máximo y la velocidad de dicha una de las carcasas y el árbol va hacia cero o simplemente pasa a cero, la energía eléctrica es suministrada selectiva y activamente a uno de la carcasa y el árbol para provocar un aumento en el desplazamiento y la velocidad de uno de la carcasa y árbol con relación a la otra cambiando de este modo la relación de fase entre las fuerzas de las ondas y el movimiento del WEC para aumentar la cantidad neta de energía eléctrica de salida producida por dichos medios de PTO.

15 2. La combinación de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichos medios para extraer energía y dichos medios para suministrar energía selectivamente incluyen un aparato capaz de ser operado bidireccionalmente, tanto en dirección como en fuerza, con el fin de extraer y suministrar energía selectivamente, y en el que la carcasa tiende a moverse en fase con las ondas y diferencialmente con respecto al árbol; y en el que dichos medios para detectar y determinar los seleccionados de entre desplazamiento, velocidad y aceleración de la carcasa y el árbol incluyen  
20 medios para detectar el punto en el que la carcasa alcanzaría su desplazamiento máximo debido a las ondas y para suministrar energía a dicha carcasa para aumentar su desplazamiento más allá del nivel debido a las olas.

3. La combinación de acuerdo con la reivindicación 2, en la que dicho aparato bidireccional incluye uno de un generador eléctrico lineal (LEG) también capaz de funcionar como un motor, un generador/motor lineal y un generador/motor giratorio.

25 4. La combinación de acuerdo con la reivindicación 2, en la que los medios para detectar y determinar los seleccionados de entre el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de uno de la carcasa y el árbol y para selectiva y activamente suministrar energía a uno de la carcasa y el árbol incluye un dispositivo de cálculo y en el que se aplican al dispositivo de cómputo señales indicativas del desplazamiento y de la velocidad de uno de la carcasa y del árbol uno con respecto al otro y, en respuesta a las señales indicativas de que uno de la carcasa y el árbol está en, o cerca de, el extremo superior y el extremo inferior de su recorrido y la velocidad de dicho uno de la carcasa y el árbol va hacia cero o simplemente pasa a cero, la energía eléctrica es suministrada selectivamente a dicha uno de la carcasa y el árbol para extender su desplazamiento y aumentar su velocidad.

35 5. La combinación de acuerdo con la reivindicación 2, en la que los medios para detectar y determinar los seleccionados del desplazamiento, velocidad y aceleración de uno de la carcasa y el árbol y para suministrar selectiva y activamente energía a uno de la carcasa y el árbol incluye un dispositivo de cálculo y en el que las señales indicativas de al menos uno de desplazamiento, velocidad y aceleración de uno de la carcasa y el árbol uno con respecto al otro, se aplican al dispositivo de cálculo y, en respuesta a señales indicativas de que una de la carcasa y el árbol está en o cerca de, el extremo superior e inferior de su recorrido y la velocidad de dicho uno de la carcasa y el árbol va hacia cero o simplemente pasa a cero, la potencia es suministrada selectivamente a uno de la carcasa y el árbol para extender su desplazamiento y aumentar su velocidad y tienden a conducir el WEC en resonancia con respecto a las ondas incidentes en el WEC.

40 6. La combinación según la reivindicación 4, en la que dicho aparato capaz de ser operado bidireccionalmente incluye un primer medio de conversión y un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes;

45 teniendo el primer medio de conversión un primer extremo y un segundo extremo y teniendo el convertidor de potencia de cuatro cuadrantes un primero y un segundo extremos;

estando acoplado el primer medio de conversión en su primer extremo a uno de la carcasa y el árbol y estando acoplado en su segundo extremo al primer extremo del convertidor de potencia de cuatro cuadrantes;

50 siendo el primer medio de conversión sensible a uno de una fuerza, un par y una energía aplicados a su primera entrada para producir una tensión y corriente correspondientes a la misma en su segundo extremo, y siendo dichos primeros medios de conversión sensibles a una tensión y corriente aplicadas en su segundo extremo para producir uno de una fuerza, un par y una energía correspondientes al mismo en su primer extremo; y

estando conectado el segundo extremo del convertidor de potencia de 4 cuadrantes a: (a) una carga a la que se suministra energía/potencia cuando se extrae energía/potencia del WEC; y (b) una fuente de alimentación para suministrar la energía suministrada selectivamente a uno de la carcasa y el árbol cuando se suministra energía/potencia al WEC.

5 7. La combinación según la reivindicación 6, en la que el convertidor de potencia de 4 cuadrantes produce las cuatro condiciones siguientes: 1) par positivo/fuerza con velocidad positiva de la carcasa/árbol, 2) parpositivo/fuerza con velocidad negativa de la carcasa/árbol, 3) par negativo/fuerza con la velocidad positiva de la carcasa/árbol, y 4) par negativo/fuerza con la velocidad negativa de la carcasa/árbol.

10 8. La combinación según la reivindicación 7, en la que el convertidor de potencia de 4 cuadrantes produce las siguientes cuatro condiciones de funcionamiento:

(a) una fuerza ascendente positiva a la salida del primer convertidor con una velocidad positiva hacia arriba cuando la posición relativa de la carcasa está por debajo de una posición neutra deseada y la velocidad de la carcasa es positiva hacia arriba;

15 (b) una fuerza ascendente positiva a la salida del primer convertidor con una velocidad negativa hacia abajo cuando la posición relativa de la carcasa está por debajo de una posición neutra deseada y la velocidad de la carcasa es negativa hacia abajo;

(c) una fuerza negativa hacia abajo a la salida del primer convertidor con una velocidad positiva hacia arriba cuando la posición de la carcasa está por encima de una posición neutra deseada y la velocidad de la carcasa es positiva hacia arriba; y

20 (d) una fuerza negativa hacia abajo a la salida del primer convertidor con una velocidad negativa hacia abajo cuando la posición de la carcasa está por encima de una posición neutra deseada y la velocidad de la carcasa es negativa hacia abajo; y

en el que la función de las cuatro condiciones operativas es causar la resonancia del WEC con las olas oceánicas.

25 9. La combinación de acuerdo con la reivindicación 7, en la que el funcionamiento del convertidor de potencia de 4 cuadrantes está controlado por un dispositivo informático que funciona para controlar cuándo se extrae la potencia del WEC y cuándo se suministra energía al WEC.

30 10. La combinación según la reivindicación 1, en la que dichos medios para extraer energía y para suministrar energía incluyen un conjunto de aparatos que, en respuesta al movimiento relativo entre la carcasa y el árbol, produce una tensión y corriente de salida; y un segundo conjunto de aparatos capaces de suministrar energía a una de las carcasas y árboles que tienden a causar resonancia del WEC con las olas oceánicas.

35 11. La combinación según la reivindicación 1, que incluye un dispositivo de cómputo para controlar cuándo se extrae potencia del WEC y cuándo se suministra potencia al WEC, y en el que para un WEC que presenta fuerzas de restablecimiento fuertes se suministra al WEC antes de que alcance su desplazamiento máximo; y en el que para un WEC que presenta fuerzas de restauración débiles se suministra potencia al WEC después de que alcanza su desplazamiento máximo.

40 12. Una combinación de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichos medios para detectar y determinar los seleccionados de desplazamiento, velocidad y aceleración de uno de la carcasa y el árbol y para suministrar selectiva y activamente energía eléctrica a uno de la carcasa y el árbol para hacer que los medios de PTO transmitan energía a uno de la carcasa y el árbol para provocar selectivamente un aumento en la velocidad de dicha una de la carcasa y árbol para aumentar la potencia neta producida por los medios de PTO.

45 13. La combinación según la reivindicación 12, en la que dichos medios de PTO incluyen un generador eléctrico lineal (LEG) que también puede funcionar como un motor eléctrico lineal; y en el que dicho LEG incluye un conjunto magnético permanente (PMA) y un conjunto de bobina de inducción (ICA), en el que uno de dichos PMA e ICA está unido a uno de dichos árbol y carcasa y el otro de dichos PMA e ICA está unido a la otro de dicho árbol y carcasa; y en el que cuando dicho PMA pasa sobre dicho ICA se genera un voltaje; y en el que dichos medios para detectar y determinar el desplazamiento y la velocidad incluyen un dispositivo informático que responde a señales de orden predeterminadas para controlar la aplicación de energía eléctrica desde dicha fuente de energía eléctrica al ICA de dicha PTO; y en el que las señales de comando predeterminadas incluyen; (a) la velocidad de uno de la carcasa y el árbol con relación al otro de la carcasa y el árbol; y (b) la posición de uno de la carcasa y el árbol con respecto al otro de dichos carcasa y árbol; y en el que el ICA está acoplado a una carga de salida para suministrar electricidad a esa carga correspondiente a la energía absorbida por el LEG del WEC y transferida a dicha carga; y en el que dichos medios conectados entre una fuente de energía eléctrica y la PTO para suministrar de forma selectiva



energía a la PTO incluyen medios para aplicar selectivamente energía desde dicha fuente de alimentación al ICA; y en el que dicho dispositivo informático está programado para determinar la aplicación de potencia al ICA y a través del LEG a la carcasa y al árbol.

5 14. La combinación según la reivindicación 12, en la que los medios de PTO incluyen un dispositivo que puede funcionar como un motor/generador y un convertidor de potencia de 4 cuadrantes, estando el dispositivo motor/generador acoplado en un extremo a uno de la carcasa y el árbol y en otro extremo a un extremo del convertidor de potencia de 4 cuadrantes; estando el convertidor de potencia de 4 cuadrantes acoplado en otro extremo a dicha carga y a dicho suplemento de potencia; y que además incluye un dispositivo de cálculo para controlar el funcionamiento y la función del convertidor de potencia de 4 cuadrantes.

10 15. La combinación según la reivindicación 12, en la que la potencia suministrada a los medios de PTO y la energía impartida por los medios de PTO a dicho uno de la carcasa y el árbol tiende a hacer que los componentes del WEC sean conducidos hacia la resonancia.

15 16. La combinación de acuerdo con la reivindicación 1, en la que dichos medios para detectar y determinar unos seleccionados de desplazamiento, velocidad y aceleración de uno de la carcasa y el árbol y para suministrar energía selectiva y activamente a uno de la carcasa y el árbol incluyen medios para calcular y aplicar una fuerza ( $F_{PTO}$ ) a dicho uno de la carcasa y árbol para provocar un aumento en la potencia generada por el WEC; siendo la fuerza ( $F_{PTO}$ ) una función de uno de: (a) posición y velocidad de la carcasa con relación al árbol; y (b) posición y aceleración de la carcasa con respecto al árbol para producir "cuasirresonancia" del WEC.

20 17. Combinación según la reivindicación 16, en la que la carcasa tiende a moverse en fase con las ondas, y la fuerza ( $F_{PTO}$ ), puede expresarse como:

$$F_{pto} = \alpha \cdot x + \beta \cdot \dot{x} + \gamma \cdot \ddot{x}$$

25 Donde  $x$  es la posición de carcasa-árbol con respecto a un punto "neutro" deseado (en metros),  $\dot{x}$  es la velocidad de carcasa-árbol (en metros por segundo),  $\ddot{x}$  es la aceleración del árbol - carcasa (en metros por segundo al cuadrado),  $\alpha$  es un coeficiente de muelle (en Newtons por metro),  $\beta$  es un coeficiente de amortiguación (en Newtons por metro por segundo), y  $\gamma$  es un coeficiente de masa (en Newtons por metro por segundo al cuadrado); y donde los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  se eligen para condiciones de onda existentes para optimizar la captura de energía de onda por el WEC.

30 18. La combinación según la reivindicación 30, en la que dichos medios para detectar y determinar los seleccionados de desplazamiento, velocidad y aceleración incluyen un dispositivo de cálculo programado para seleccionar y procesar los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ ; y en el que la selección de los parámetros incluye determinar el periodo de las ondas predominantes y seleccionar los parámetros para lograr resonancia para este periodo de onda.

35 19. La combinación de acuerdo con la reivindicación 1, en la que los medios de PTO y los medios para detectar y determinar los seleccionados de desplazamiento, la velocidad y la aceleración de uno de los dos elementos con respecto al otro incluyen medios para suministrar selectiva y activamente una fuerza de PTO al uno de los dos elementos que se mueve en relación con el otro, generándose la fuerza de la PTO mediante una combinación de un generador/motor y un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes para controlar la corriente hacia/desde el generador/motor y un controlador para producir continuamente órdenes de señal de punto de referencia al convertidor de potencia de cuatro cuadrantes para accionar la PTO para ejercer una fuerza entre los dos elementos, que es una función de al menos uno de (i) la posición relativa y la velocidad de los dos elementos; y (ii) la aceleración y velocidad relativa de los dos elementos.

45 20. La combinación según la reivindicación 1, en la que los medios de PTO y los medios para detectar y determinar los seleccionados de desplazamiento, la velocidad y la aceleración de uno de los dos elementos con respecto al otro incluyen medios para suministrar selectiva y activamente una fuerza de PTO al uno de los dos elementos que se mueve en relación con el otro, produciéndose la fuerza de la PTO mediante una combinación de un dispositivo que traslada la fuerza lineal y el movimiento lineal al par rotativo y al movimiento giratorio, un generador eléctrico giratorio, un convertidor de potencia de cuatro cuadrantes para controlar la corriente hacia y desde el generador y un controlador para producir continuamente al menos una de las órdenes de consigna de corriente y de par al convertidor de potencia de cuatro cuadrantes para hacer que la PTO ejerza una fuerza entre los dos elementos que es una función de al menos una de (i) posición y velocidad de los dos elementos; y (ii) aceleración y velocidad de los dos elementos.

21. Un método para aumentar la eficiencia de un convertidor de energía de onda WEC en la producción de una salida eléctrica donde el WEC incluye un árbol y una carcasa destinados a ser colocados en un cuerpo de agua, pudiendo desplazarse el árbol y la carcasa uno con relación al otro en respuesta a fuerzas aplicadas al WEC por el cuerpo de agua; comprendiendo las etapas de:

5 detectar el desplazamiento de uno de la carcasa y el árbol a medida que se mueve hacia arriba y hacia abajo con respecto a una posición cero;

determinar la velocidad de uno de la carcasa y el árbol a medida que se mueve hacia arriba y hacia abajo en relación con la posición cero;

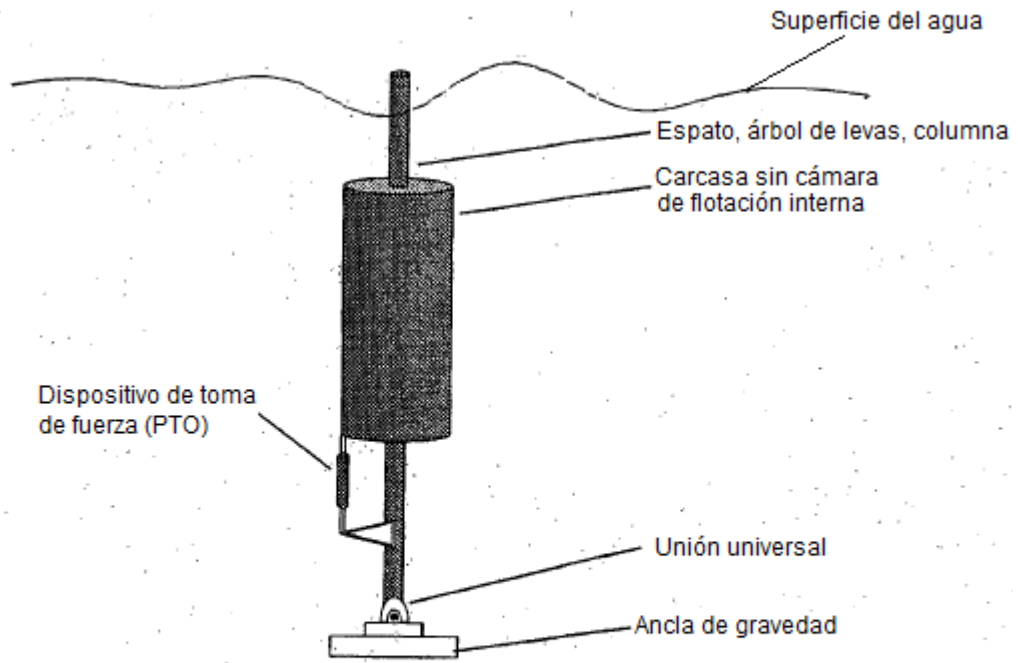
determinar cuándo la velocidad de uno de la carcasa y el árbol está en o cerca de cero; y

10 suministrar selectiva y activamente energía a uno de la carcasas y el árbol para aumentar su velocidad y desplazamiento en respuesta a señales indicativas de que uno de la carcasa y el árbol está en o cerca en su desplazamiento máximo y la velocidad máxima y la velocidad de dicho uno de la carcasa y el árbol va hacia cero o simplemente pasa por cero para provocar un aumento en el desplazamiento y la velocidad de uno de la carcasa y árbol uno con respecto al otro cambiando de este modo la relación de fase entre las fuerzas de las ondas y el movimiento del WEC para aumentar la energía generada por el WEC.

15 22. El método según la reivindicación 21, en el que la potencia es suministrada a uno de la carcasa y el árbol que experimenta movimiento antes de que alcance su desplazamiento máximo.

23. El método según la reivindicación 21, en el que la potencia es suministrada a uno de la carcasa y el árbol que experimenta movimiento después de alcanzar su desplazamiento máximo.

20



**FIGURA 1**

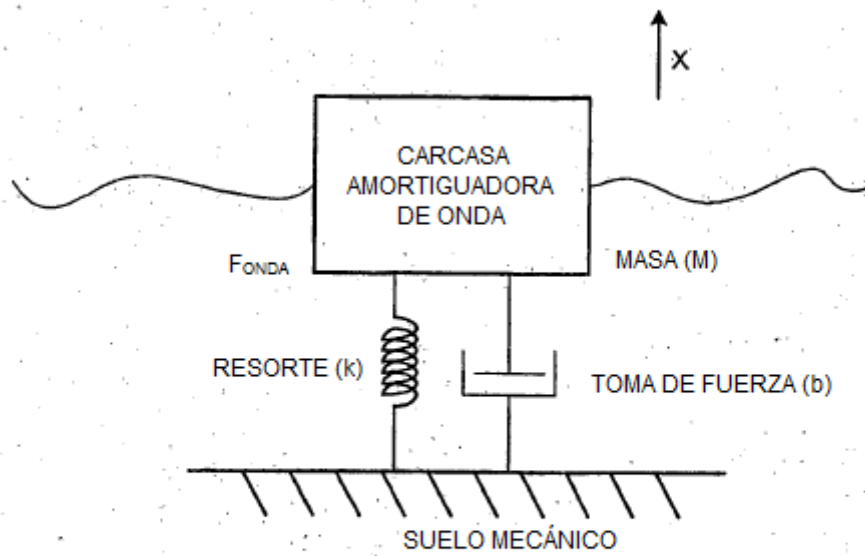


FIGURA 1A ARTE ANTERIOR

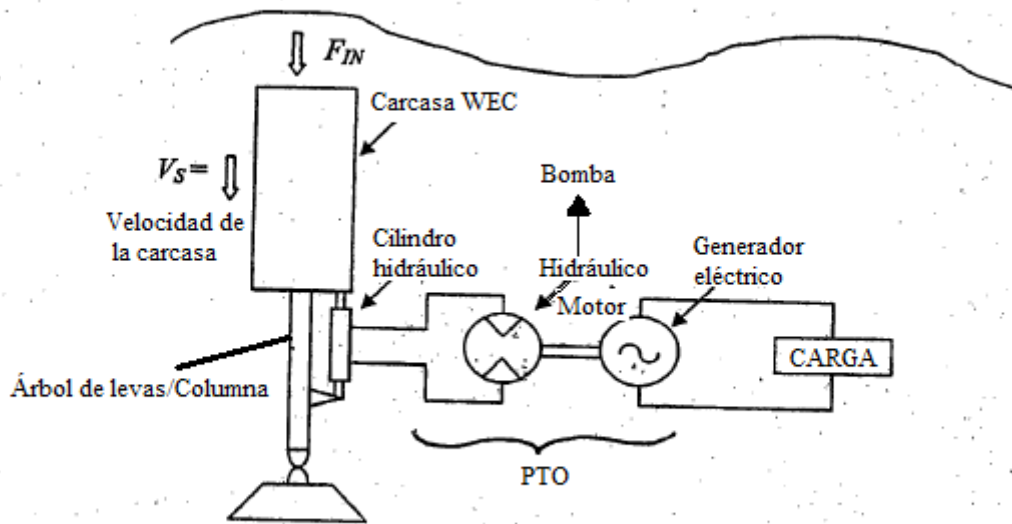


FIGURA 2A Diagrama de bloques simplificado de WEC.

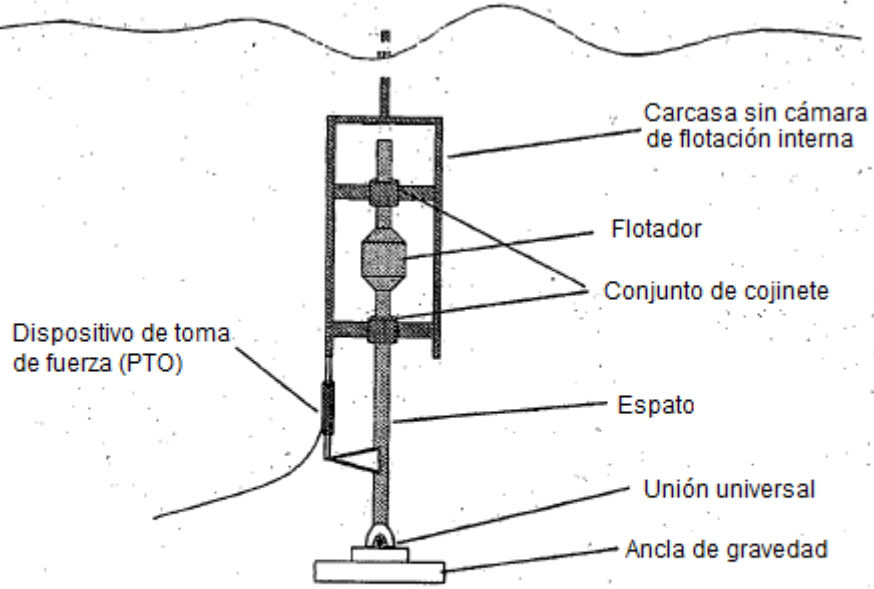


FIGURA 2B

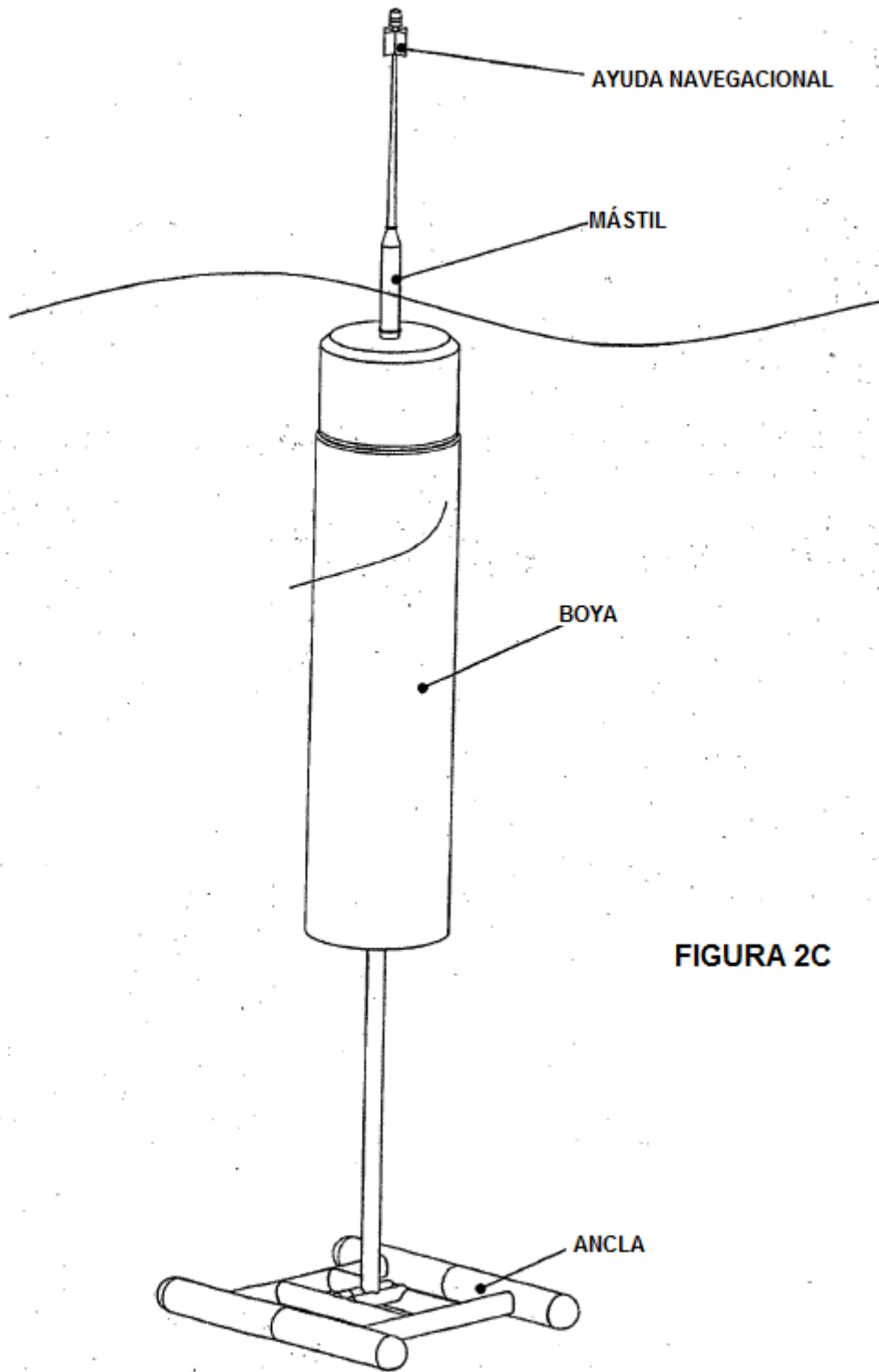


FIGURA 2C

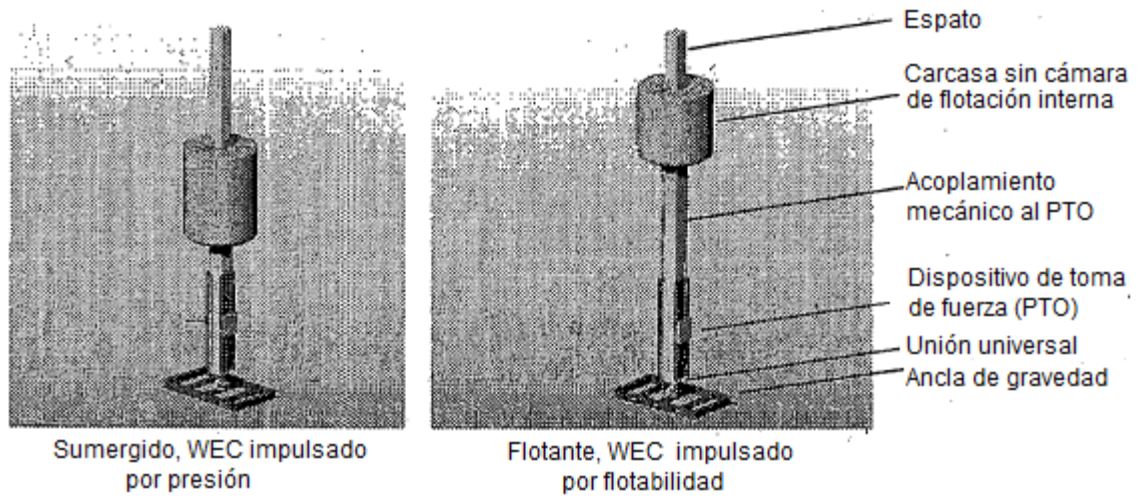
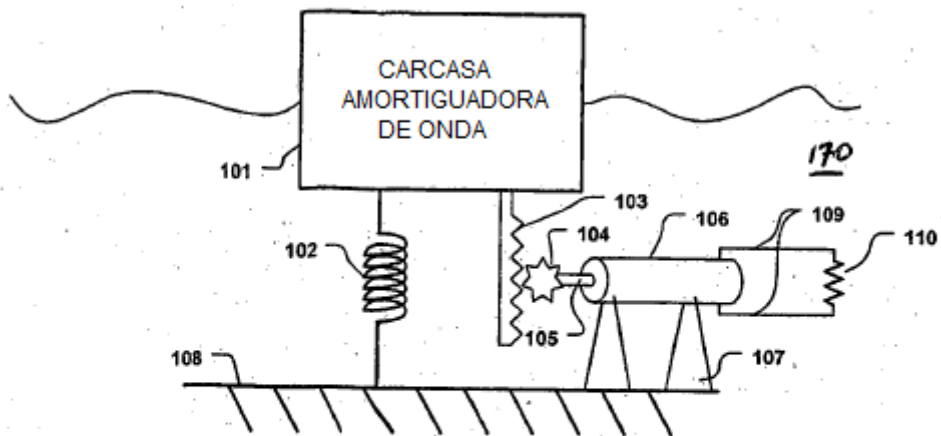


FIGURA 2D

FIGURA 2E



ARTE ANTERIOR

FIGURA 3

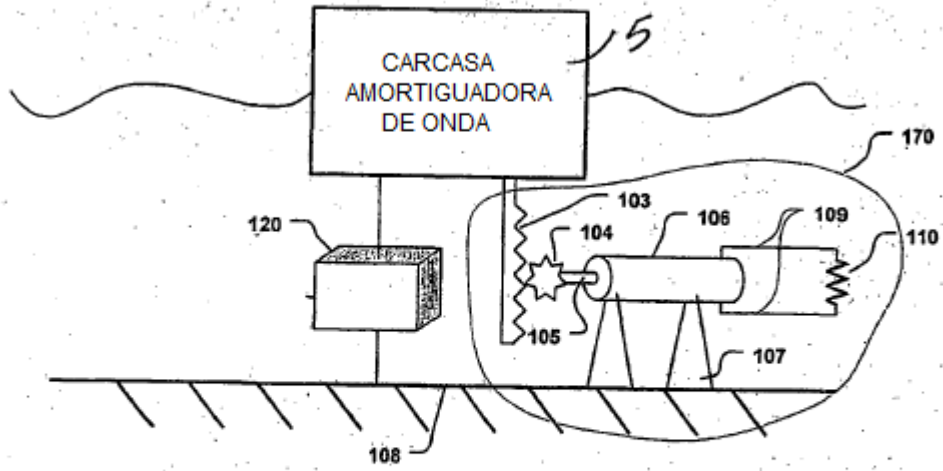


FIGURA 4

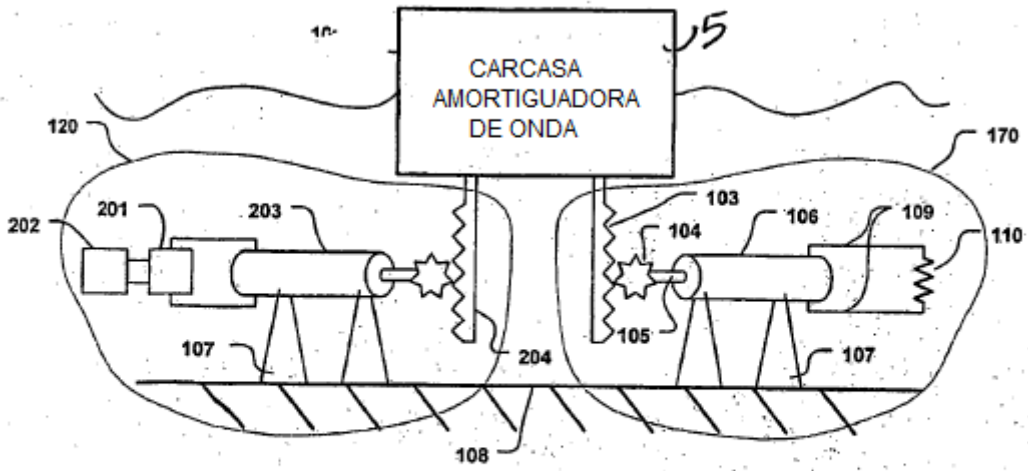


FIGURA 5



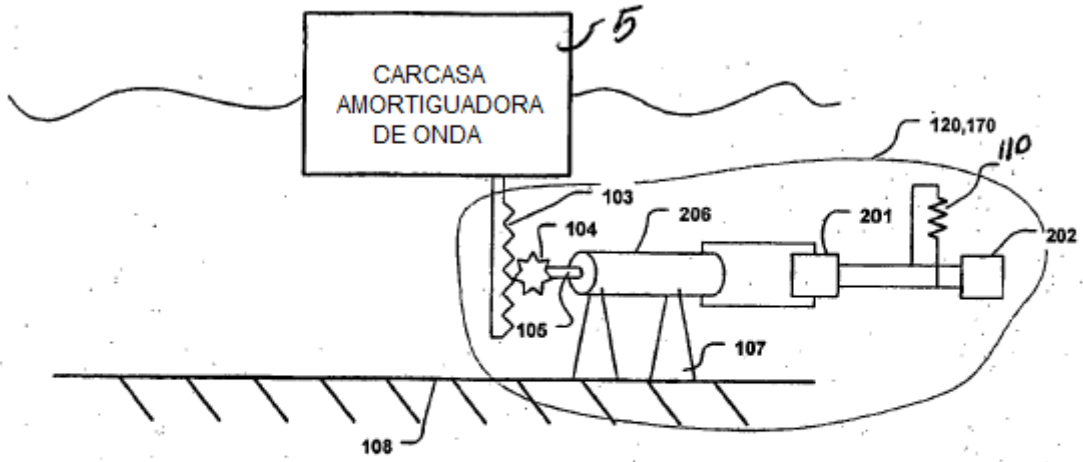
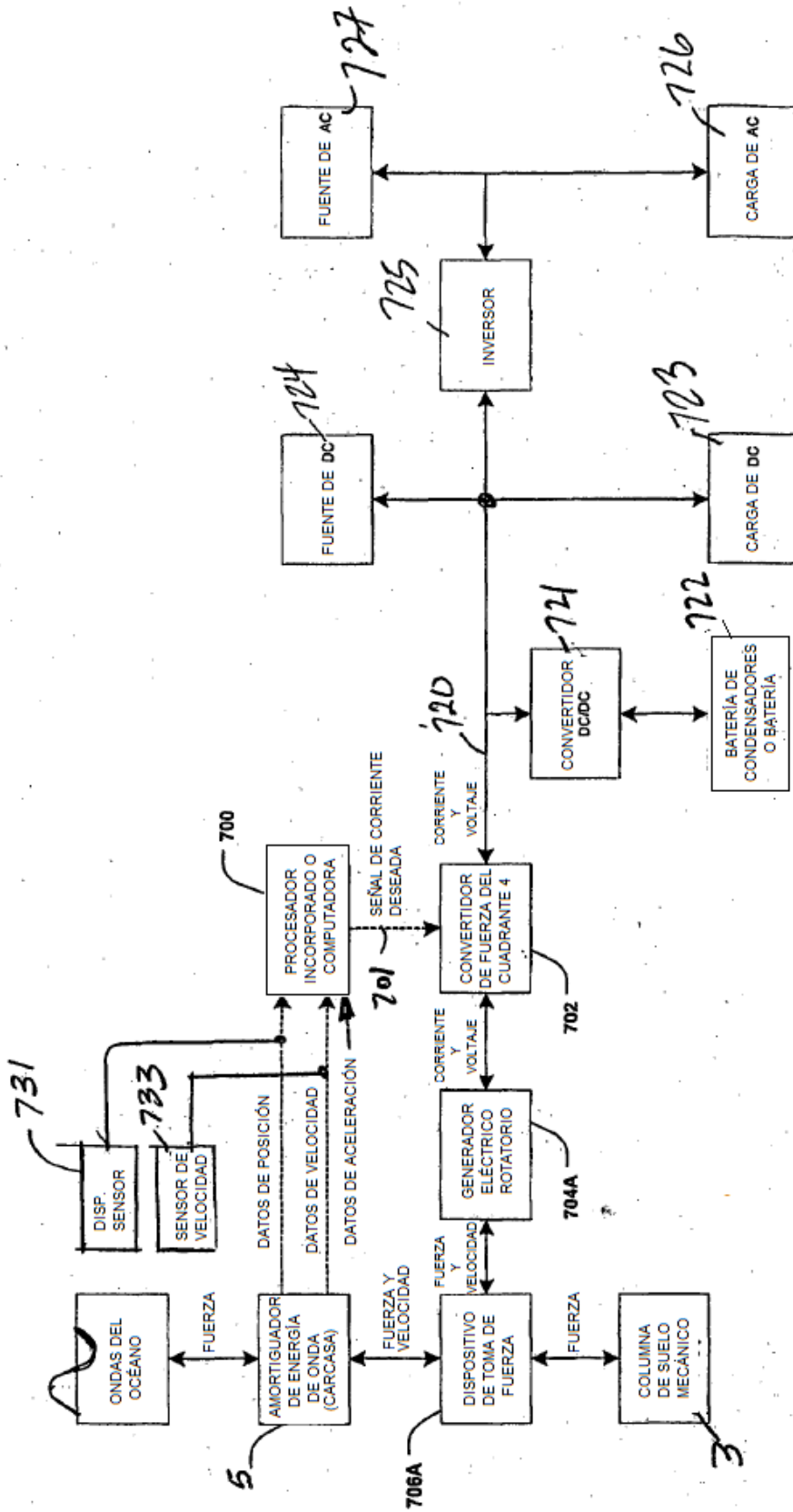


FIGURA 6

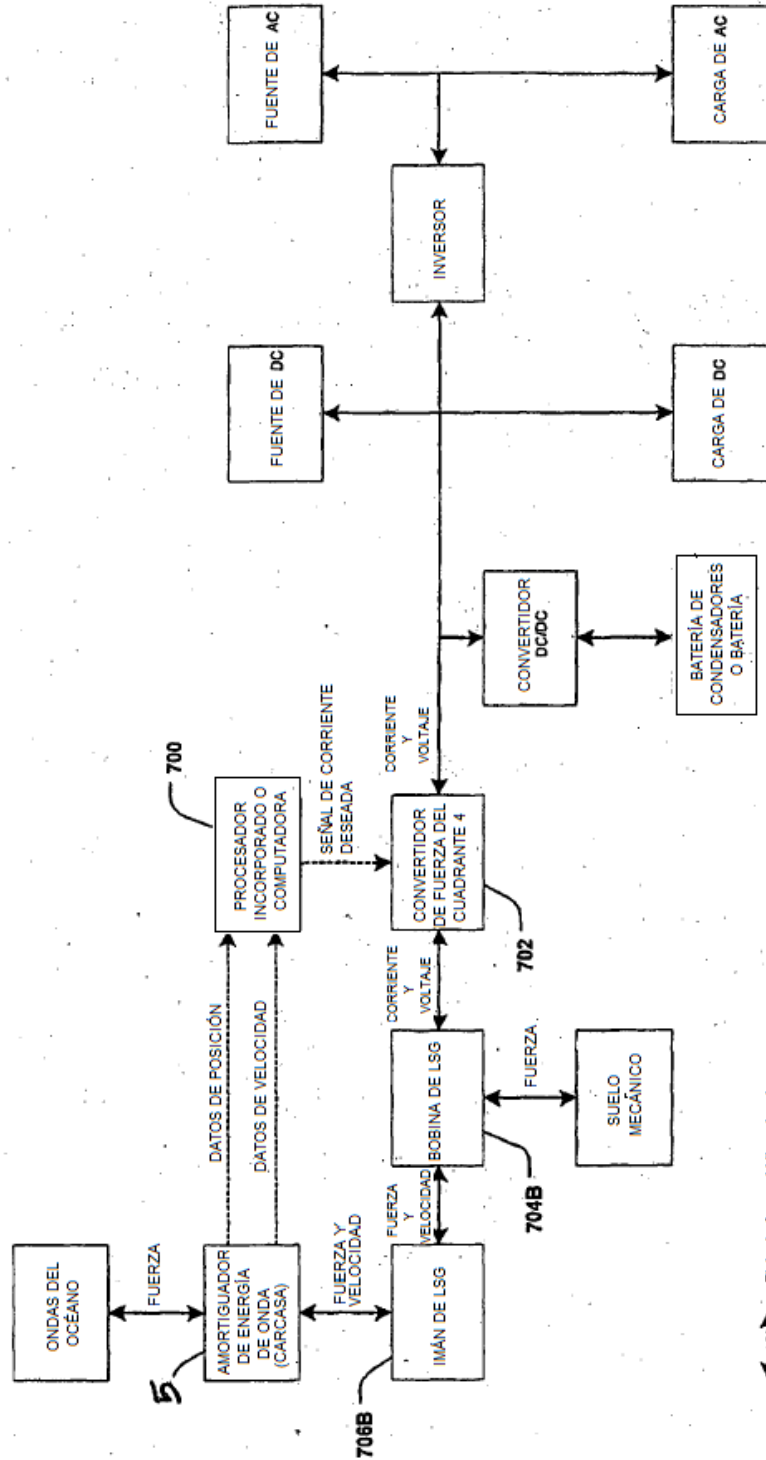
OBJETIVOS- SISTEMA CONECTADO AL SUELO MECÁNICAMENTE CON UN GENERADOR DE ELECTRICIDAD ROTATORIA



El convertidor del cuadrante cuatro está conectado a las combinaciones de los elementos anteriores mostrados en las cajas con líneas punteadas. Como mínimo hay 1) una carga; 2) una fuente de poder o elemento de almacenamiento de energía.

FIGURA 7A

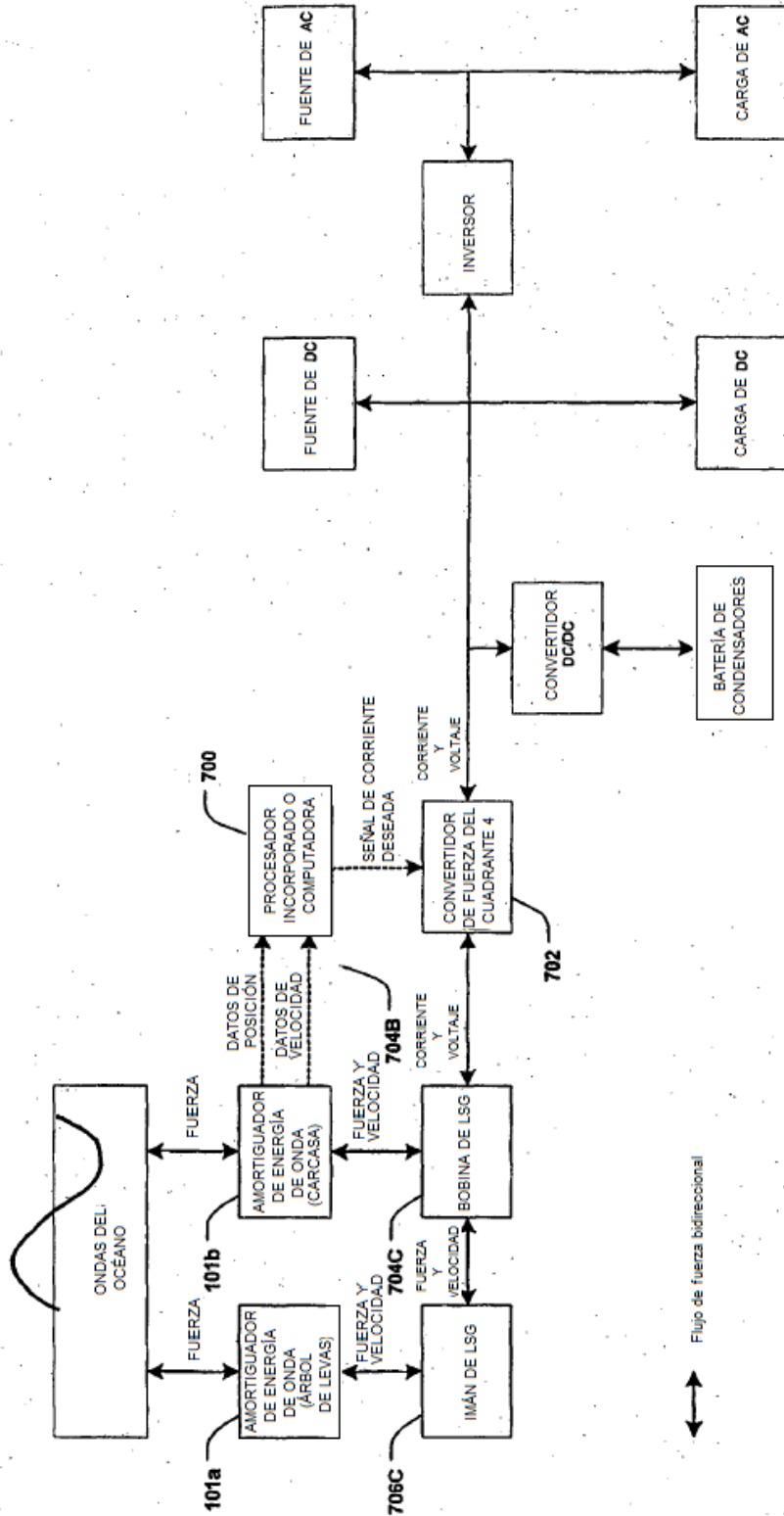
OBJETIVOS- SISTEMA CONECTADO AL SUELO MECÁNICAMENTE CON UN GENERADOR DE ELECTRICIDAD LINEAR



El convertidor del cuadrante cuatro está conectado a las combinaciones de los elementos anteriores mostrados en las cajas con líneas punteadas. Como mínimo hay 1) una carga; 2) una fuente de poder o elemento de almacenamiento de energía.

FIGURA 7B

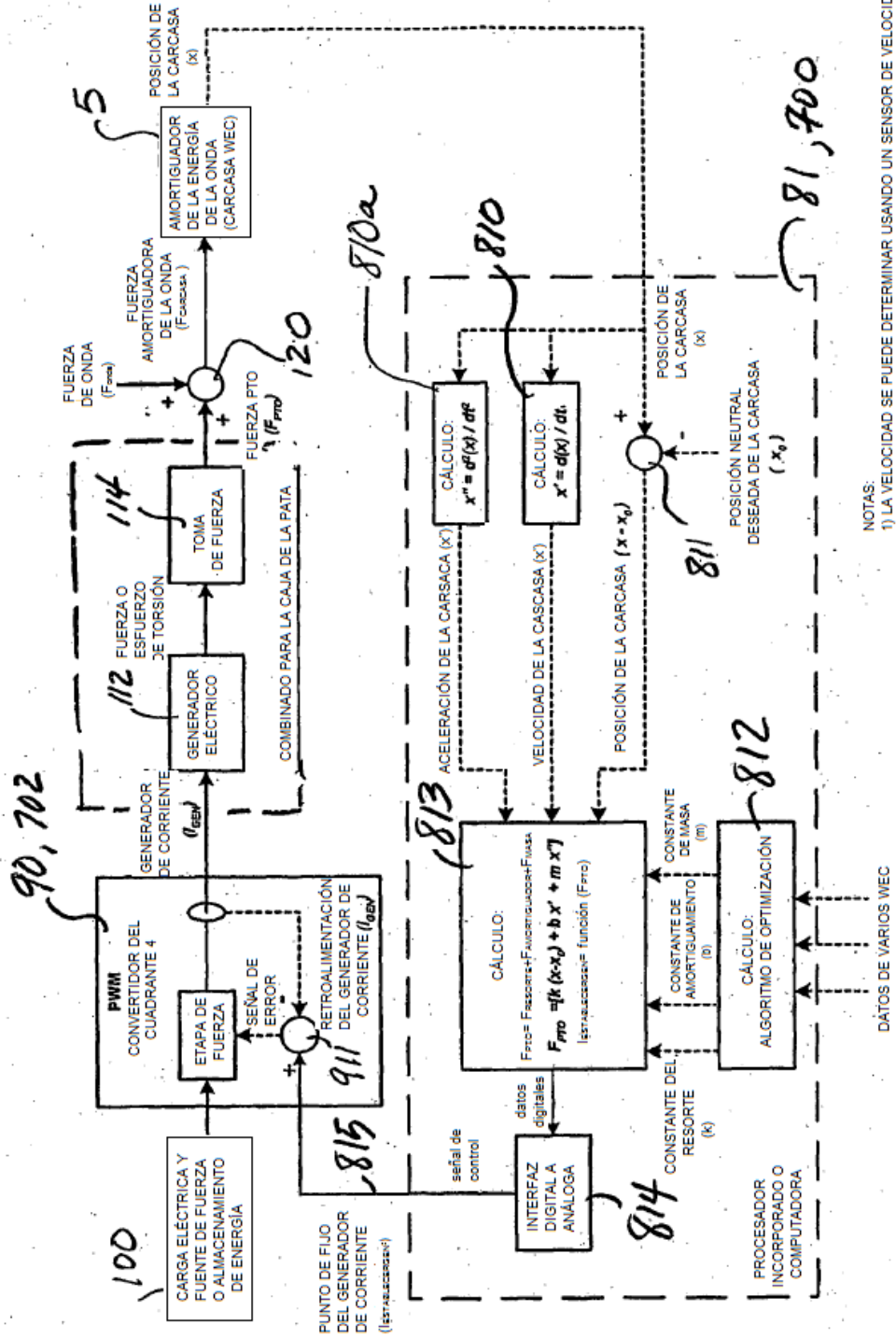
OBJETIVOS- SISTEMA AMORTIGUADOR DUAL CON UN GENERADOR DE ELECTRICIDAD LINEAR



El convertidor del cuadrante cuatro está conectado a las combinaciones de los elementos anteriores mostrados en las cajas con líneas punteadas. Como mínimo hay 1) una carga; 2) una fuente de poder o elemento de almacenamiento de energía.

FIGURA 7C

DIAGRAMA DEL SISTEMA CONTROL DE OBJETIVOS



NOTAS:  
 1) LA VELOCIDAD SE PUEDE DETERMINAR USANDO UN SENSOR DE VELOCIDAD  
 2) LA ACELERACION SE PUEDE DETERMINAR USANDO UN ACCELEROMETRO

FIGURA 8

REGIÓN OPERADORA PARA EL CONVERTIDOR DE FUERZA DEL CUADRANTE CUATRO CON LA CONSTANTE DEL RANGO DE FUERZA

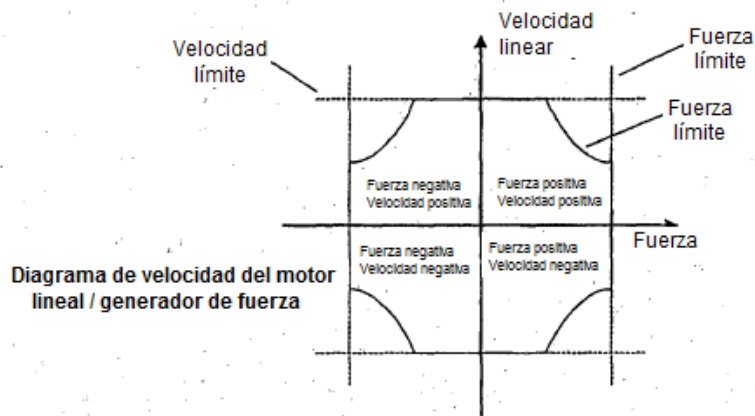
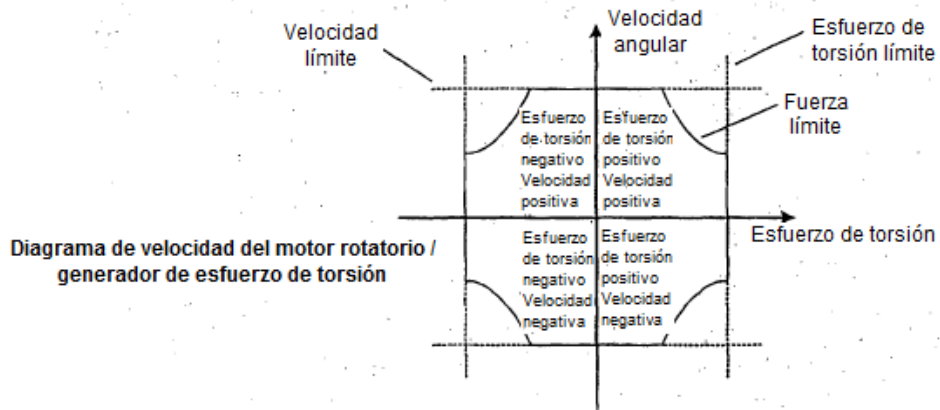
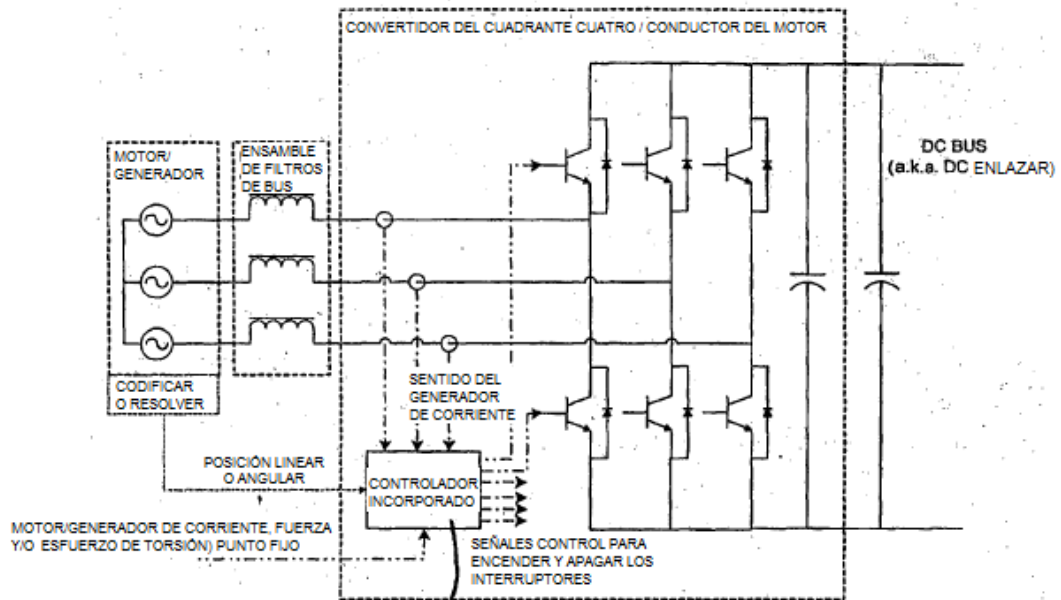


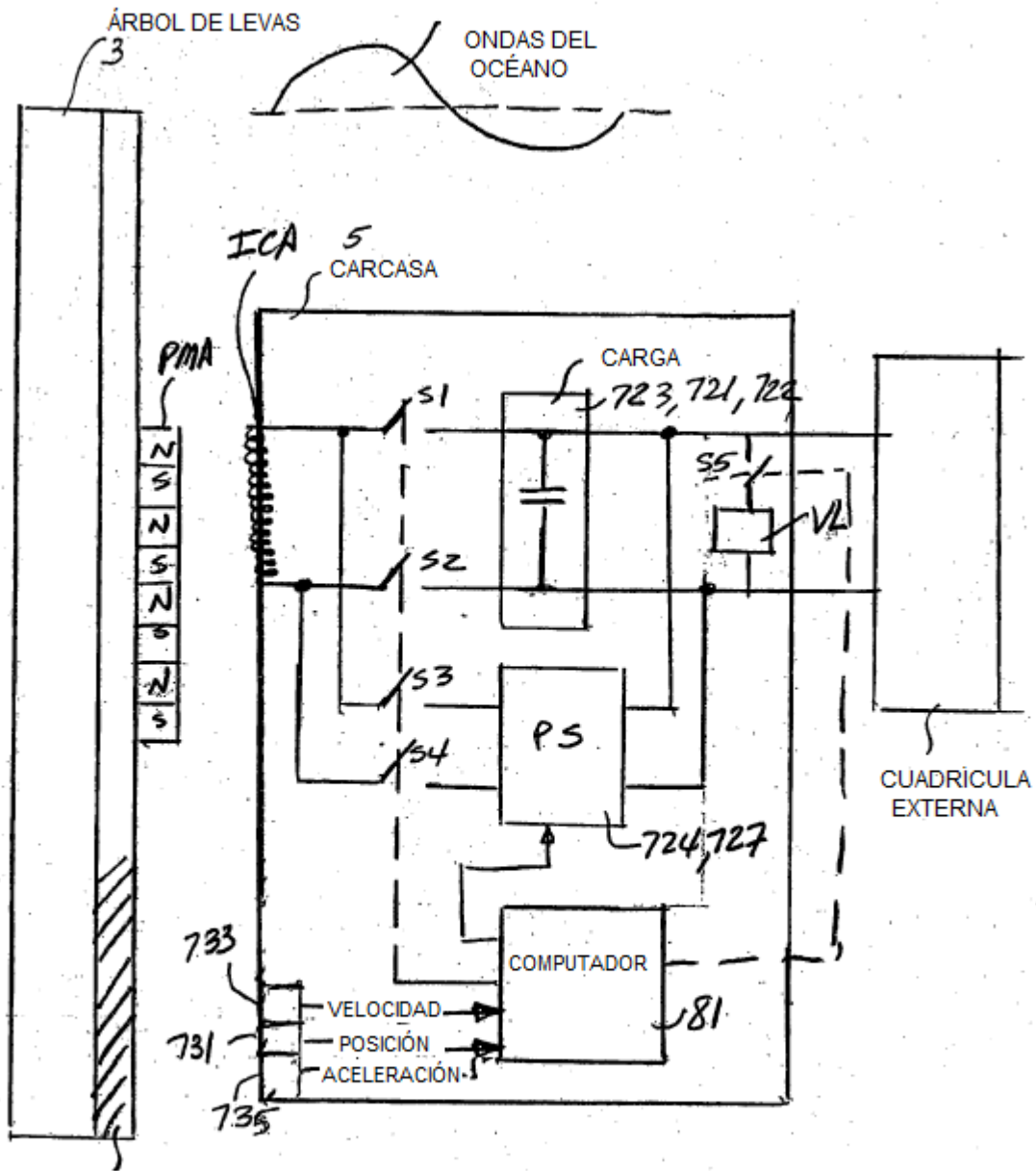
FIGURA 9

ESQUEMÁTICO BÁSICO DEL CONVERTIDOR DEL CUADRANTE CUATRO



700,81

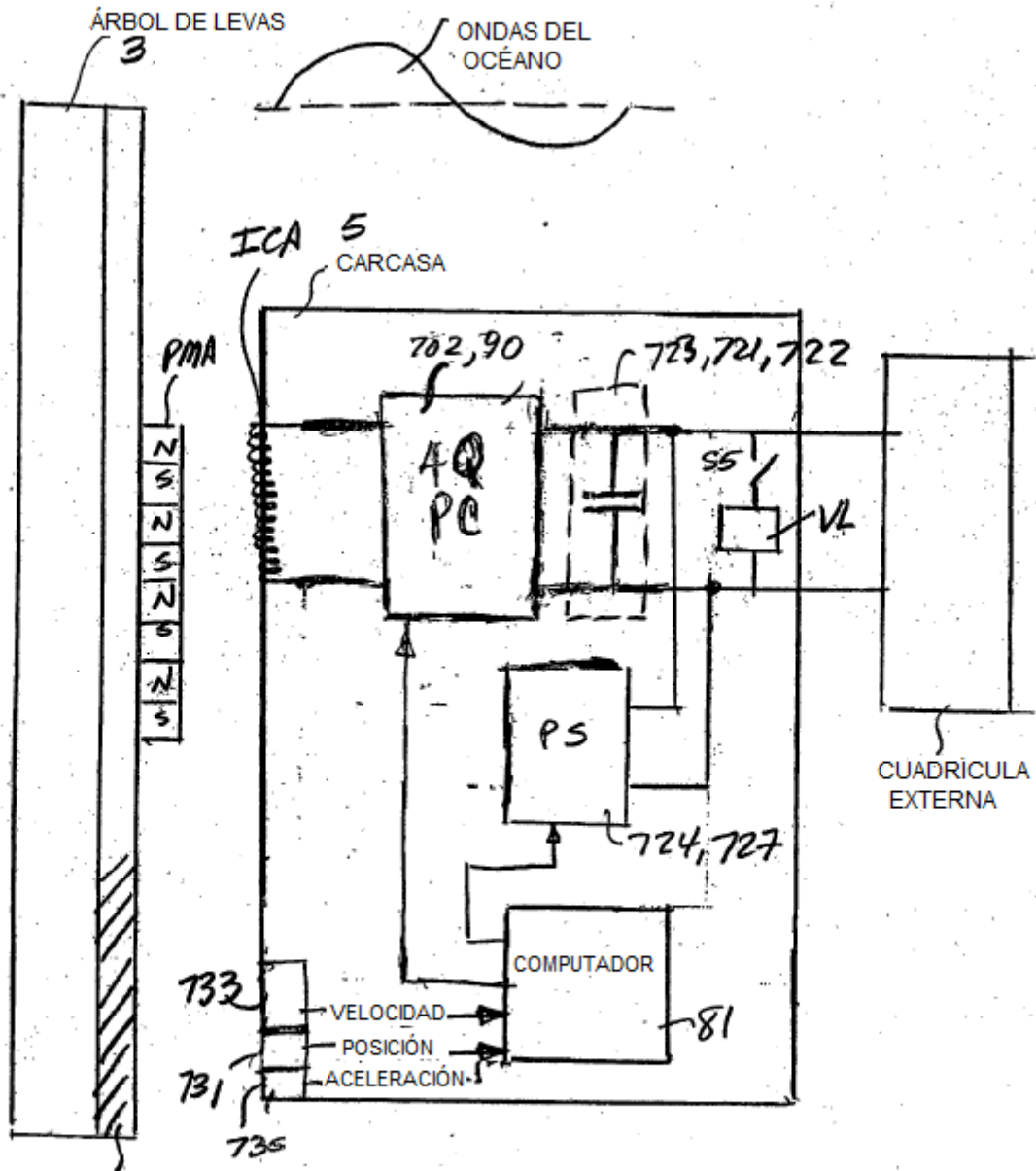
FIGURA 10



SENSORES DE POSICIÓN/VELOCIDAD/ACELERACIÓN

FIGURA 11





SENSORES DE POSICIÓN/VELOCIDAD/ACELERACIÓN

FIGURA 11A

Conversión de la fuerza - caja restaurando fuerte

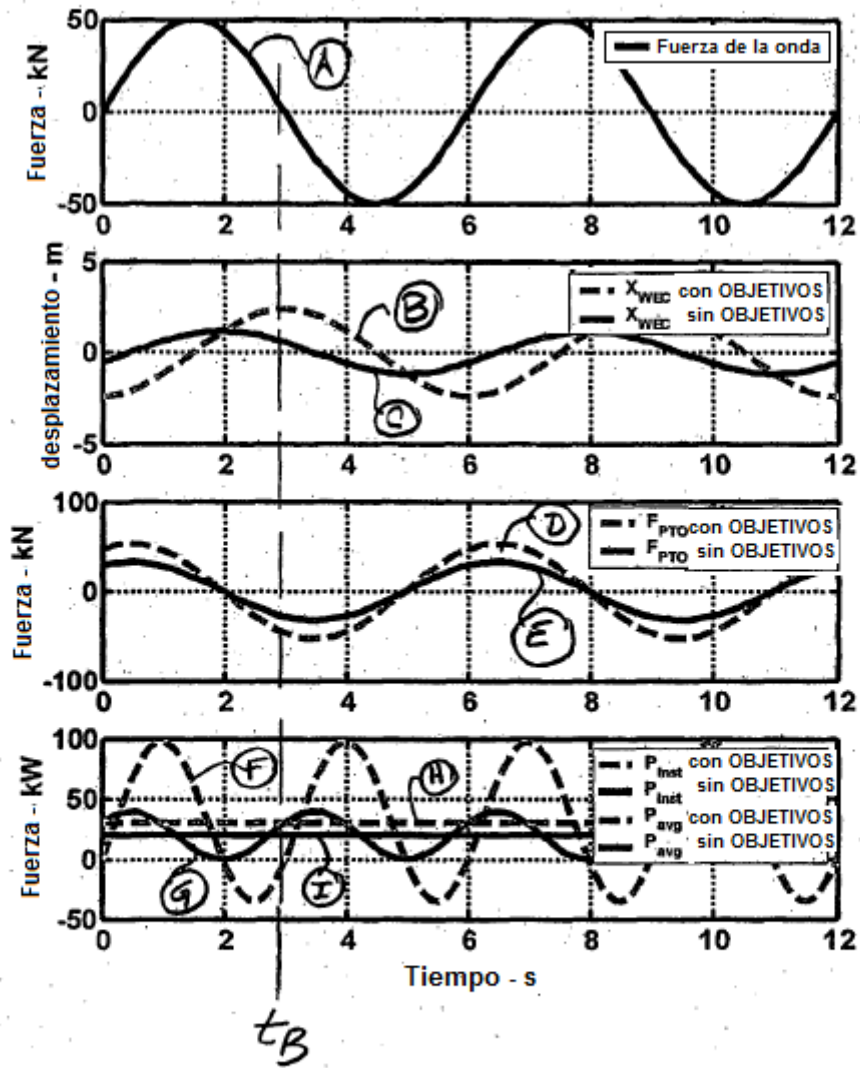


FIGURA 12

Conversión de la fuerza - caja restaurando débil

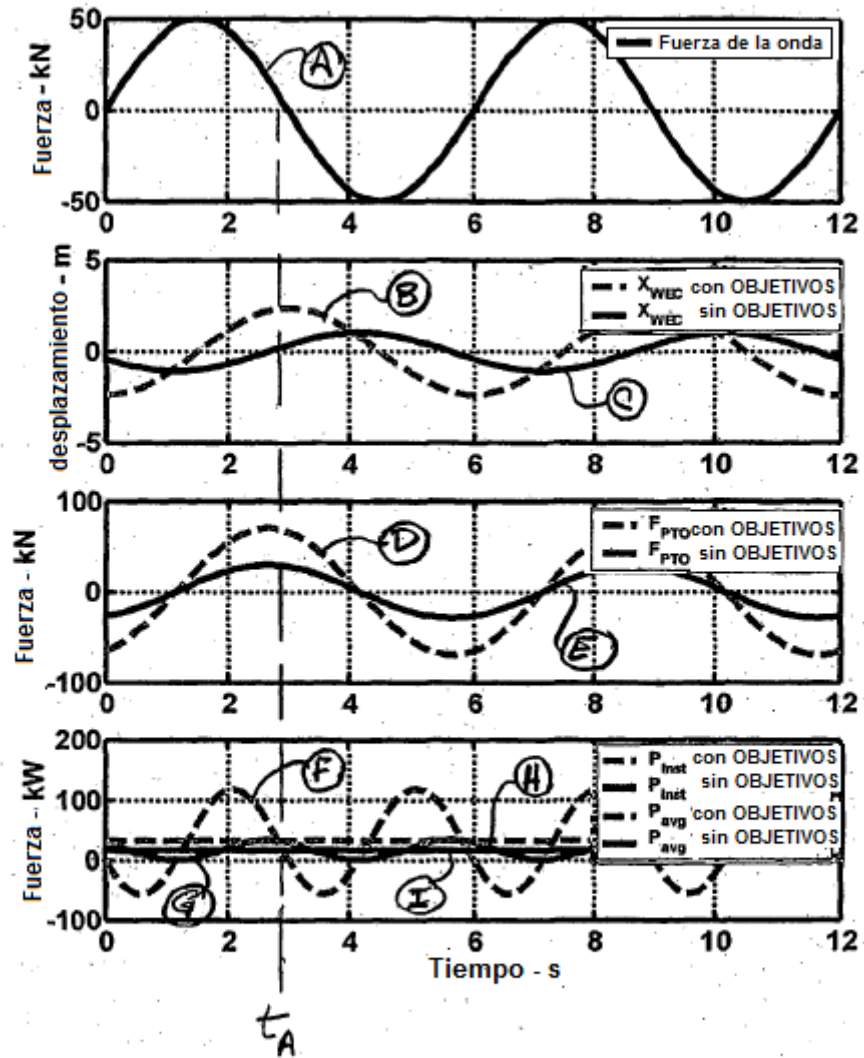


FIGURA 13