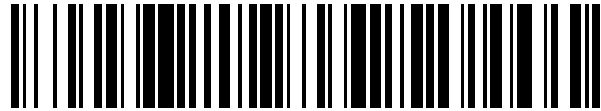


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 374**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/20** (2006.01)

**H02K 35/02** (2006.01)

**H02K 7/18** (2006.01)

**H02K 16/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.06.2013 PCT/AU2013/000597**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.12.2013 WO13181702**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.06.2013 E 13800966 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.11.2017 EP 2855921**

54 Título: **Generador de energía de las olas**

30 Prioridad:

**05.06.2012 AU 2012902349**

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

**05.03.2018**

73 Titular/es:

**DDNT CONSULTANTS AUSTRALIA PTY LTD.  
(100.0%)**

**Level 1 71 York Street  
Sydney, New South Wales 2000, AU**

72 Inventor/es:

**FRTUNIK, DALIBOR y  
BRAWLEY, GEORGE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 657 374 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**

Generador de energía de las olas

**Campo de la invención**

5 La presente divulgación se refiere a dispositivos de generación de energía de las olas del océano, en particular, un dispositivo que puede ser desplegado como una boya sellada herméticamente que optimiza activamente su propio movimiento para aumentar la energía extraída de las olas del océano. A partir del documento EP 1 691 072 se conoce un generador de energía de las olas según el preámbulo de la reivindicación 1.

**Antecedentes de la invención**

10 Ha habido muchas propuestas de dispositivos que generan electricidad a partir del movimiento de las olas del océano durante más de un siglo. Dichos dispositivos generalmente intentan convertir las olas del océano en movimiento que puede usarse para accionar una turbina o un motor lineal para producir electricidad, y la mayoría de los dispositivos entran en la categoría anterior. Algunos dispositivos no generan electricidad directamente, sino que convierten la energía mecánica de las olas del océano en otra forma de energía mecánica que puede utilizarse para hacer el trabajo.

15 Muchos de problemas se enfrentan a la exitosa explotación comercial de la energía de las olas del océano.

El océano es un entorno difícil. El océano tiende a dañar cualquier objeto expuesto, desde aquellos externamente simples como cascos de barco, hasta hélices en movimiento. Las partes móviles expuestas son más susceptibles a los daños. Esto contribuyó a un fallo comercial temprano, por ejemplo, del convertidor de olas Pelamis, que requirió un mantenimiento constante y costoso. La falta de robustez imposibilita la generación de energía práctica.

20 Las olas del océano no son regulares y no proporcionan un movimiento constante. Los generadores de energía basados en movimiento dependen de que el movimiento sea constante en una dirección durante un período de tiempo. Las olas del océano cambian la "dirección" con cada ola a medida que alcanza su punto más alto y más bajo. Esto normalmente se supera convirtiendo la energía potencial mecánica en una ola en otro tipo de energía (por ejemplo, bombeando agua o girando una turbina giratoria). Las conversiones de energía conducen a ineficiencias.

25 El amarre es a menudo un problema. Muchos dispositivos usan un amarre fijo o un peso pesado tal como un "suelo mecánico". Un amarre que puede resistir su uso es costoso y difícil de instalar, además de ser poco práctico en aguas más profundas. Un "suelo mecánico" separado es costoso de transportar y hace que el servicio del dispositivo sea más caro al restringir la movilidad y la accesibilidad de un dispositivo.

30 La periodicidad y la amplitud de las olas del océano es estocástica, que puede causar baja eficiencia en la generación de energía. Este problema generalmente se aborda de la misma manera que en el problema anterior, lo que genera las mismas ineficiencias u optimiza un conjunto particular de parámetros de olas del océano, lo que conduce a una eficiencia inferior a la óptima.

35 La referencia a cualquier técnica anterior en la memoria descriptiva no es, y no debe tomarse como, un reconocimiento o sugerencia de que esta técnica anterior forma parte del conocimiento general común en Australia o en cualquier otra jurisdicción o que esta técnica anterior podría razonablemente esperarse que fuera determinada, entendida y considerada relevante por una persona experta en la técnica.

**Sumario de la invención**

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un generador de energía de las olas que comprende:

40 una carcasa flotante destinada a flotar en un cuerpo de agua;

una máquina eléctrica situada dentro de la carcasa que comprende un inducido y una fuente de campo, teniendo la máquina eléctrica una parte fija acoplada a la carcasa y una parte móvil;

45 un conjunto de contrapeso que se puede mover dentro de la carcasa, comprendiendo la parte móvil de la máquina eléctrica y en el que un movimiento relativo del conjunto de contrapeso y la parte fija de la máquina eléctrica genera energía eléctrica;

almacenamiento de energía que almacena la energía generada por la máquina eléctrica;

un sistema de control que determina un flujo de energía bidireccional entre el almacenamiento de energía y el inducido, en el que la energía se devuelve a la máquina eléctrica para accionar un movimiento del conjunto de contrapeso de forma antisimétrica a un movimiento de la carcasa.

50

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de generación de energía eléctrica que comprende:

a) desplegar un generador de energía de las olas en un cuerpo de agua, comprendiendo el generador:

i) una carcasa flotante;

5 ii) una máquina eléctrica situada dentro de la carcasa que comprende un inducido y una fuente de campo, teniendo la máquina eléctrica una parte fija acoplada a la carcasa y una parte móvil;

iii) un conjunto de contrapeso que se puede mover dentro de la carcasa, comprendiendo la parte móvil de la máquina eléctrica y en el que un movimiento relativo del conjunto de contrapeso y la parte fija de la máquina eléctrica genera energía eléctrica; y

10 iv) almacenamiento de energía que almacena la energía generada por la máquina eléctrica;

b) determinar un flujo de energía bidireccional entre el almacenamiento de energía y el inducido, y

c) devolver energía a la máquina eléctrica en función del flujo de energía determinado, para accionar un movimiento del conjunto de contrapeso de forma antisimétrica a un movimiento de la carcasa.

15 Tal como se usa en el presente documento, excepto cuando el contexto requiera otra cosa, el término "comprende" y variaciones del término, tales como "que comprende", "comprendiendo" y "comprendido", no pretenden excluir otros aditivos, componentes, números enteros o etapas.

Otros aspectos de la presente invención y otras realizaciones de los aspectos descritos en los párrafos anteriores se harán evidentes a partir de la siguiente descripción, dada a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos.

#### **Breve descripción de los dibujos**

20 La figura 1 muestra un diagrama de bloques de un generador de energía de las olas.

Las figuras 2A-2C muestran gráficas del rendimiento idealizado del generador de energía de las olas de la figura 1 en comparación con el rendimiento de disposiciones alternativas.

Las figuras 3A a 3F muestran un diagrama esquemático de los componentes de restablecimiento de fuerza usados en el generador de la figura 1.

25 La figura 4A muestra gráficos del movimiento simulado de una versión idealizada del generador de la figura 1.

La figura 4B muestra un ejemplo de una señal de control para el movimiento de la figura 4A.

La figura 4C muestra un ejemplo de la energía generada en el generador de energía de las olas.

La figura 5 muestra esquemas de diferentes carcasas para el generador de energía de las olas y componentes que están integrados con la carcasa.

30 La figura 6 muestra diagramas de bloques de controladores de bucle bloqueados en fase para su uso en el generador de energía de las olas.

La figura 7 muestra un esquema de una realización del generador de energía de las olas.

La figura 8 muestra gráficas del movimiento simulado del generador de energía de las olas que incorpora un sistema eléctrico y opera en condiciones oceánicas simuladas.

35 La figura 9 muestra realizaciones del sistema eléctrico del generador de energía de las olas.

La figura 10 muestra gráficos de bode que ilustran la validez de diferentes señales de control para una realización del dispositivo.

La figura 11 es un diagrama de bloques esquemático que ilustra cómo se intercambian fuerzas y señales entre componentes del generador de energía de las olas.

#### **Descripción detallada de las realizaciones**

40 La figura 1 muestra un dispositivo 100 de generación de energía con una máquina 103 eléctrica que opera como un motor lineal o generador montado dentro de una carcasa 500 herméticamente sellada de una boya que flota en un cuerpo de agua, tal como el océano. La fuente de campo del motor/generador 103 lineal está acoplada con un contrapeso 104 que en uso se mueve a lo largo del eje vertical de la boya. Como se describe con más detalle a  
45 continuación, el contrapeso 104 está asentado en un dispositivo 300 que proporciona una fuerza de restablecimiento

en respuesta al movimiento del contrapeso. Esta configuración elimina la necesidad de una conexión a tierra mecánica, lo que permite que tanto el contrapeso 104 como la carcasa 500 externa se muevan libremente durante la operación.

5 Los componentes del dispositivo 100 están contenidos dentro de la carcasa 500 externa sellada herméticamente, aunque la toma de energía 105 necesita penetrar en esta carcasa sin romper la junta. Esta configuración aumenta la resistencia del dispositivo 100 a daños medioambientales, reduciendo los requisitos de mantenimiento y aumentando la vida operativa. Esto se puede lograr usando una junta 509 hermética, tal como una junta hidráulica de paso. El cable utilizado para la toma de energía 105 puede ser una línea de transmisión con revestimiento optimizado para transmisión subacuática, tal como HDVC Plus de Siemens. Se pueden seleccionar cables que  
10 puedan servir como correa para el dispositivo 100. Alternativamente, el cable puede estar integrado en un cable de correa unido a la carcasa 500 externa. La carcasa 500 externa puede tener un recubrimiento antiincrustante.

El dispositivo 100 incluye un amortiguador 101 que limita la fuente de campo del motor lineal y el contrapeso 104 de fuertes impactos y dañando posiblemente la parte superior de la carcasa 500 en mar gruesa. El amortiguador 101 puede ser un casquillo de elastómero, un muelle neumático o un dispositivo de amortiguación similar.

15 El motor 103 lineal puede ser un motor síncrono o de inducción. Por ejemplo, el motor 103 lineal puede tener una fuente de campo de imán y un inducido de bobina, con tres fases de bobina repetidas a lo largo de la longitud del inducido. Este motor 103 está optimizado para una operación continua, eficiente y de baja velocidad. Esto puede, por ejemplo, implicar la maximización de los devanados utilizados y el uso de un motor de inducción donde el estator no contiene hierro (ya que los altos campos magnéticos inducidos podrían atraer las partes del motor lineal, forzando  
20 las partes mecánicas del motor).

La masa del contrapeso 104 se elige para una generación de energía óptima para el intervalo esperado de periodos de olas a la que se espera que esté sometida una configuración del dispositivo dada. En una disposición, el contrapeso 104 es un cilindro de metal pesado. Disposiciones alternativas presentan diferentes materiales cuyas densidades afectan a su tamaño y a las dimensiones del dispositivo. Por ejemplo, el hormigón armado puede  
25 proporcionar una densidad apropiada para la dimensión vertical proyectada de un dispositivo, o metales más densos empleados para reducir la dimensión vertical cuando así se desee. El contrapeso preferiblemente no es magnético, ya que interferiría con el motor lineal que está encima del mismo.

Un sistema 200 de control se comunica con el motor 103 lineal y también con un dispositivo 400 de almacenamiento de energía, tal como un banco de condensadores alojados dentro de la carcasa 500. El sistema 200 de control media la transferencia de energía hacia y desde el dispositivo 400 de almacenamiento de energía y la máquina 103 eléctrica. La toma 105 de fuerza emite energía desde el dispositivo 400 de almacenamiento de energía a través de la junta 509 hermética. El dispositivo 400 de almacenamiento de energía puede estar integrado con el contrapeso 104, en cuyo caso el dispositivo de almacenamiento de energía está conectado al inversor mediante un cable flexible.  
30

35 Unos sensores 102 miden la posición de la fuente de campo del motor/generador 103 lineal con relación a la carcasa 500 externa y otros parámetros (tales como la altura del dispositivo por encima de las olas del océano). Esta información es utilizada por un sistema 102 combinado de gestión y control de energía para devolver energía al sistema, llevando el movimiento de la fuente de campo y el contrapeso a una resonancia antisimétrica con la carcasa. Esto se considera para maximizar la energía generada por el dispositivo 100.

40 El dispositivo 100 también puede tener un dispositivo 106 de comunicación, que puede ser una unidad de comunicación inalámbrica, un transmisor de radio de corto alcance, o dispositivo similar, que se utiliza para transmitir información sobre el dispositivo 100 a un receptor (no mostrado). El dispositivo 106 de comunicación permite que el dispositivo 100 reciba señales que pueden, por ejemplo, usarse para hacer que el dispositivo bloquee el contrapeso 104 en su posición para facilitar el transporte, o para actualizar elementos programables del sistema de control. El  
45 dispositivo de comunicación también puede operar sobre una línea, tal como una fibra óptica, que es parte de la disposición 105 de amarre/toma de energía.

En una configuración alternativa, el inducido de la máquina 103 eléctrica puede estar acoplada al contrapeso 104 y libre para moverse dentro de la carcasa, mientras que la fuente de campo es fija con relación a la carcasa. En este caso, un cable flexible puede unir el inducido móvil al sistema eléctrico.

50 El dispositivo 100 puede tener un sistema para fijar el conjunto de contrapeso en posición, similar a un freno de ascensor. Esto se usa para reducir la amplitud de movimiento del dispositivo en caso de que el dispositivo requiera mantenimiento, o las condiciones del océano sean demasiado difíciles para la operación normal. Pueden usarse microcontroladores adicionales, que pueden estar conectados a los dispositivos 106 de comunicaciones o gobernados por algoritmos separados que usan señales desde los sensores 102 como entrada (por ejemplo, para  
55 determinar cuándo el mar se está volviendo demasiado grueso). Por lo tanto, por ejemplo, antes del mantenimiento del dispositivo, se puede enviar una señal al dispositivo 106 de comunicación para fijar o restringir el contrapeso 104.

Las figuras 2A-C muestran resultados de simulación que comparan el rendimiento del dispositivo 100 con la operación de otros enfoques.

5 La figura 2A muestra el movimiento 211 de una carcasa flotante que se mueve en resonancia con una ola 210 oceánica periódica (modelada como una senoide normalizada con fines ilustrativos). La velocidad relativa entre esta carcasa y un suelo 212 mecánico estacionario puede usarse en dispositivos convencionales para generar energía con un motor lineal. La velocidad promedio de la carcasa es proporcional a la magnitud del movimiento 211 de la carcasa, que es fraccionalmente mayor que la magnitud de las olas 210 oceánicas (su magnitud aumentada por su movimiento resonante).

10 La figura 2B muestra el movimiento 221 de una carcasa flotante que flota libremente con una masa libre acoplada a la carcasa mediante un muelle. El movimiento de la masa libre se muestra como la curva 222 y, como antes, la ola oceánica se modela como un senoide 220 normalizado. La fase de movimiento de la carcasa 221 se desplaza noventa grados con respecto al océano 220; a su vez, la fase de movimiento de la masa 222 libre se desplaza en noventa grados con respecto al movimiento de la carcasa 221. La velocidad relativa entre la carcasa y la masa es proporcional a la magnitud del movimiento de la carcasa, que es aproximadamente igual a la de la magnitud de las olas del océano en condiciones ideales. Esto genera menos energía que el sistema resonante accionado en la figura 2C.

15 La figura 2C ilustra la operación del dispositivo 100, suponiendo una entrada de una ola 230 oceánica sinusoidal normalizada. La figura 2C muestra el movimiento 231 de una carcasa flotante que flota libremente (por ejemplo, la carcasa 500) con el movimiento 232 de una masa libre accionada para moverse en resonancia antisimétrica con el movimiento de la carcasa. En esta disposición, la velocidad relativa entre la carcasa y la masa es proporcional al doble de la magnitud del movimiento de la carcasa, que es aproximadamente igual a la de la magnitud de las olas del océano en condiciones ideales. Esta disposición genera más energía que cualquiera de los sistemas ilustrados en las figuras 2A y 2B. La masa libre en este ejemplo corresponde a un sistema que incluye el contrapeso 104 y la fuente de campo del motor 103 lineal.

25 En la práctica, la magnitud del movimiento de la carcasa 500 se incrementa mediante los sistemas de control descritos en el presente documento, aumentando aún más la energía de salida del dispositivo 100.

#### *Dispositivos de fuerza de restablecimiento*

30 La fuente de campo del motor 103 lineal está unida a un contrapeso 104 y este conjunto actúa sobre un dispositivo 300 de fuerza de restablecimiento. La figura 3A muestra una disposición en la que el dispositivo de fuerza de restablecimiento es un muelle 301 neumático de lóbulo rodante, tal como un muelle neumático de lóbulo rodante Goodyear®. Este muelle 301 neumático está unido a un soporte 510 en la base de la carcasa externa y la base del contrapeso 104. El contrapeso se mueve dentro de la carcasa con rodamientos lineales con un componente 513 móvil y un componente 512 fijo.

35 La figura 3B muestra una disposición en la que el contrapeso 104 se apoya sobre un muelle neumático 303, que a su vez se apoya sobre un casquillo 302 de elastómero. El casquillo está situado sobre el soporte 510.

40 La figura 3C muestra una disposición en la que el contrapeso 104 está acoplado a la carcasa mediante muelles 304, que aplican una fuerza de restablecimiento al contrapeso 104. La figura 3D muestra una disposición en la que el contrapeso se apoya sobre un casquillo 305 de elastómero situado en el soporte 510. Alternativamente, como se muestra en la figura 3F, el contrapeso puede estar soportado por un pistón 307 neumático acoplado a la carcasa mediante el soporte 510.

El dispositivo 300 de fuerza de restablecimiento puede incluir una combinación de los elementos antes mencionados. Por ejemplo, la figura 3E muestra un dispositivo de fuerza de restablecimiento que tiene muelles 304 y un casquillo 305 de elastómero acoplado mediante enlaces 306.

El muelle neumático de lóbulo rodante tiene una serie de características útiles, incluyendo:

- 45
1. una carrera larga;
  2. una respuesta constante durante la carrera larga; y
  3. una pequeña tasa de amortiguación.

50 Estas características ayudan a mantener una respuesta adecuada mediante el sistema al período del océano, que es del orden de segundos y es más largo que el período de la mayoría de las aplicaciones de muelle neumático. También se puede proporcionar un dispositivo de fuerza de restablecimiento que contrarreste el movimiento hacia arriba del conjunto de contrapeso.

#### *Operación simulada del dispositivo*

El sistema 102 de control devuelve la energía desde el dispositivo 400 de almacenamiento de energía al motor 103 lineal para llevar la fuente de campo y el contrapeso 104 en resonancia antisimétrica con la carcasa. Esto se ilustra

en los resultados de la simulación de las figuras 4A a 4C. La figura 4A muestra un gráfico con el tiempo en el eje x en el que el dispositivo opera en un océano modelado como una onda 410 sinusoidal normalizada. A medida que el sistema de control varía la toma de energía y el retorno, la carcasa y la masa entran en resonancia antisimétrica. La curva 412 muestra el movimiento de la masa (es decir, el contrapeso y la fuente de campo del motor 103 lineal) y la curva 411 muestra el movimiento de la carcasa 500.

La figura 4B muestra un gráfico de ejemplo de las señales 420 de control, superpuestas en las representaciones de la figura 4A. La señal 420 de control es una serie de pulsos binarios que determinan cuándo se extrae la energía o se devuelve al motor lineal para accionar el movimiento de la masa libre. Estos pulsos están normalizados por un múltiplo de la fuerza de restablecimiento que actúa sobre la masa libre, medida por los sensores 102. Esto asegura que la energía devuelta o extraída sea proporcional al movimiento actual del sistema. La fuerza de restablecimiento se puede medir directamente o se puede estimar basándose en otras mediciones, por ejemplo, la aceleración de una masa conocida.

La figura 4C muestra la energía 402 generada por el sistema 100 durante una prueba de simulación de 80 segundos accionada por una onda sinusoidal. Las caídas en la energía corresponden a la energía que retorna al sistema para llevarla en resonancia antisimétrica y manteniendo esta resonancia antisimétrica.

#### *Diseños de carcasa y componentes*

La mayoría de los componentes del dispositivo 100 están encerrados dentro de la carcasa 500 externa herméticamente sellada. La carcasa está hecha de un material duradero adecuado para una aplicación oceánica. Como se ilustra en la figura 5, el dispositivo utiliza una carcasa 507 de acero para durabilidad con un recubrimiento 508 para combatir las incrustaciones. Muchas otras combinaciones de materiales son posibles, teniendo en cuenta la durabilidad y la prevención de incrustaciones, independientemente de la elección del material. Una consideración de diseño para la capa antiincrustante es su longevidad, lo que reduce la necesidad de mantenimiento fuera del agua.

El interior de la carcasa 507 está recubierto con rodamientos lineales cilíndricos, tales como guías de carriles de perfil de SKF, que tiene un componente 513 móvil y un componente 512 que es estacionario con respecto a la carcasa. Los rodamientos se seleccionan para proporcionar una baja resistencia al movimiento del sistema de fuente de campo/contrapeso, al tiempo que se evita que la masa libre se mueva horizontalmente. El rodamiento 512, 513 lineal está optimizado para una baja fricción y la masa del contrapeso.

El soporte 510 está situado en la base de la carcasa 507 para soportar el dispositivo 300 de fuerza de restablecimiento. Otro soporte 510 está situado en la parte superior del interior de la carcasa para soportar el amortiguador 101. Otras características de la carcasa incluyen una junta 509 hidráulica pasante, que conecta la toma 105 de fuerza con el compartimento interno del dispositivo, y soportes 511 para el inducido del motor 103 lineal y el dispositivo 400 de almacenamiento de energía.

La figura 5 muestra un intervalo de formas diferentes para la carcasa. La carcasa 501 es generalmente cilíndrica, con una parte superior e inferior redondeadas. La carcasa 502 es cilíndrica y tiene una sección superior más ancha para alojar el inducido lineal del motor y el dispositivo de almacenamiento de energía. Realizaciones alternativas pueden presentar diferentes formas, por ejemplo:

- La carcasa 503 es cilíndrica con una sección inferior más ancha y un contrapeso correspondientemente más corto (como parte del sistema de fuente de campo-contrapeso).
- La carcasa 504 es cónica, con el extremo más estrecho del cono en el extremo inferior de la carcasa. La carcasa 505 es cónica, con el extremo estrecho del cono en el extremo superior de la carcasa. Las formas no cilíndricas pueden afectar la respuesta resonante de la boya a las olas. Una boya bicónica 506 puede usarse para duplicar la frecuencia de resonancia natural de la boya cuando es accionada por el océano. La boya 506 tiene una porción superior grande que se estrecha hasta una cintura y luego se ensancha a una porción inferior más ancha.

La elección de la forma de la carcasa está impulsada por preocupaciones de eficiencia y de durabilidad.

#### *Sistema de control 200*

La figura 6 muestra un diagrama 600 de bloques de un sistema de control basado en una configuración de bucle de bloqueo de fase (PLL). El sistema 600 de control incluye un detector 601 de fase, implementado en la presente realización como un comparador de cruce por cero de varias señales de control, tales como la primera señal 608 de entrada y la segunda señal 609 de entrada. En una disposición, la primera señal 608 de entrada es la diferencia de posición relativa entre la carcasa del dispositivo y el océano, y la segunda señal 609 de entrada es la velocidad relativa de la carcasa y la masa libre interna. El uso de estas señales se describe con más detalle a continuación. La señal de salida del detector 601 de fase se alimenta a un controlador 602 de diferencial integral proporcional (PID) (con un mecanismo antienrollamiento). La salida del controlador PID se pasa a través de un filtro 603 de paso bajo para asegurar que solo se detecten las señales que tienen la fase aproximada de las olas oceánicas. La señal filtrada se normaliza mediante un normalizador 604 mediante la fuerza de restablecimiento medida (o inferida) que

es suministrada por el dispositivo de restablecimiento de fuerza unido a la masa libre. La salida 903 del normalizador se alimenta al controlador 611 del oscilador 605 local, que es el motor 103 lineal en esta implementación. Este controlador 611 en una disposición usa modulación de ancho de pulso (PWM) para añadir energía desde el sistema eléctrico del dispositivo al motor lineal, o aumentar la amortiguación en el motor para mover la energía desde el motor al sistema eléctrico. El flujo de energía bidireccional se gestiona con un controlador de puente completo como se describió en otra parte.

La primera y segunda señales 608, 609 de entrada son señales medidas o calculadas indicativas de un movimiento del generador de energía de las olas. Como se analiza a continuación, hay varias señales de entrada que podrían usarse en el controlador de bloqueo de fase.

En otras disposiciones, un controlador 610 incorpora un desplazador 606 de fase que se utiliza para modificar una señal de entrada. En el ejemplo de la figura 6, el desplazador 606 de fase aplica un desplazamiento de fase a la primera señal 608 de entrada antes de que el detector 601 de fase reciba la señal. El desplazador 606 de fase se usa cuando se bloquea una señal a una fase dada que se desplaza mediante un cierto parámetro. Este desplazamiento de fase es conocido a partir de circuitos PLL convencionales. El sistema 610 de control también puede incorporar un divisor 607 en una o más señales de entrada que pueden desplazarse en fase para afectar la velocidad de bloqueo. En el ejemplo 610 de la figura 6, la segunda señal de entrada es procesada por el divisor 607 antes de ser recibida por el detector 601 de fase.

Las señales 903 de salida del sistema de control se utilizan para controlar elementos del sistema eléctrico mostrado en la figura 9 mediante modulación por ancho de pulso o un procedimiento similar.

El sistema de control se implementa utilizando circuitos integrados (CI) o un microcontrolador. El sistema de control está en comunicación de datos con los sensores 102 para proporcionar señales de control. Como se describe en este documento, un almacén 400 de energía está conectado entre un controlador de puente completo del motor 103 lineal y el sistema 105 de toma de energía.

Un ejemplo de un bucle de bloqueo de fase (PLL) que puede ser usado en el controlador es MC14046B de ON Semiconductor. El circuito integrado (IC) PLL generalmente proporciona un comparador de fase, seguidor de fuente y un oscilador controlado por tensión. Se puede suministrar un filtro de paso bajo externo (tal como LTC 1062CJ8-ND de Linear Technology), y se puede usar un IC divisor/multiplicador analógico o digital en la operación del controlador 610, tal como un AD632AHZ-ND de Analog Devices, Inc.

El dispositivo 100 puede utilizar una implementación de software del bucle de bloqueo de fase, que reside en un microcontrolador tal como un controlador Arduino o Microchip, aunque realizaciones alternativas pueden emplear un microordenador, procesador de señal digital (tal como un C6713 de Texas Instruments), u otro dispositivo con capacidad similar. Al implementar el PLL en el software, todos los componentes del controlador 600, 610 representan módulos de software que pasan entradas y salidas de datos entre sí.

Realizaciones alternativas pueden utilizar diferentes sistemas de control para alcanzar el mismo efecto funcional. Por ejemplo, se puede usar un microprocesador que usa señales desde los sensores 102 que implementan un control óptimo, devolviendo un término que se usa mediante el controlador para devolver la fuerza o aumentar la amortiguación en el motor lineal para mantener la resonancia antisimétrica entre la carcasa y la masa. Esto puede lograrse alterando propiedades tales como la tensión en varias fases del sistema eléctrico (que incluye el motor lineal y la electrónica de potencia, véase la figura 9). En dicho sistema de control, el controlador puede, por ejemplo, actuar para maximizar una función de coste que cuantifica la resonancia antisimétrica. La función de coste puede depender de la energía cinética total del sistema y, por lo tanto, la acción para maximizar la función de coste puede maximizar la energía cinética total. La función de coste puede depender de la energía eléctrica total disponible para el sistema y, por lo tanto, la acción para maximizar la función de coste puede maximizar la energía eléctrica total disponible en el sistema.

El control óptimo (u otro sistema de control) puede implementarse en hardware no físicamente presente en el cuerpo del dispositivo, de tal manera que las señales se transmiten desde una estación de procesamiento separada físicamente al dispositivo que implementa este control. Este controlador todavía se considera que forma parte del sistema del dispositivo.

### *Sensores*

Los sensores 102 pueden incluir un acelerómetro (tal como un ADXL330 de Analog Devices) y un sensor de posición. Para este último, el dispositivo 100 puede usar un codificador de posición en cuadratura (tal como el codificador industrial de BEI Sensor), que se usa con muchos motores lineales para medir la posición. También se podría usar un potenciómetro, sensor de posición inductivo, sensor de efecto Hall o un dispositivo similar.

La velocidad y la posición relativa son las mediciones principales utilizadas en el circuito 600, 610 de control. Se pueden incluir otros sensores en el dispositivo 100 para facilitar su operación, tales como sensores de presión, sensores de humedad, sensores de temperatura, voltímetros y amperímetros. Estos sensores adicionales se pueden usar para determinar si el dispositivo 100 necesita mantenimiento y, en general, se usarán sensores de baja

potencia. Dichos sensores adicionales agregan capacidad de recuperación operativa.

5 Los sensores también pueden proporcionarse para medir una aceleración de la carcasa o una aceleración del conjunto de contrapeso. La medición adicional puede incluir la corriente eléctrica en la fase o fases de la máquina eléctrica; la tensión a través de la fase o fases de la máquina eléctrica; la corriente eléctrica que fluye a través de los componentes eléctricos de la electrónica de control de energía; la tensión a través de los componentes eléctricos de la electrónica de control de energía; y la fase de corriente en la fase o fases de la máquina eléctrica.

*Sistema eléctrico*

10 Las figuras 9A y 9B muestran un ejemplo de elementos del sistema eléctrico del dispositivo. La figura 9A muestra un controlador 901 de puente completo y un cambiador 902 de nivel asociado con una única fase del motor 103 lineal. Un controlador de puente y cambiador de nivel similares se proporcionan para cada una de las otras dos fases. Se introduce una señal 903 binaria desde el sistema 200 de control (es decir, señales Q1 y "no Q1"). La señal 903 se procesa a través del cambiador 902 de nivel para compatibilidad con el controlador 901 de puente completo para la primera fase. La señal determina si la energía se saca de la fase al bus 905 de alimentación principal o si la energía vuelve a la fase del motor lineal desde el bus de alimentación principal. El filtro 904 LC de paso bajo está instalado en el bus 905 de alimentación principal. El bus de energía principal puede ser una barra de cobre.

20 La figura 9B muestra un ejemplo del sistema de almacenamiento de energía y de toma de energía. El sistema 400 de almacenamiento de energía puede ser un banco de condensadores (por ejemplo, C1, C2 y C3) conectado al bus 905 de energía principal. Este sistema está conectado a un inversor 906 y a un cable 105 de toma de energía, conectado al exterior de la carcasa a través de una junta 509 hermética. Esto se puede combinar con la correa 105. También puede haber una conexión directa entre el almacén de energía del sistema de control y el exterior de la carcasa, sin un inversor intermedio. El inversor toma las señales 903 de control del sistema de control para mediar la energía extraída del bus de energía principal.

25 *Señales de control para el bucle de bloqueo de fase*

30 Como se muestra en la figura 6, el sistema de control del generador de energía de las olas devuelve energía al motor lineal para que coincida con la fase de las señales de entrada especificadas. En una disposición, los sistemas de control se basan en la adaptación de un controlador PLL para operar a bajas frecuencias, tal como las que se encuentran en las olas oceánicas. La comparación de dos señales determinada por el análisis del sistema (obtenido a partir de los sensores 102 en o sobre la carcasa del dispositivo) en un detector 601 de fase proporciona una señal utilizada por el PLL para determinar cuándo devolver energía al sistema. Esta señal se normaliza mediante la fuerza ejercida por el muelle 300 que conecta la carcasa y la masa libre, para asegurar que se devuelva al sistema una cantidad apropiada de energía.

35 Cualquier señal cuya función de transferencia de frecuencia/fase tiene un punto de inflexión donde la magnitud de la velocidad relativa entre la carcasa y la masa libre está en un máximo es adecuada para el bloqueo. Esto se debe a que el punto de inflexión corresponde a una 'aceleración de fase' (la segunda derivada de la fase respecto a la frecuencia) de cero, es decir, una señal bloqueada. El sistema 600, 610 de bloqueo tiende a accionar la aceleración de fase a un estado bloqueado con aceleración de fase cero; esto se elige para que corresponda a la velocidad relativa máxima entre la carcasa y la masa porque ese máximo corresponde a la resonancia antisimétrica entre la carcasa y la masa.

Ejemplos de señales que pueden usarse en el PLL 600, 610 son:

- a) la diferencia entre la posición de la carcasa y el océano (que puede medirse con un sensor capacitivo o similar situado en la carcasa);
- 45 b) la diferencia entre la velocidad de la carcasa y la masa libre (dada por un sensor capacitivo, de efecto Hall o de potenciómetro en la carcasa); y
- c) la diferencia entre la aceleración de la carcasa y la aceleración del conjunto de contrapeso.

Es la diferencia entre estas señales la que se utiliza para bloquear el sistema, utilizando un detector de cruce por cero.

50 Las señales se eligen por la facilidad con la que se pueden detectar con sensores simples, para minimizar la posibilidad de errores o fallos del equipo durante la operación del dispositivo. Algunas señales producidas por los sensores pueden ser adecuadas para su uso directo, y otras pueden necesitar ser alimentadas a través de procesadores intermedios para ser útiles (por ejemplo, cambiadores de fase).

Se usó un análisis lineal de un sistema simple accionado, amortiguado, de dos muelles y dos masas para determinar señales para utilizarse con el sistema de control. En este análisis, los muelles corresponden a la flotabilidad de la



carcasa y del dispositivo de fuerza de restablecimiento entre la carcasa y la masa libre, y las masas representan la carcasa y la masa libre. Los diagramas de fase/frecuencia de Bode se generaron a partir del análisis lineal que compara la respuesta de frecuencia de señales particulares con una gráfica superpuesta de la magnitud de la velocidad relativa de la carcasa y la masa. Dos ejemplos de tales diagramas de Bode se muestran en la figura 10. El diagrama 1000 es un ejemplo en el que la señal evaluada es inadecuada, y el diagrama 1001 es un ejemplo de un análisis que muestra una señal de bloqueo adecuada para su uso en el sistema de control. En cada uno de los diagramas 1000,1001, la curva 1012 representa la magnitud de la velocidad relativa de la carcasa y la masa. El máximo 1014 de la magnitud de la velocidad relativa de la carcasa y la masa corresponde al movimiento antisimétrico entre las mismas, como se describió anteriormente. Este máximo se usó para identificar señales que se bloquean en un punto apropiado.

El diagrama 1000 de Bode en la figura 10 muestra una señal de bloqueo no adecuada: la diferencia entre la fase de la velocidad relativa entre la carcasa y la masa y la posición relativa de estos cuerpos, representada como la curva 1011. No se observa respuesta de fase en esta señal 1011.

El diagrama 1001 de Bode en la figura 10 muestra una señal 1013 de bloqueo adecuada: la diferencia entre la fase de la altura relativa entre la carcasa y el océano, y la velocidad relativa entre la carcasa y la masa libre. El diagrama 1001 de Bode indica que esta señal de bloqueo es preferible a la del diagrama 1000, ya que tiene un punto 1015 de inflexión correspondiente al pico 1014 de magnitud. Esto indica que un sistema de bloqueo basado en esta señal produce la resonancia antisimétrica deseada entre la carcasa y la masa libre.

Un gran número de señales potencialmente útiles se puede detectar directamente o derivarse del sistema y cualquiera de estas puede ser utilizada en los generadores de energía de las olas descritos en este documento si se encuentran que son eficaces. Por ejemplo, otras señales con puntos de bloqueo apropiados son:

la posición relativa de la carcasa y la masa;

la diferencia entre la posición relativa de la carcasa y el océano, y la posición relativa de la carcasa y la masa;

la diferencia entre la posición relativa de la carcasa y el océano, y la velocidad relativa de la masa; y

la diferencia entre la posición relativa de la carcasa y la masa, y la velocidad relativa de la carcasa y la masa.

Se entenderá que las variables intrínsecas de los componentes del sistema y no directamente relacionado con una coordenada determinada a partir del océano son más deseables, debido a la dificultad en la definición de la posición relativa entre la carcasa y el océano.

Como se mencionó anteriormente, otras formas de controlador también se pueden usar, por ejemplo, un control óptimo, que no requieren necesariamente esta relación de fase específica. Por ejemplo, un controlador óptimo puede tomar la posición relativa de la carcasa y la masa y la fuerza que se está aplicando en ese momento (medida con un acelerómetro) como una entrada. Esta señal es suficiente para servir como una función de coste que permite el retorno de un parámetro utilizado para controlar la aplicación de fuerza al sistema.

### **Ejemplo**

La figura 7 es un ejemplo de un dispositivo 700 generador de olas. Como se ilustra, el eje vertical de la boya es mucho más largo que su eje horizontal, aunque esto es variable según las condiciones oceánicas y la optimización del rendimiento del dispositivo. El dispositivo 700 tiene una porción inferior cilíndrica alargada que aloja un muelle 301 neumático de lóbulo rodante colocado en un soporte 510a en la base de la carcasa 507. Una masa libre que incluye el contrapeso 104 y la fuente de campo del motor lineal se mueve a lo largo de cojinetes 512, 513 lineales hacia arriba y hacia abajo del eje vertical del dispositivo 700.

La porción cilíndrica superior del dispositivo 700 aloja la armadura del motor 103 lineal. Las tres fases 206 del motor 103 lineal están conectadas al sistema combinado de gestión y control de la energía. Este sistema permite la conversión de la CA generada en las fases lineales del motor a CC a través de tres controladores de puente completos. Estos controladores permiten que la energía se devuelva directamente a las fases del motor.

Este sistema incorpora controladores de puente completo unidos a cada fase del motor lineal. Estas fases están a su vez conectadas a un mecanismo de almacenamiento de energía y una toma 105 de fuerza. Estos controladores de puente completos y el mecanismo de almacenamiento de energía están controlados por un sistema de control.

Se proporcionan soportes 511 para mantener el motor 103 lineal en la porción cilíndrica superior. Un amortiguador 101 está montado en la parte superior del dispositivo 700 para limitar el impacto de la masa libre sobre la carcasa 507. Varios sensores 102 están situados en el dispositivo, en comunicación de datos con el controlador 200, que también está en comunicación de datos con el motor 103 lineal.

El motor 103 lineal en el dispositivo 700 está optimizado para eficiencia en operación a alta potencia de baja precisión. Los motores de este tipo se utilizan en compresores para dispositivos de refrigeración de temperatura ultrabaja utilizados en aplicaciones criogénicas, tal como la serie de motores QDrive STAR; o en montañas rusas

como la montaña rusa LSM de Intamin. El dispositivo puede ser un motor de imanes permanentes como estos o un dispositivo alimentado de forma doble con una fuente de campo excitado. El dispositivo puede tener un estator trifásico y un rotor trifásico. El motor está conectado a un controlador estándar de puente completo con su mecanismo de salida y control conectado al sistema de control.

- 5 El dispositivo 700 puede tener un diámetro de varios metros (por ejemplo, 4 m) y una altura aproximadamente de 3 a 5 veces el diámetro (por ejemplo, 12 m). Diferentes tamaños pueden ser apropiados para diferentes aplicaciones.

La figura 8 muestra los resultados de una simulación 800 del dispositivo que incorpora un sistema eléctrico simulado completo que opera sobre olas 810 oceánicas simuladas similar al perfil de onda de un océano real. La curva 811 muestra el movimiento simulado de la carcasa y la curva 812 muestra el movimiento simulado de la masa. La figura 8 muestra la misma simulación dos veces. El diagrama inferior cubre un período de tiempo más largo. En la porción central del diagrama inferior, las olas turbulentas del océano interrumpen el bloqueo del dispositivo. Sin embargo, el control se restablece.

A medida que el dispositivo 700 opera, accionado por el océano, la fuente de campo y el inducido del motor 103 lineal se mueven a diferentes velocidades. Esto genera energía de CA en las tres fases del motor lineal que se convierte en CC y se almacena en el dispositivo 400 de almacenamiento de energía.

La energía almacenada se devuelve al motor lineal, aplicando una fuerza a la fuente de masa/campo y el inducido/carcasa con la dirección e intensidad determinada por el sistema 200 de control. La adición de energía al sistema de esta manera cambia el movimiento de los componentes, de modo que el sistema de fuente de campo/masa muestra un movimiento desplazado 180° hacia el inducido/carcasa (es decir, resonancia antisimétrica entre ambas).

Las simulaciones de la operación del dispositivo indican que se puede lograr una resonancia casi perfecta en condiciones oceánicas realistas. En ausencia de control activo, existe una tendencia natural a que este sistema pierda resonancia debido a las pérdidas de energía en cualquier sistema real, por ejemplo, debido a la fricción. Esto es contrarrestado por el retorno de energía al sistema a veces determinado por el sistema 200 de control.

El sistema de control utiliza entradas procedentes de los sensores para optimizar el movimiento de la energía en todo el sistema eléctrico del dispositivo. La toma de energía se puede conectar a un inversor dentro o fuera de la boya. El dispositivo no requiere ninguna conexión a tierra mecánica y puede utilizar un cable combinado de toma de energía y amarre para evitar que se desvíe hacia el mar cuando se conecta a un objeto en el océano (tal como un barco, muelle, plataforma de perforación costa afuera o turbina eólica costa afuera) o un amarre fijo (tal como una placa unida al lecho marino o una base monopolo).

La figura 4 muestra un ejemplo de la "señal de control" 420 producida por el sistema de control. Esta señal de control se normaliza por multiplicación con la fuerza debida al muelle 301 que conecta la carcasa y la masa en un punto dado. Esta fuerza es detectada por otro sensor en el sistema. Esta disposición garantiza que la energía devuelta al sistema sea proporcional a la amplitud del movimiento de la ola predominante. Devolver más energía que esto sería ineficiente, ya que aumentaría la proporción relativa de energía añadida a la energía extraída. Devolver menos sería insuficiente para mantener un bloqueo lo suficientemente cerca como para maximizar la extracción de energía.

Una simulación de un dispositivo idealizado, sin modelado de componentes eléctricos, indica un aumento significativo de la energía de salida en el caso controlado respecto al no controlado. El análisis de la posición de los componentes del sistema en ambos casos también muestra que el sistema de control tiene efecto, manteniendo el movimiento de la carcasa y la masa casi en resonancia antisimétrica. En general, se produce más energía porque mantener el sistema de carcasa-masa en resonancia antisimétrica maximiza la diferencia promedio en velocidad a lo largo del tiempo, que es cómo se produce la energía (la carcasa y la masa están conectadas al inducido lineal del motor y a la fuente de campo, respectivamente).

Una simulación que incorpora el sistema eléctrico indica un efecto idéntico, aunque con amortiguación adicional (modelado como la inductancia nativa y la resistencia del motor lineal). Esto sirve para confirmar que el sistema de control puede hacer que se extraiga más potencia en un dispositivo en el que la carcasa y la masa se mueven en resonancia antisimétrica, en comparación con un dispositivo en el que la carcasa se mueve con respecto a un suelo mecánico o ancla.

La figura 11 es un diagrama de bloques que ilustra cómo los componentes del generador de energía de onda ejercen fuerzas entre sí y cómo se intercambian las señales de corriente y de datos dentro del generador.

Las olas 201 oceánicas y la carcasa 500 externa flotante ejercen una fuerza mecánica entre sí. La carcasa está acoplada mecánicamente al inducido 207 de la máquina 103 eléctrica y también al muelle 301 neumático de lóbulo rodante. El conjunto 208 de contrapeso que incluye el contrapeso 104 y la fuente de campo de la máquina 103 eléctrica se mueve dentro de la carcasa bajo la influencia de la gravedad 202. El inducido 207 y la fuente de campo están acopladas magnéticamente cuando la máquina eléctrica está operando como un generador o motor.

La CA se transfiere entre el inducido 207 y el controlador 203 de puente completo para cada fase. La CC se intercambia entre el controlador 203 de puente completo y el almacenamiento 400 de energía a través de un convertidor 204 de CC/CC.

5 La CC desde el controlador 203 de puente completo puede fluir a un inversor 205, según lo determinado por las señales de control desde el controlador 600 de bucle de bloqueo de fase. Se puede proporcionar una salida de CA del inversor 205 a la red 701. Las señales de datos desde los sensores 102 se proporcionan al controlador 600, desde el cual se proporcionan señales de control al controlador 203 de puente completo y al inversor 205.

10 El dispositivo puede operar en un régimen de CA únicamente, eliminando la necesidad de convertidores de CC, en el que la fuente de campo del motor lineal tiene tres fases excitadas que generan tres fases de alimentación de CA en las bobinas del estator del motor. Los controladores actúan para gestionar el flujo de corriente a través del sistema.

*Operación de alta frecuencia - Dispositivo de bloqueo PLL para las olas del océano*

15 En una realización alternativa, el PLL en su lugar bloquea el generador de energía de las olas a las olas del océano, de modo que la carcasa se mueve en resonancia simétrica a un *múltiplo* del periodo de las olas del océano. Esto se puede lograr bloqueando una señal que varía con un múltiplo del período oceánico (por ejemplo, la derivada analítica de la altura de la ola al cuadrado, o simplemente su magnitud).

20 El movimiento en un múltiplo de la frecuencia de las olas oceánicas no es una resonancia natural, y requiere una mayor entrada de energía desde el dispositivo de almacenamiento de energía. Para dispositivos de la escala imaginada, también reduce la velocidad relativa de la carcasa y la masa durante la operación, disminuyendo así la salida de energía. Sin embargo, esta disposición permite reducir la masa de los componentes, al tiempo que proporciona parámetros operativos similares, que pueden ser útiles en entornos costeros y marinos particulares. Esta realización es más útil en implementaciones mayores, donde la distancia que necesita recorrer la fuente de campo es mayor. Esto significa que la velocidad relativa promedio de la fuente de campo y el inducido llega a ser significativamente mayor, aunque las simulaciones indican que la salida de energía aún no es capaz de coincidir con la de la realización principal.

25 Obsérvese que este sistema de control alternativo puede ser reemplazado con un mayor número de PLL, o con un solo PLL que lleva diferentes señales como sus entradas. Por ejemplo, varias señales y sus contrapartes desplazadas en fase podrían usarse para sintetizar señales duplicadas en frecuencia para la entrada en el detector de frecuencia del PLL. Por ejemplo, en otra realización alternativa, el PLL se reemplaza por dos PLL para hacer que el sistema de carcasa y masa continúe resonando antisimétricamente mientras se mueve en resonancia paramétrica con el océano, es decir, en un múltiplo de la frecuencia de la ola del océano "motriz".

30 Por lo tanto, cambiando las señales de control utilizadas en el PLL, y añadiendo detectores de fase adicionales si las señales de control elegidas lo requieren, el dispositivo puede funcionar en múltiplos enteros del período de las olas oceánicas motrices. El dispositivo puede continuar operando con la masa y la carcasa en resonancia antisimétrica, o simplemente bloquear el movimiento de la carcasa a un múltiplo del período de las olas del océano.

35 Esto permite que el dispositivo sea construido con una masa libre proporcionalmente más ligera. El efecto de este cambio en el sistema de control se puede mejorar cambiando la forma de la carcasa externa. Por ejemplo, una implementación presentaría una carcasa con forma de dos conos unidos cerca de sus puntas (por ejemplo, la carcasa 506). Esto hace que el período incidente de la ola duplique su efecto sobre el movimiento de la boya, haciendo que su resonancia natural sea el doble del período de una ola incidente dada. Otras formas son posibles para otros múltiplos, que generalmente implican una distribución de bultos en la carcasa externa.

*Resonancia horizontal*

45 En el dispositivo 700, el generador de energía de las olas está bloqueado al período vertical de las olas con una compensación construida para su componente horizontal (que puede ser una fuente de energía adicional). Ciertas aplicaciones (por ejemplo, cerca de la costa) pueden requerir un dispositivo que no resuene tanto horizontal como verticalmente; esto requiere que el movimiento de la fuente de campo no se vea afectado por ninguna deriva horizontal o inclinación desde el eje vertical de la boya. Esto se puede lograr con un cuerpo cónico ancho, por ejemplo, las carcasas 504, 505, donde los componentes funcionales del dispositivo están suspendidos dentro de una segunda carcasa interna, suspendida de la carcasa externa en dos ejes con cojinetes giratorios. El interior de la carcasa externa está revestido con materiales o dispositivos que absorben la fuerza para evitar daños accidentales a los componentes funcionales, debido a que la carcasa interna se estrella contra la carcasa externa debido al movimiento de las olas particularmente violento o al desgaste de los ejes.

50 Se entenderá que la invención descrita y definida en esta memoria descriptiva se extiende a todas las combinaciones alternativas de dos o más de las características individuales mencionadas o evidentes a partir del texto o de los dibujos. Todas estas combinaciones diferentes constituyen diversos aspectos alternativos de la invención.

## REIVINDICACIONES

1. Un generador (100) de energía de las olas que comprende:

una carcasa (500) flotante destinada a flotar en un cuerpo de agua;  
 una máquina (103) eléctrica situada dentro de la carcasa (500) que comprende un inducido y una fuente de campo, teniendo la máquina eléctrica una parte fija acoplada a la carcasa y una parte móvil;  
 un conjunto (104) de contrapeso que se puede mover dentro de la carcasa (500), que comprende la parte móvil de la máquina eléctrica y en el que un movimiento relativo del conjunto de contrapeso y la parte fija de la máquina eléctrica genera energía eléctrica;  
 almacenamiento (400) de energía que almacena energía generada por la máquina eléctrica, **caracterizado porque** el generador de energía de las olas comprende un sistema de control (200) que determina un flujo de energía bidireccional entre el almacenamiento de energía y el inducido, en el que la energía se devuelve a la máquina eléctrica para accionar un movimiento del conjunto de contrapeso de forma antisimétrica a un movimiento de la carcasa.

2. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 1, que comprende un dispositivo de fuerza de restablecimiento ubicado entre la carcasa y el conjunto de contrapeso, ejerciendo el dispositivo de fuerza de restablecimiento una fuerza de restablecimiento sobre el conjunto de contrapeso si el conjunto se mueve dentro de la carcasa.

3. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 1 o 2, que comprende una pluralidad de sensores en comunicación de datos con el sistema de control, proporcionando los sensores señales de datos indicativas de al menos uno de:

- una posición de la carcasa;
- una posición del conjunto de contrapeso;
- una velocidad de la carcasa;
- una velocidad del conjunto de contrapeso;
- una aceleración de la carcasa;
- una aceleración del conjunto de contrapeso;
- corriente eléctrica en la fase o fases de la máquina eléctrica;
- la tensión a través de la fase o fases de la máquina eléctrica;
- la corriente eléctrica que fluye a través de los componentes de distribución de energía de la máquina eléctrica;
- la corriente eléctrica que fluye a través de los componentes eléctricos de la electrónica de control de energía;
- la tensión a través de los componentes de distribución de energía de la máquina eléctrica;
- la tensión a través de los componentes eléctricos de la electrónica de control de energía; y
- la fase de corriente en la fase o fases de la máquina eléctrica.

4. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 3, en el que el sistema de control comprende un bucle de bloqueo de fase (PLL) que actúa para bloquear una fase de una primera señal a una fase de una segunda señal.

5. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 4, en el que una entrada de señal al PLL se selecciona del grupo que consiste en:

- una diferencia entre una posición de la carcasa y la superficie del océano;
- una diferencia entre una velocidad de la carcasa y una velocidad del conjunto de contrapeso; y
- una diferencia entre una aceleración de la carcasa y una aceleración del conjunto de contrapeso.

6. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 3, en el que el sistema de control comprende un algoritmo de control óptimo que actúa para devolver y extraer energía de la máquina eléctrica, de manera que el conjunto de contrapeso y la carcasa se muevan de forma antisimétricamente resonante.

7. Un generador de energía de las olas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inducido comprende tres fases de la máquina eléctrica.

8. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 7, en el que cada fase está asociada a un controlador de puente completo que permite el flujo bidireccional entre las fases y el almacenamiento de energía.

9. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 1, que comprende un circuito de toma de energía que genera energía eléctrica generada desde el generador de energía de las olas.

10. Un generador de energía de las olas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende cojinetes lineales alineados con un eje vertical de la carcasa, moviéndose el conjunto de contrapeso a lo largo de los cojinetes lineales dentro de la carcasa.

11. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 1, en el que el sistema de control determina el flujo de energía bidireccional que depende de un múltiplo entero de un período de olas en el cuerpo de agua.
- 5 12. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 1, en el que al menos la parte fija de la máquina eléctrica y el conjunto de contrapeso están situados en una segunda carcasa situada dentro de la carcasa flotante y giratoria con respecto a la carcasa flotante para mantener una orientación sustancialmente vertical del segundo alojamiento.
13. Un generador de energía de las olas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende medios de frenado que restringen el movimiento del conjunto de contrapeso con respecto a la carcasa.
- 10 14. Un generador de energía de las olas según la reivindicación 13, que comprende medios para activar los medios de frenado si un movimiento del generador excede un umbral especificado, o se basa en una señal desde una fuente externa.
15. Un procedimiento de generar energía eléctrica, que comprende:
- a) desplegar un generador (100) de energía de las olas en un cuerpo de agua, comprendiendo el generador:
- 15 i) una carcasa (500) flotante;
- ii) una máquina (103) eléctrica situada dentro de la carcasa que comprende un inducido y una fuente de campo, teniendo la máquina eléctrica una parte fija acoplada a la carcasa y una parte móvil;
- 20 iii) un conjunto (104) de contrapeso que se puede mover dentro de la carcasa, comprendiendo la parte móvil de la máquina eléctrica y en el que un movimiento relativo del conjunto de contrapeso y la parte fija de la máquina eléctrica genera energía eléctrica; y
- iv) almacenamiento (400) de energía que almacena la energía generada por la máquina eléctrica;
- caracterizado porque** el procedimiento comprende:
- b) determinar un flujo de energía bidireccional entre el almacenamiento de energía y el inducido, y
- c) devolver energía a la máquina eléctrica en función del flujo de energía determinado, para accionar un movimiento del conjunto de contrapeso de forma antisimétrica a un movimiento de la carcasa.

25

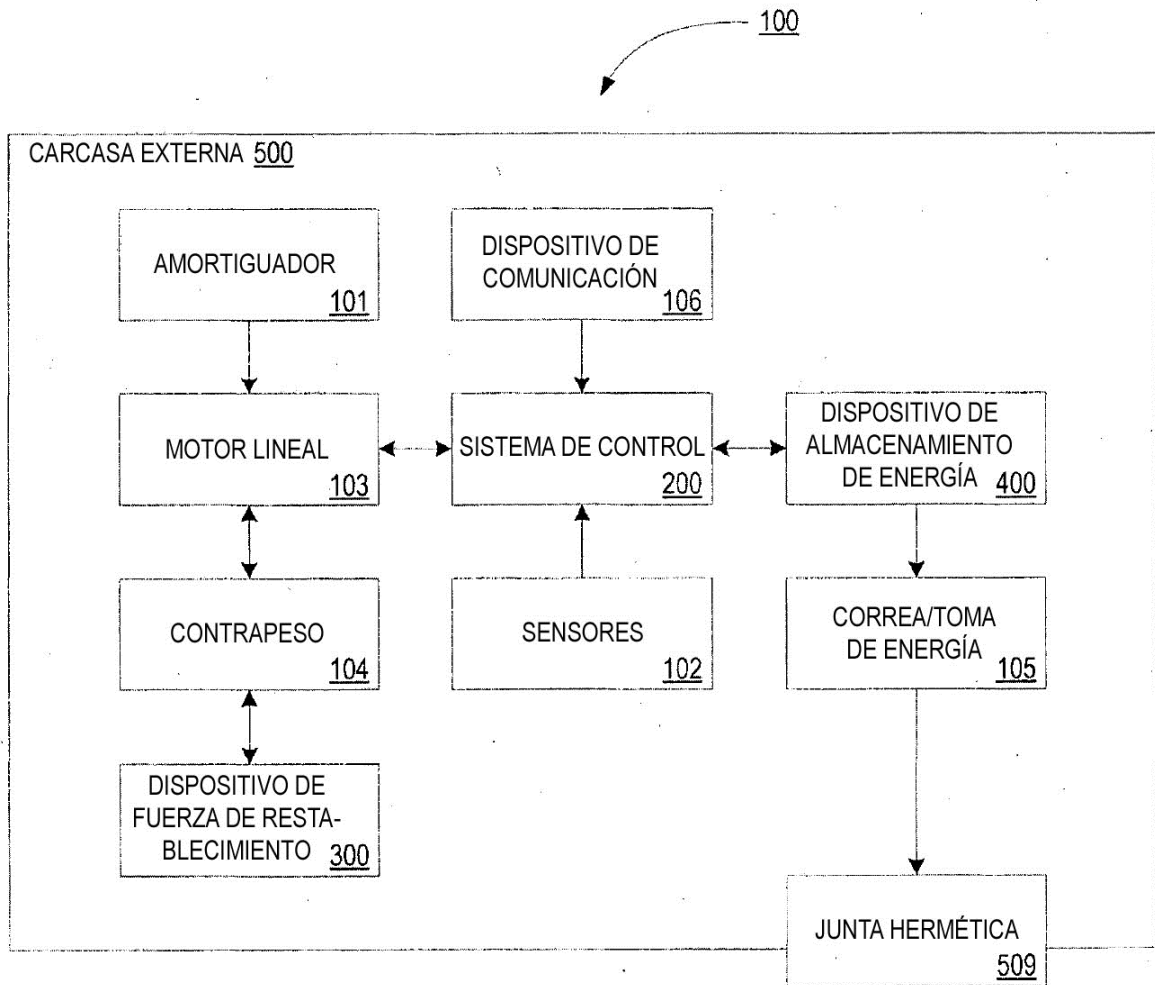


FIG. 1

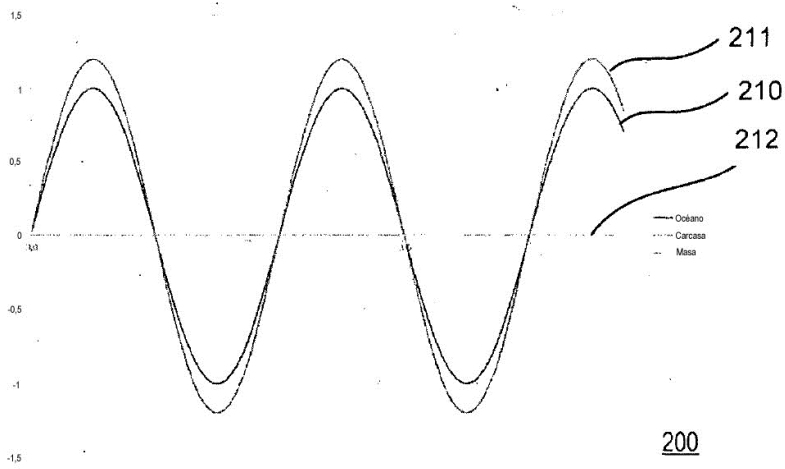


FIG. 2A

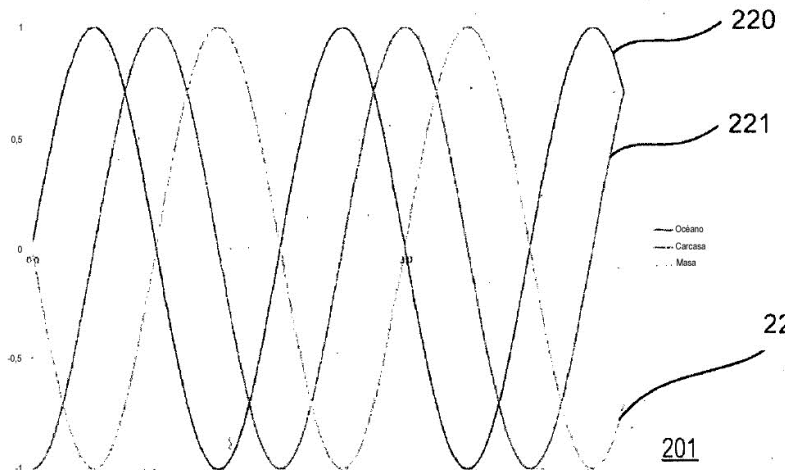


FIG. 2B

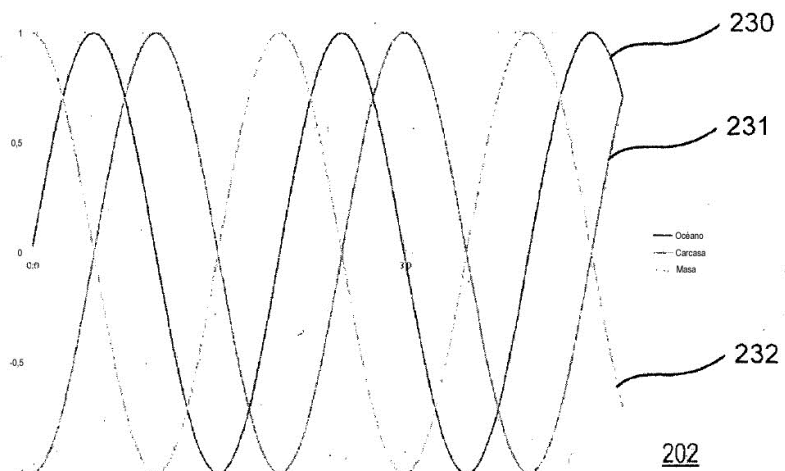


FIG. 2C

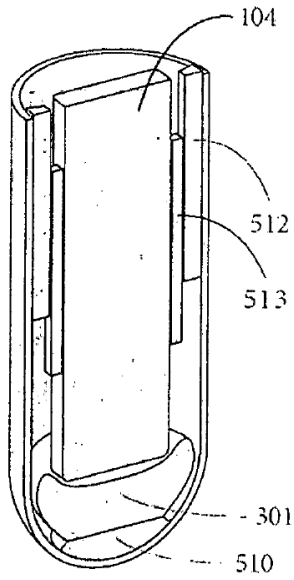


FIG. 3A

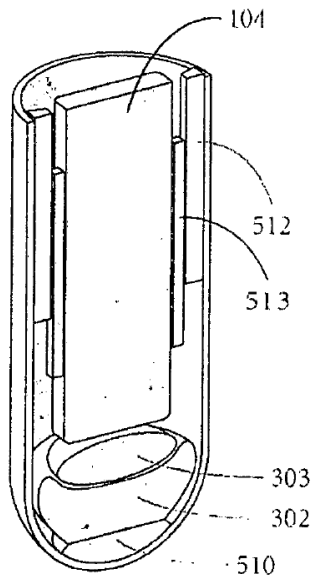


FIG. 3B

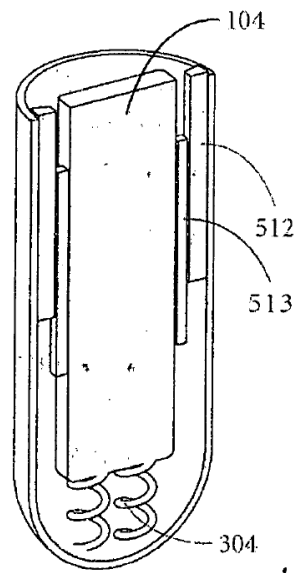


FIG. 3C

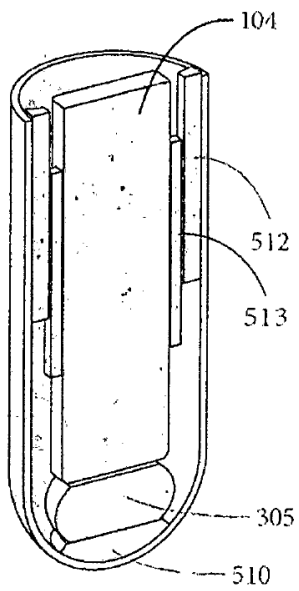


FIG. 3D

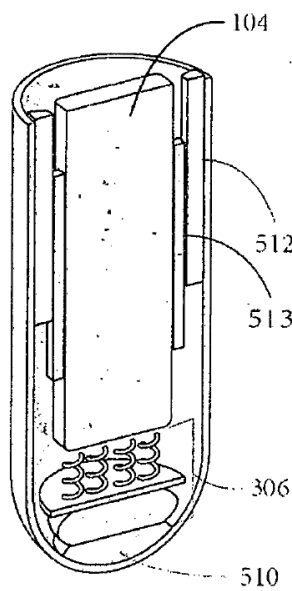


FIG. 3E

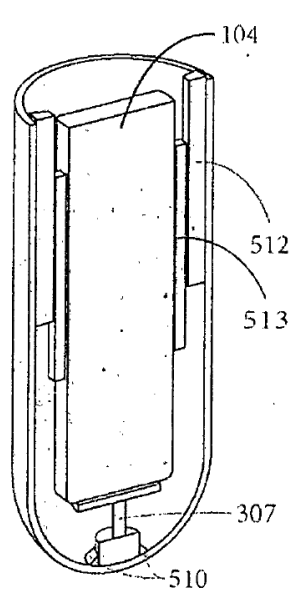
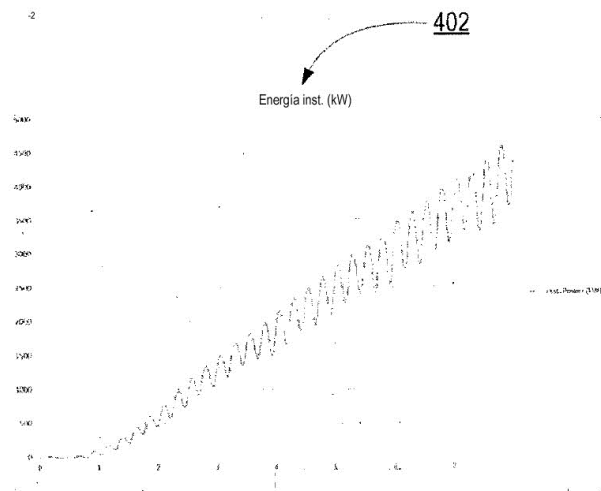
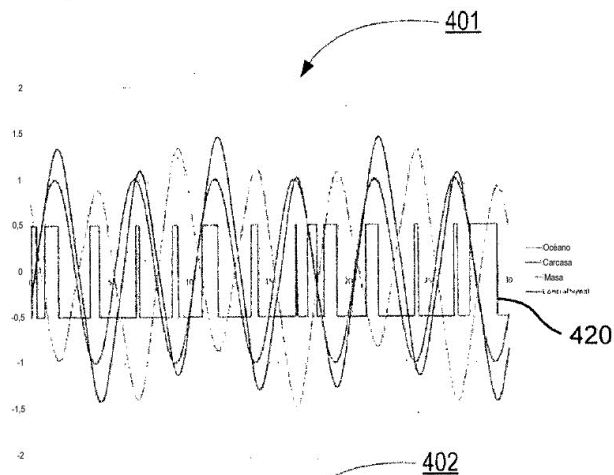
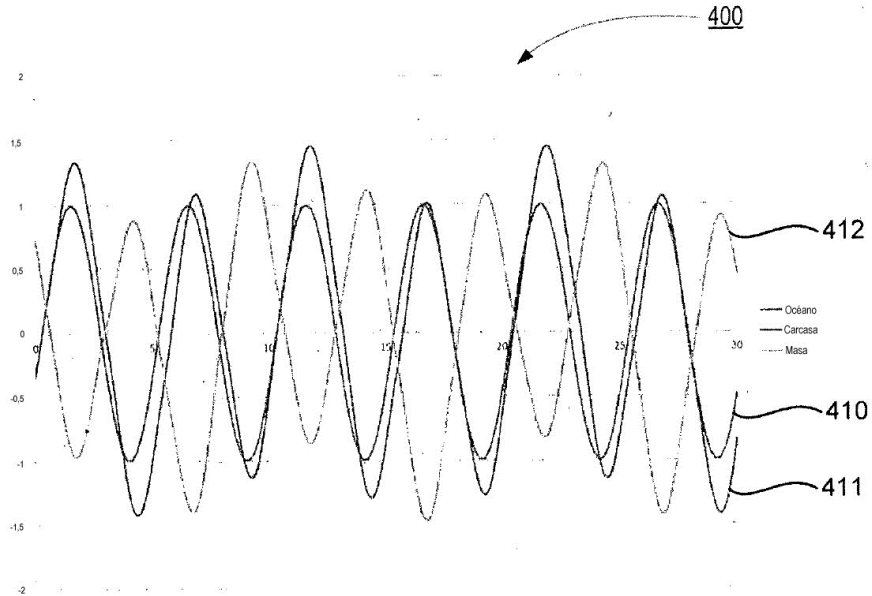


FIG. 3F





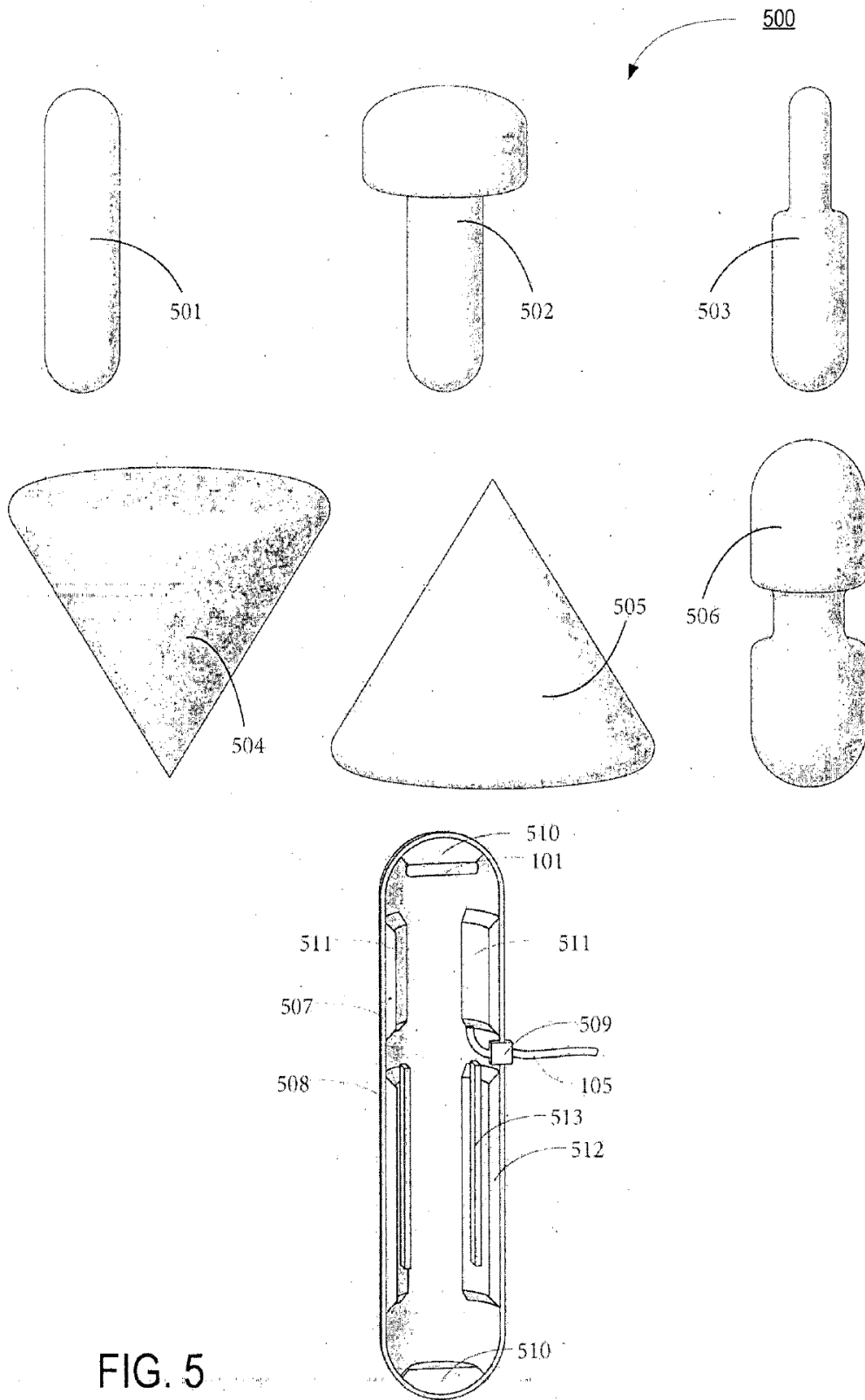
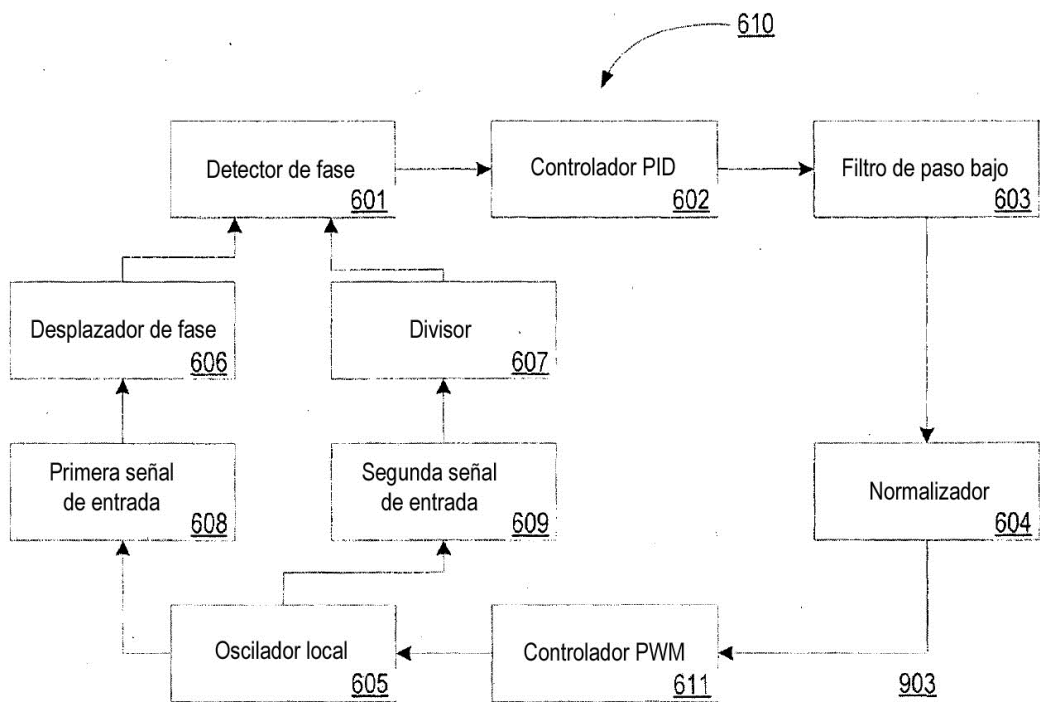
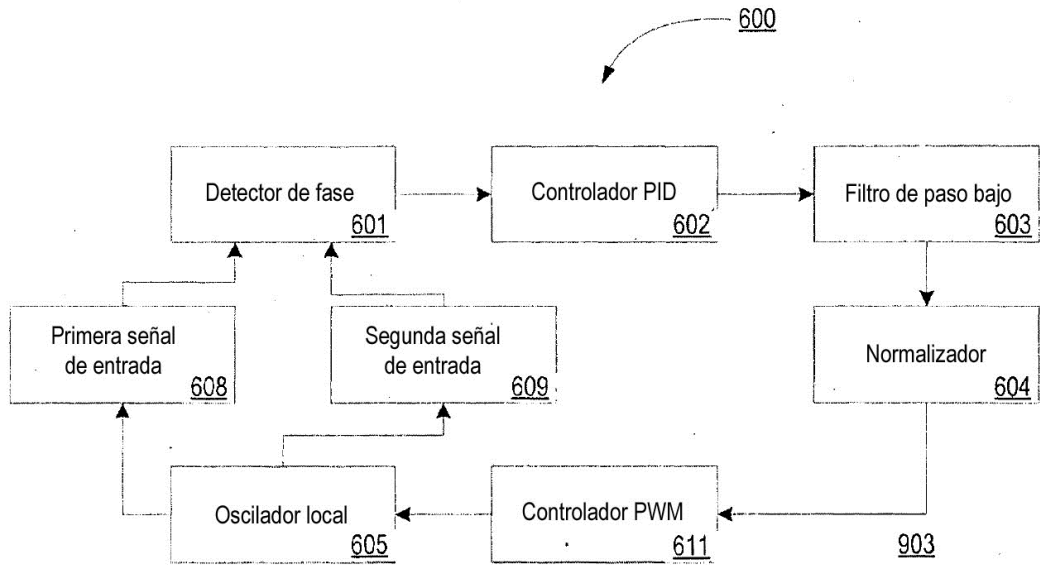


FIG. 5



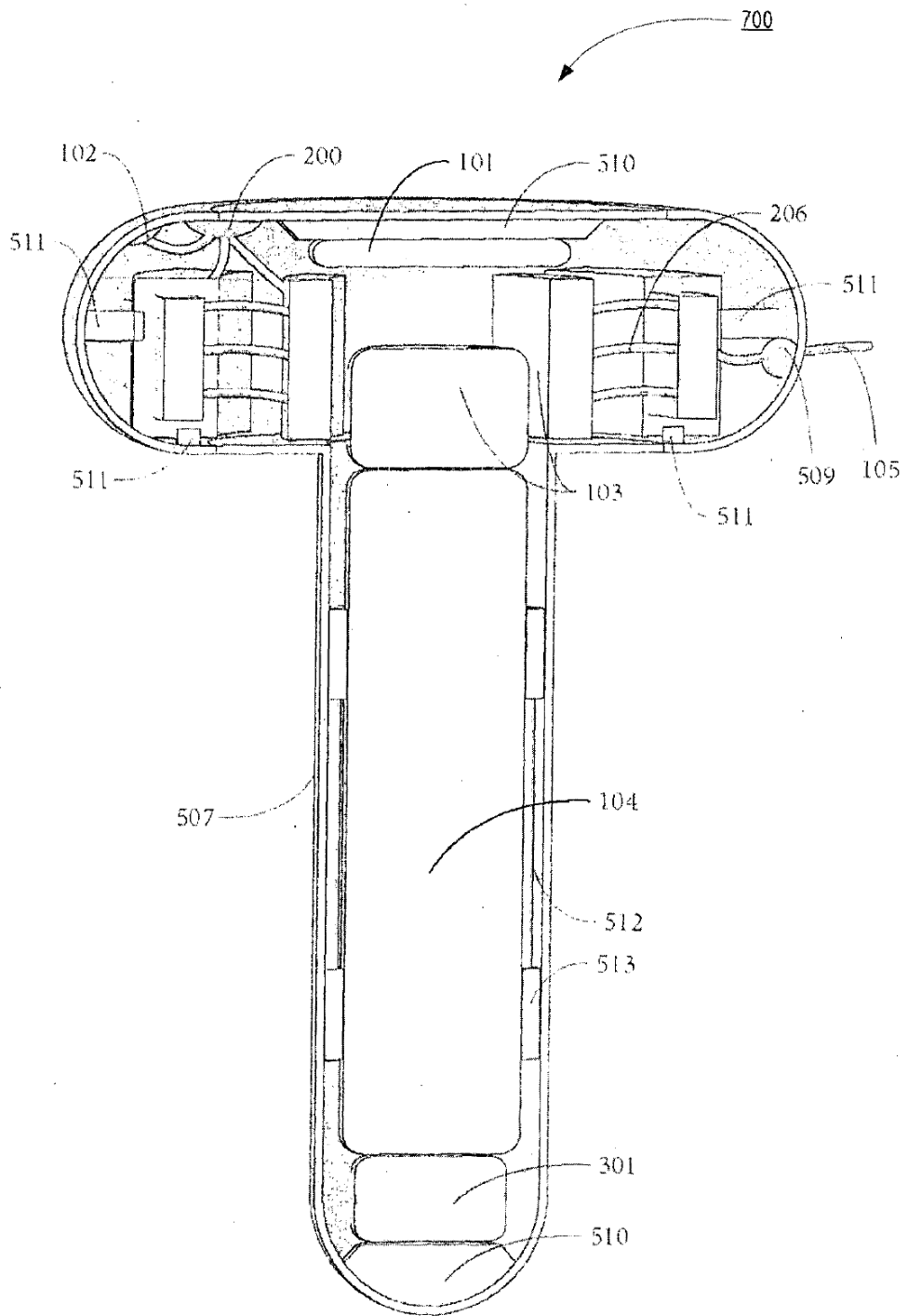


FIG. 7

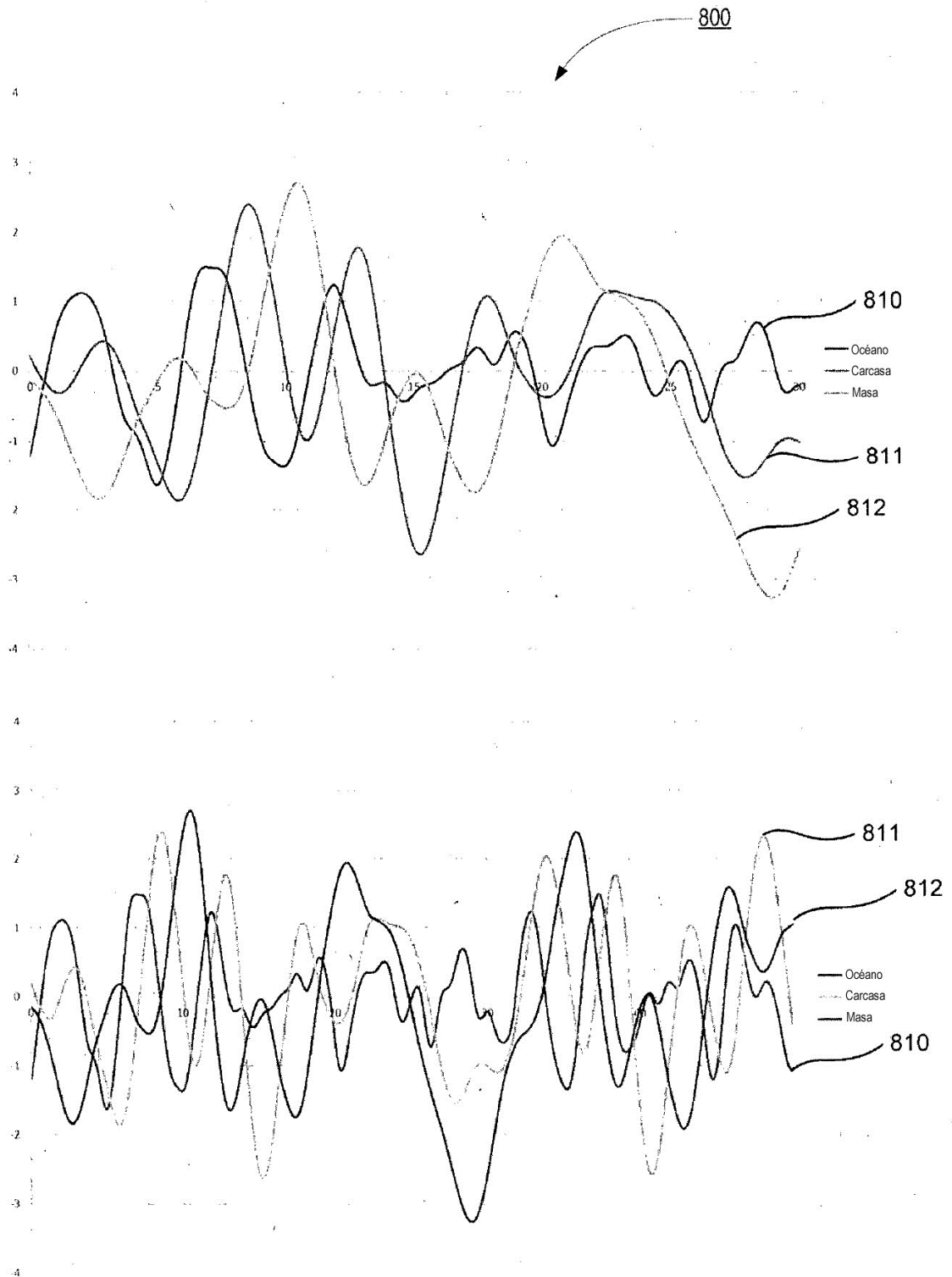


FIG. 8

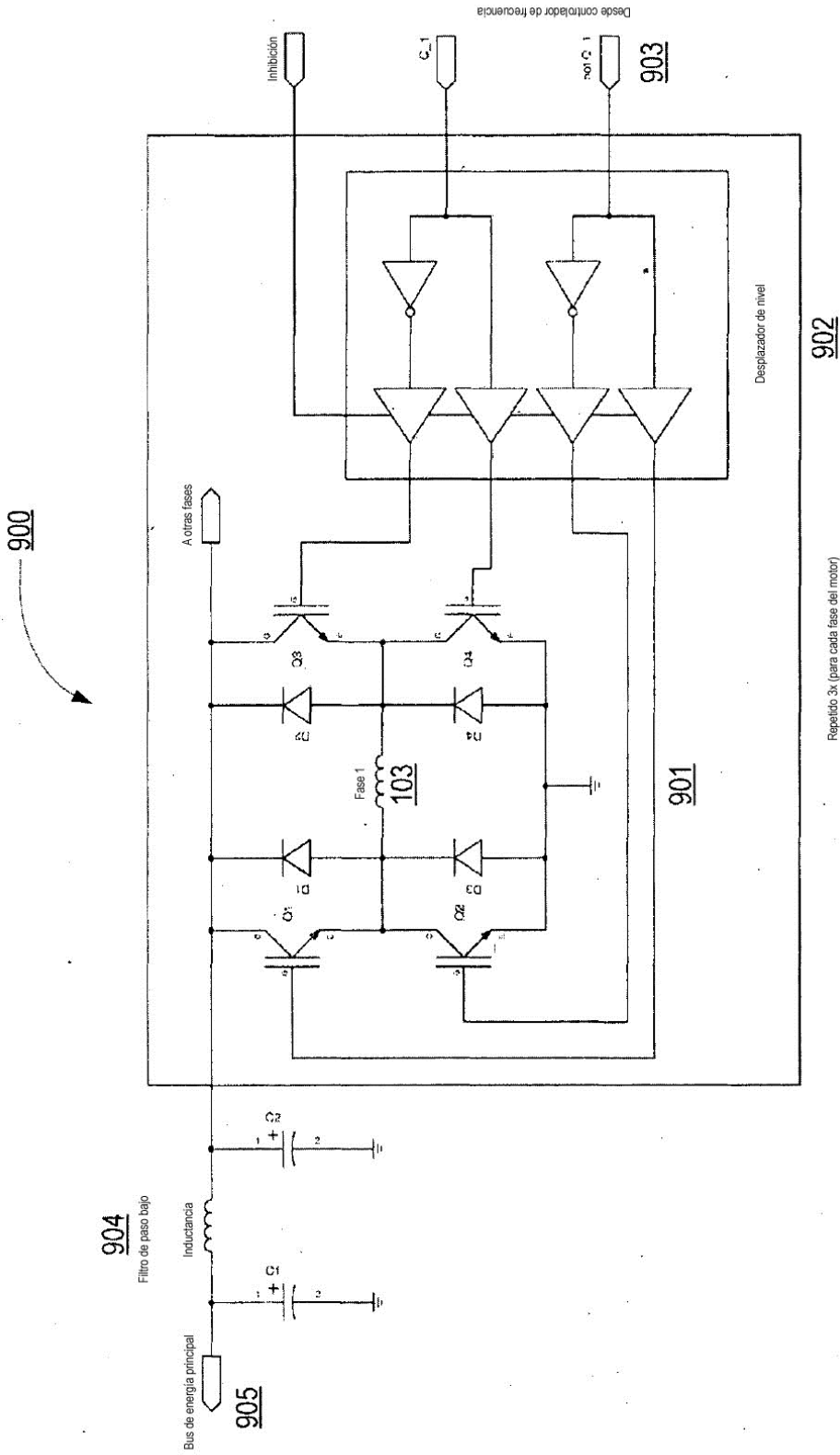


FIG. 9A

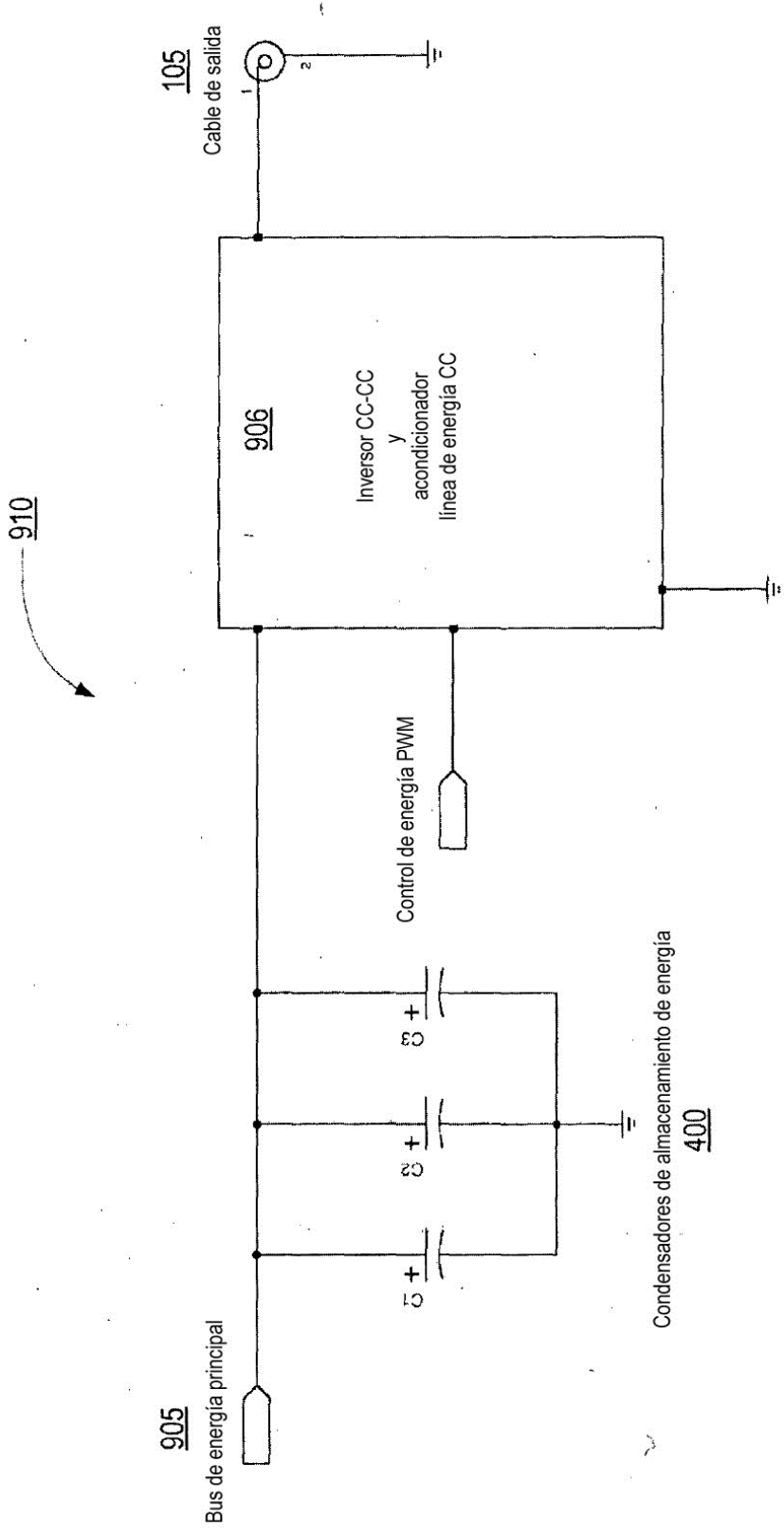


FIG. 9B

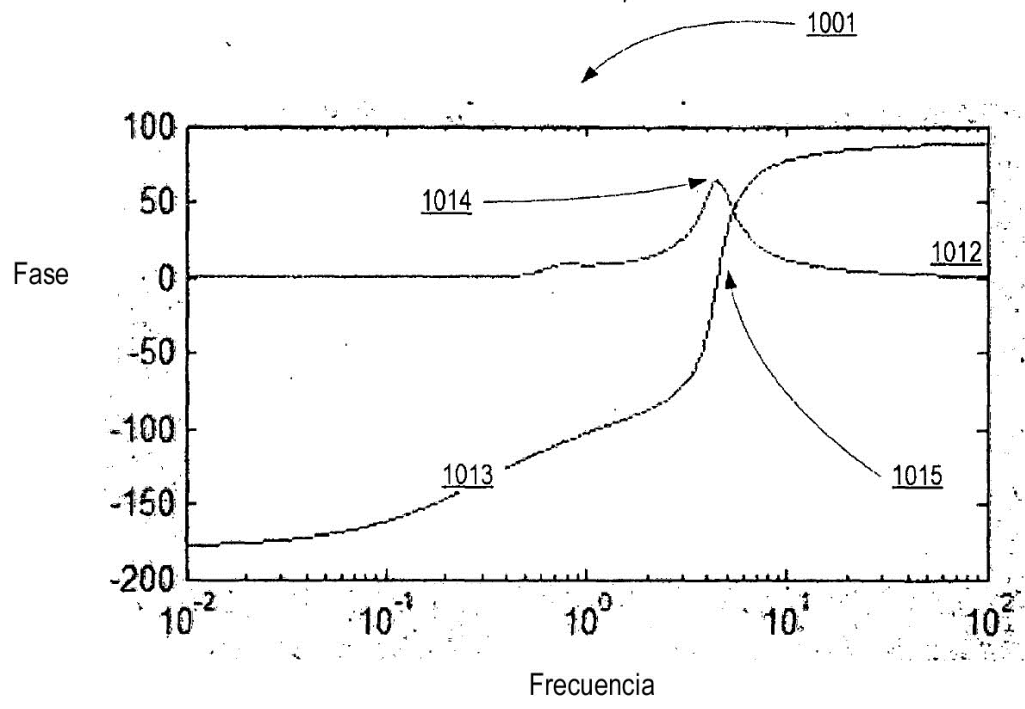
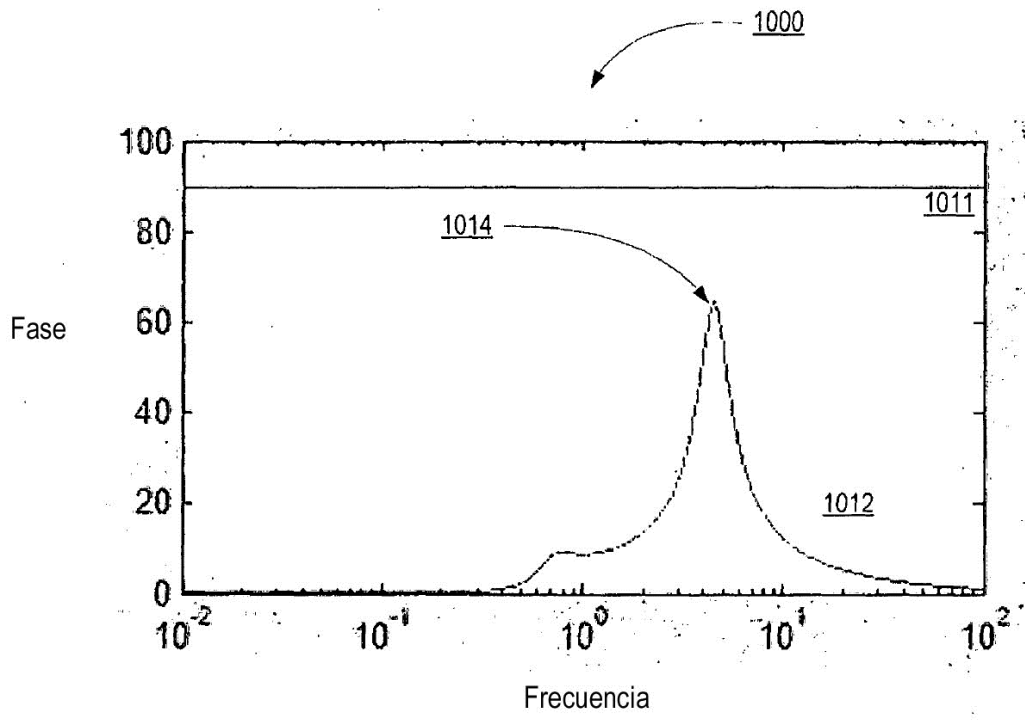


FIG. 10



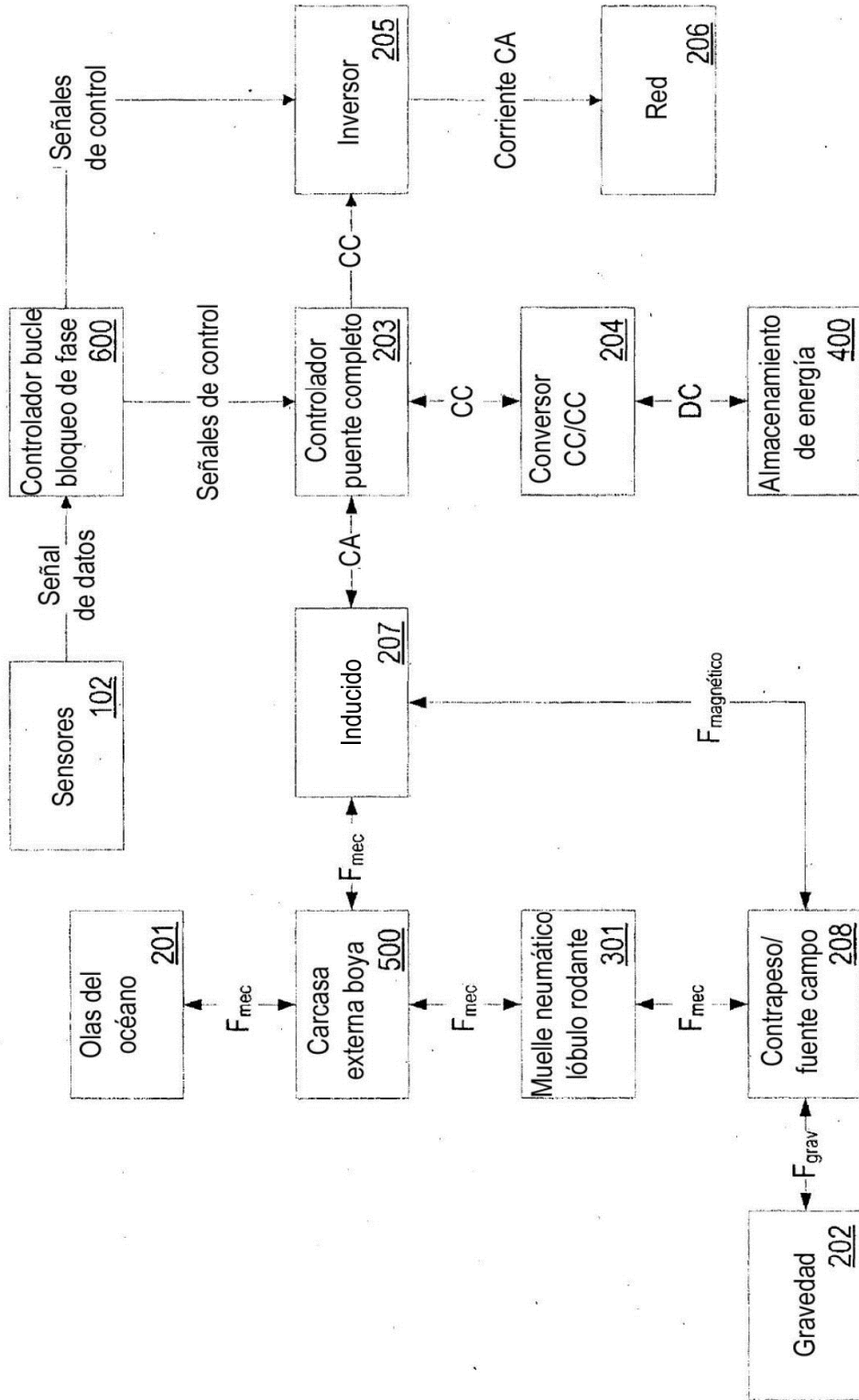


FIG. 11