

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 557 499**

51 Int. Cl.:

F03B 13/18 (2006.01)

F03B 13/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2009** **E 09851522 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2015** **EP 2504567**

54 Título: **Convertidor de energía de las olas y sistema de toma de fuerza**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.01.2016

73 Titular/es:

OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC. (100.0%)
1590 Red Road
Pennington, NJ 08534, US

72 Inventor/es:

EDER, JAMES E. y
STEWART, DAVID B.

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 557 499 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Convertidor de energía de las olas y sistema de toma de fuerza

Antecedentes de la invención

5 Esta invención se refiere a un aparato de toma de fuerza (PTO) para uso con un convertidor de energía de las olas (WEC) y, en particular, a un sistema de PTO mejorado empleando un movimiento lineal alternante.

En general, los WEC son dispositivos que convierten la energía mecánica presente en las olas del mar en energía eléctrica o cualquier otra forma adecuada de energía. Los WEC pueden adoptar muchas formas diferentes. La presente invención es muy adecuada para uso con WEC que convierten el movimiento de energía de las olas en un movimiento alternante que es sustancialmente lineal.

10 La figura 1 muestra un WEC de la técnica anterior en el cual la PTO incluye un sistema hidráulico para accionar un generador/motor. El WEC mostrado en la figura 1, incluye dos componentes principales: un flotador (1) de forma toroide y un mástil (2) de forma cilíndrica, donde el flotador (1) está dispuesto alrededor del mástil (2). En esta configuración, el flotador puede estar diseñado para tener una flotabilidad neutral por lo que su línea de flotación es sustancialmente centrada en un punto medio de su altura. El diseño hidrodinámico del sistema es tal que el mástil (2) permanece sustancialmente estacionario, o al menos su comportamiento dinámico está dominado por su inercia; mientras que el
15 flotador (1) sigue sustancialmente el movimiento de las olas (es decir, esta generalmente en fase con las olas). Además del diseño hidrodinámico, el mástil (2) también puede ser considerado estacionario al estar anclado al fondo del mar (como se muestra en la figura 1) o puede ser mantenido relativamente estacionario con la ayuda de una placa de movimiento vertical que está unida cerca de la parte inferior del mástil (2).

20 La fuerza y el movimiento relativo entre el flotador (1) y el mástil (2) se convierten en energía eléctrica por medio de una PTO (10) conectada entre ellos. En la figura 1, la PTO incluye un sistema hidráulico que incluye un motor acoplado a través de un eje a un generador para producir energía eléctrica. Debido a la relativamente baja frecuencia de las ondas, las señales eléctricas correspondientes tienden a ser de baja frecuencia lo que es muy ineficiente. Para superar este problema varios mecanismos de engranajes pueden introducirse para aumentar la frecuencia de las señales eléctricas
25 que se producen. Sin embargo, los mecanismos de engranajes conocidos tienden a requerir un mantenimiento sustancial y sustitución y tienden a ser ineficaces y poco fiable.

Existen otros problemas con sistemas conocidos en la conversión eficiente y fiable de energía de las olas en energía eléctrica.

30 WO2007/137426 revela un convertidor de energía de las olas (WEC) para uso en un cuerpo de agua sometido a movimiento de las olas de distinta amplitud y frecuencia, el WEC incluyendo un primer cuerpo flotante móvil en uso generalmente, en fase con las olas, un segundo cuerpo móvil en uso generalmente fuera de fase con el primer cuerpo, y un dispositivo de toma de fuerza (PTO) acoplado entre el primer y segundo cuerpos para la conversión de su movimiento relativo en energía eléctrica, la PTO que comprende el aparato de piñón y cremallera donde uno de dichos piñón y cremallera está acoplado a uno de dichos primer y segundo cuerpos y el otro de dicho piñón y cremallera está
35 acoplado al otro dicho primer y segundo cuerpos; y en donde dicho aparato de piñón incluye un engranaje de piñón conectado a un generador para accionar dicho generador y en donde dicho generador es un dispositivo de multipolos para producir una tensión que tiene una frecuencia que es al menos en un orden de magnitud mayor que la frecuencia de las olas.

40 US2005/285402 revela también un convertidor de energía de las olas del océano con una disposición de cremallera y piñón. US2007/266704 revela un WEC que tiene segmentos de cojinete diseñados para evitar la rotación o torsión del mástil respecto al flotador.

Es un objeto de la presente invención superar muchos de los problemas conocidos y proporcionar un aparato de PTO que pueda convertir la fuerza relativa y el movimiento del flotador y del mástil en energía eléctrica de una manera eficiente y fiable.

45 Resumen de la invención

La invención proporciona un convertidor de energía de las olas (WEC) según lo establecido en la reivindicación 1.

La PTO está de preferencia, pero no necesariamente, ubicada dentro del mástil. Es decir, la PTO puede estar situada externamente al mástil; pero luego se convierte en objeto de la acción corrosiva del agua.

50 Una PTO que incorpora la invención incluye un mecanismo de piñón y cremallera que acciona un momento de torsión alto, multipolo, por lo general más de 8 polos, generador magnético permanente (PMG) para producir una señal eléctrica de relativamente alta frecuencia a la frecuencia de las olas y el movimiento básico del mecanismo de cremallera y piñón. De acuerdo con la invención, la frecuencia de la tensión producida por el generador será de al menos de un orden de

magnitud mayor que la frecuencia de las olas. Esto permite la fabricación de un sistema de PTO más fiable y eficiente que no requiere un mecanismo de engranaje, diferente del piñón y cremallera, para aumentar la velocidad de rotación y la frecuencia de la tensión producida por la PTO.

5 De acuerdo con un aspecto de la invención, el piñón está conectado integralmente con el eje del generador y el eje está conectado a, y conduce, el rotor del generador.

10 De acuerdo con otro aspecto de la invención, el mecanismo de cremallera y piñón está situado dentro del mástil y es accionado por una barra de empuje (presión) que es sensible al movimiento relativo entre el mástil y el flotador y que pasa a través de una abertura en el mástil. En el lugar de la abertura, se forma un mecanismo de sellado compatible entre el mástil y la barra de empuje para inhibir el flujo de agua de mar dentro del mástil y para permitir que la barra de empuje pueda moverse hacia arriba y hacia abajo con poca fricción para garantizar un funcionamiento eficiente.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, múltiples engranajes de piñón pueden estar montados a lo largo de una cremallera para conducir múltiples generadores, simultáneamente, generando resultados que se pueden combinar.

15 Además, se puede proporcionar un dispositivo de frenado para inhibir selectivamente el movimiento relativo entre el flotador y el mástil durante ciertas condiciones, tales como olas intensas extremas o cuando el WEC esté siendo reparado. El "frenado" permite que los engranajes de piñón y generadores sean de un tamaño sólo para las condiciones de onda de funcionamiento. El dispositivo de frenado puede incluir un freno de fricción (por ejemplo, un freno de pinza) y/o un freno electromagnético.

20 Además, los WEC que incorpora la invención incluyen uniones cinemáticas (por ejemplo, una o más juntas esféricas) entre varias partes móviles que permiten la transmisión más suave y más eficiente y fiable de las fuerzas aplicadas en diferentes ángulos.

25 En una realización particular, el movimiento relativo entre el flotador y mástil, debido a las olas, se utiliza para conducir una barra de presión (empuje) acoplada mecánicamente al flotador para impartir un movimiento lineal correspondiente a una cremallera cuyos dientes se acoplan con los de un engranaje de piñón; donde el engranaje de piñón se mantiene estacionario con respecto al mástil. El mecanismo de cremallera y piñón convierte el movimiento lineal en movimiento rotativo (ya sea directamente o a través de una caja de engranajes mejoradores de velocidad). El engranaje de piñón es entonces acoplado directamente al rotor de un motor de torsión sin escobillas/generador. Un motor/generador con escobillas también puede ser utilizado, pero las escobillas tienden a desgastarse y requieren reemplazo frecuente.

30 En una realización alternativa de esta invención, el engranaje de piñón (o engranajes) y el generador (o generadores) pueden ser acoplados a la barra de empuje con el fin de moverla hacia atrás y adelante (o hacia arriba y hacia abajo) y aun así estar libre para girar, mientras que la cremallera se mantiene fija con respecto al mástil.

En los WEC que incorporan la invención, el flotador está acoplado a la barra de empuje a través de un sistema relativamente grueso, mientras que el mecanismo de cremallera y piñón interno está diseñado más precisamente para aumentar el acoplamiento positivo y disminuir la fricción.

Breve descripción de los dibujos

35 En los dibujos adjuntos que no están dibujados a escala, al igual que los caracteres de referencia indican componentes similares; y

La figura 1 es un diagrama muy simplificado de un convertidor de energía de olas (WEC) de la técnica anterior;

La figura 2 es un diagrama simplificado en sección transversal de un WEC que se puede utilizar para realizar la invención;

40 Las figuras 3A, 3B y 3C son tres vistas simplificadas de un cremallera y piñón de una PTO que puede ser utilizada en el WEC de la figura 2, para la realización de la invención;

La figura 4 es una representación simplificada del aparato de sellado para bloquear el agua de mar que entra en una PTO situada dentro de un mástil;

45 La figura 5 es un dibujo simplificado que ilustra detalles adicionales del ensamblaje de cremallera de conducción de un piñón que conduce un generador;

Las figuras 6A y 6B son diagramas de un motor/generador eléctrico para producir una tensión relativamente alta frecuencia/salida de corriente para uso en una PTO que incorpora la invención;

La Figura 7 es un diagrama de bloques que ilustra el procesamiento de la salida del generador; y

La figura 8 ilustra un esquema de bobinado de cortocircuito para proporcionar el frenado.

Descripción detallada de la invención

La figura 2 muestra un WEC que reivindica la invención y que está destinado a ser colocado en un cuerpo de agua sometido al movimiento de las olas de distinta amplitud y frecuencia. El WEC incluye un aparato apropiado para producir un movimiento lineal alternante. El WEC mostrado en la figura 2 incluye dos componentes principales, un flotador 1 y un mástil 2. El flotador está diseñado para moverse generalmente en fase con las olas y el mástil está diseñado para ser estacionario, o para moverse generalmente fuera de fase con respecto a las olas. Por lo tanto, en respuesta a las ondas en un cuerpo de agua en el que el WEC está colocado, hay movimiento lineal relativo entre el flotador y mástil.

En la figura 2, una placa 3 de movimiento, que puede estar hecha de acero, se muestra unida a la parte inferior sumergida del mástil. La placa de movimiento proporciona una cantidad sustancial de masa "añadida" al mástil, lo que permite que siga siendo relativamente fijo en la columna de agua. Esta masa "añadida" es sólo en parte debida a la masa del acero que comprende la placa 3 de movimiento. Esto sobre todo se debe al volumen de agua mucho más masivo, que rodea la placa 3 de movimiento. La masa "añadida" del agua que rodea la placa de movimiento se añade eficazmente al mástil 2 ya que esta agua debe moverse alrededor de la placa de movimiento para que el mástil 2 pueda moverse con respecto a la columna de agua. La masa efectiva del mástil se aumenta así y este movimiento estará fuera de fase con el del flotador.

El flotador está acoplado a una estructura 4 de puente a la que está unido de forma fija una barra 5 de empuje (presión), que está acoplada a un alojamiento 10 de PTO dispuesto dentro del mástil 2. Como las olas se mueven arriba y abajo, el flotador se mueve hacia arriba y hacia abajo con el flotador estacionario o en movimiento fuera de fase. El movimiento del flotador que corresponde a, y está generalmente en fase con el movimiento de las olas se traduce en un movimiento sustancialmente lineal (arriba/abajo) de la barra de empuje que se comunica con las porciones designadas del sistema 10 de PTO, que está esencialmente conectado entre el flotador y mástil. Es decir, parte(s) de la PTO (por ejemplo, cremallera) está(n) conectada(s) a y se mueve(n) con el flotador y parte(s) de la PTO (por ejemplo, el estátor del generador) está(n) conectada(s) a y se mueve(n) como se mueve el mástil.

Para proporcionar un movimiento del flotador más suave respecto al mástil, los WEC que incorporan la invención pueden incluir rieles 7 de cojinete y segmentos 8 de cojinete externos para guiar el flotador a lo largo del mástil, como se muestra en la figura 2. En la figura 2, se muestra la PTO integrada en el interior del mástil 2 y está diseñada para adaptarse y estar contenida dentro de la envoltura mástil. El sistema de PTO está alojado dentro del cuerpo mástil para no estar directamente sometido al duro ambiente marino. Pero, el sistema de PTO puede estar situado externamente al mástil para satisfacer otras consideraciones del sistema.

Para proporcionar una transmisión más eficiente y fiable de las fuerzas desde el puente 4 a la barra 5 de empuje y de la barra de empuje a la PTO, el WEC incluye juntas esféricas (por ejemplo, 6a, 6b). Por lo tanto, en la figura 2, el movimiento del flotador que acciona el puente 4 se imparte a la barra 5 de empuje a través de una junta 6a esférica, superior conectada entre el puente y la barra. La junta (6a) esférica permite el puente (4) flotador girar con respecto a la barra de empuje al tiempo que permite a las cargas verticales que vayan a transmitirse a la PTO. El extremo superior de la barra 5 de empuje se muestra junto a la junta esférica superior 6a conjunta y el extremo inferior de la barra de empuje se muestra junto a la junta 6b esférica inferior conjunta. La barra de empuje pasa a través de un sello 30 flexible diseñado para cerrar herméticamente la parte del mástil que contiene la PTO. El extremo inferior de la barra de empuje está diseñado para conducir (directamente a través de la junta 6b esférica inferior conjunta) una cremallera 12 y los componentes asociados que forman parte de la PTO 10, como se muestra en la figura 3A. Las juntas esféricas permiten una transmisión más suave y más eficiente y fiable de las fuerzas, aplicadas en ángulos diferentes, a la PTO y para ajustar los cojinetes de precisión más estrictos utilizados en la PTO.

El sistema 10 de PTO que incorpora la invención puede emplear un sistema de tracción de la cremallera y el piñón del tipo mostrado en las figuras 3A, 3B y 3C para convertir el movimiento lineal alternante en energía eléctrica. La barra 5 de empuje es impulsada hacia atrás y adelante (o hacia arriba y hacia abajo) por el flotador 1 al que está conectada a través de la disposición 4 de puente. La barra 5 de empuje está conectada a un aparato de cremallera que incluye un ensamblaje 12 de cremallera "dentado" que recubre un soporte 13 de cremallera al que está conectada una brida 23 del rotor del freno. El ensamblaje de cremallera se mueve al compás con el movimiento de la barra de empuje. El ensamblaje 12 de cremallera pasa de ida y vuelta a través y a lo largo de un alojamiento 11 mecánico de la PTO en el que se encuentran los engranajes 16 del piñón, que giran en función del movimiento lineal hacia atrás y hacia delante del ensamblaje 12 de cremallera. Por lo tanto, el movimiento y fuerza lineal se comunica al sistema 10 de PTO a través de la barra 5 de empuje, que está conectada entre el puente 4 y la cremallera 12. La fuerza lineal y el movimiento de la cremallera 12 se convierten luego en el momento de torsión rotacional y movimiento, mediante el uso de engranajes 16 de piñón cuando se involucran los dientes de la cremallera. El alojamiento 11 mecánico/estructural de la PTO 10 está conectado de forma fija al cuerpo del mástil 2, con el fin de transmitir todas las fuerzas de reacción mecánicas entre el flotador 1 y el mástil 2 y tener un movimiento lineal relativo entre el alojamiento 11 mecánico de la PTO y la cremallera 12. El alojamiento 11 de la PTO puede estar construido de metal (o cualquier otro material apropiado) de un espesor suficiente (por ejemplo, 1 pulgada) para soportar las cargas y fuerzas de reacción comunicadas entre el flotador 1 y

mástil 2. La estructura 11 de la PTO puede estar formada por paneles de acero que se mecanizan después de la soldadura. Alternativamente, la estructura de la PTO puede ser una estructura conjunta mediante pernos, que proporciona mejoras tanto en el peso como en los costos sin sacrificio en el rendimiento. La masa del ensamblaje de cremallera y de la estructura 11 de la PTO y los componentes conectados se contabilizan en el cálculo de la flotabilidad del flotador y en el cálculo de la flotabilidad del mástil.

La cremallera 12 puede estar formada por múltiples segmentos de cremallera. La longitud de la cremallera y su anchura pueden tener un amplio rango de valores compatibles con las dimensiones de la envoltura interior del mástil. El número de dientes por unidad de longitud de la cremallera 12 se hace compatible con los engranajes 16 de piñón correspondientes que impulsan los generadores. Los segmentos de cremallera pueden estar montados en, y sobre, una caja como ensamblaje 13 de soporte de cremallera (véase las figuras 3C y 5) hechas de cualquier material apropiado (por ejemplo, aluminio), que proporciona la rigidez requerida mientras se mantiene el peso hacia abajo. Los cojinetes lineales guían la cremallera 12, precisamente después del engranaje 16 de piñón. Los cojinetes de transporte proporcionan una guía lineal para el ensamblaje de cremallera. Estos cojinetes lineales consisten en rieles 18 de acero especialmente perfilados y un ensamblaje de apareamiento de bloques 19 de transporte del cojinete lineal que viajan en los carriles. Los rieles del cojinete (véanse las figuras 3A y 3C) están montados en la parte inferior del ensamblaje 13 de soporte de cremallera y los bloques de transporte se fijan con respecto al alojamiento 11 de la PTO. Una PTO de cremallera y piñón, que incluye una pluralidad de engranajes de piñón, requiere la alineación de precisión entre los dientes de la cremallera y los dientes de engranaje del piñón. Un ensamblaje de cojinetes lineales y rieles (18, 19) previenen que fuerzas fuera del eje afecten al engranaje 16 del piñón y mantengan la precisión requerida de la interfaz de cremallera-engranajes, y, finalmente, asegurar una operación confiable, eficiente y de larga duración. Como se muestra en las figuras, además de la fijación de los engranajes 16 de piñón, el ensamblaje 12 de cremallera está guiado por un par de cojinetes 18, 19 lineales de rieles perfilados. Los rieles 18 de perfil se fijan directamente al ensamblaje 12 de cremallera, mientras que los transportes de los cojinetes, que viajan en los rieles perfilados, están fijados al alojamiento 11 de la PTO. De esta manera, las fuerzas laterales inadvertidas aplicadas al ensamblaje de la cremallera se hacen reaccionar en contra, permitiendo que el movimiento lineal puro sea transmitido al ensamblaje 12 de cremallera.

Se pueden proporcionar medios (no mostrados) para lubricar automáticamente la cremallera y los componentes asociados.

Las figuras 3A y 3B muestran dos engranajes (16a, 16b) de piñón utilizados para conducir dos generadores (40a, 40b) correspondientes. Los engranajes de piñón están diseñados para tener un número de dientes (por ejemplo, 20) compatibles con los dientes de la cremallera. Los engranajes 16 de piñón están conectados fijamente a los ejes 15 motor/generador que impulsan los rotores de los generadores y cuyo movimiento giratorio está soportado por cojinetes 14 giratorios. Por lo tanto, los ejes 15 del motor se integran en un engranaje 16 de piñón unitario (véanse las figuras 3A, 3B, 3C y 5). La combinación de piñón integral 16 y el eje 15 eliminan un acoplamiento de momento de torsión elevado entre el piñón y el eje del motor.

Se muestran dos generadores (40a, 40b) situados dentro del alojamiento 11 de la PTO; pero, si el espacio lo permite, más (o menos) los generadores se pueden utilizar y ubicados dentro de la PTO. La construcción y funcionamiento de cada motor/generador 40 para uso en la práctica de la invención se explica mejor con referencia a las figuras 5, 6A y 6B. Un generador 40 incluye una parte 42 del estátor, que puede estar conectada de forma fija a la estructura de la PTO, y una parte 41 del rotor conectada de forma fija al eje 15 accionado por el engranaje 16 de piñón. La parte de rotor incluye un gran número (por ejemplo, 80 o más) de los pares 44 magnéticos Norte-Sur dispuestos a lo largo de la periferia del rotor y la parte del estátor incluye un gran número similar de bobinas 45 también dispuesto a lo largo de la periferia del estátor. El gran número (por ejemplo, 80) de los polos (pares de imanes N-S) permite que la frecuencia de las señales de tensión generadas por el generador sea mucho mayor que la frecuencia de las olas.

Este diseño generador de estátor/rotor elimina la necesidad de que cajas de engranajes sean conectadas a los engranajes de piñón para aumentar la velocidad de rotación y que la frecuencia de las señales de salida. Las cajas de cambio realizan una función útil; pero en los sistemas WEC su uso es problemático debido a la inercia, uso y desgaste, la dificultad para sustituir y una disminución en la fiabilidad y eficiencia del sistema.

Por ejemplo, en una realización, el movimiento lineal del mecanismo de cremallera y piñón provoca que un rotor (conectado al engranaje de piñón) gire a aproximadamente 2.6 revoluciones por segundo en respuesta a un movimiento relativo de 1 metro por segundo entre el flotador y el mástil, para producir una tensión AC que tiene una frecuencia de aproximadamente 104 ciclos por segundo.

El generador propuesto utilizado en esta invención puede denominarse un "motor de momento de torsión". Aunque los motores de momento de torsión funcionan según el principio idéntico al de un generador/motor convencional de imán permanente dc sin escobillas, el motor de momento de torsión tiene por lo general 5 a 10 veces más pares de polos magnéticos que un motor/generador convencional. Esto significa que para una velocidad del eje dada la frecuencia eléctrica generada a partir de un motor de momento de torsión será de 5 a 10 veces la de un motor convencional. El

término motor "momento de torsión" surge en el hecho de que, para un nivel de potencia dado, un motor de momento de torsión funcionará con aproximadamente 5-10 veces el momento de torsión de un motor convencional.

Dado que las frecuencias eléctricas para mecánica óptima a la conversión eléctrica son similares para motores de momento de torsión y motores convencionales, la velocidad de rotación óptima será de 5 a 10 veces más baja para un motor momento de torsión en comparación con un motor sin escobillas. Dado que la máxima velocidad de movimiento lineal de entrada se fija dentro del intervalo de 1 m/s y no es práctico usar una única etapa de engranaje de piñón para convertir el movimiento lineal a la velocidad óptima (~1500 RPM), un aumento de la velocidad de la caja de cambios debe ser utilizada en conjunción con un motor convencional. Por lo tanto, el motor de momento de torsión es capaz de lograr la misma eficiencia óptima sin la ayuda de una caja de engranajes.

Haciendo referencia a las figuras, tener en cuenta que la parte 42 de estátor tiene una carcasa 43 exterior que está conectada rígidamente al alojamiento 11 de la PTO. La carcasa 43 puede formar una camisa de refrigeración externa para el subconjunto de estátor. El subconjunto de estátor del generador/motor puede contener canales de refrigeración por agua (no mostrados) en la circunferencia exterior. Pequeñas "nichos de viento" en el subconjunto del rotor (tampoco se muestran) proporcionan refrigeración al rotor a través de intercambio de aire dentro del generador.

Como se ha indicado, la parte 41 del rotor de cada generador 40 es accionada (girada) por el movimiento del eje 15 que es accionado por un engranaje 16 de piñón que es sensible al movimiento de la cremallera 12. El eje 15 también termina y se apoya en un cojinete 14 giratorio que permite una rotación suave del rotor del generador al tiempo que proporciona un camino para que las fuerzas de reacción lineales puedan ser comunicadas al mástil 2. La figura 6B, que corresponde a la figura 6A, es una representación esquemática simplificada de las bobinas y los imanes que muestran los numerosos polos y bobinas utilizados para aumentar la frecuencia efectiva de las señales de tensión generadas por el generador/motor 40.

Una pluralidad de engranajes de piñón (por ejemplo, 16a, 16b) está posicionado por encima de la cremallera 12 y se hace girar (rotar) en respuesta al movimiento hacia atrás y hacia delante de la cremallera. El movimiento mecánico lineal de la cremallera se convierte así al movimiento de rotación de los engranajes 16 del piñón. La velocidad de rotación de los engranajes de piñón y su eje se basa en su relación de transmisión con la cremallera. Adjunto a cada engranaje 16 de piñón está la parte 41 del rotor de un motor/generador 40 de momento de torsión de DC sin escobillas. Una fuerza lineal y el movimiento se aplican a la cremallera a través de la interacción del flotador 1 y el mástil 2 en una dirección que está en oposición a la proporcionada por el motor/generador de momento de torsión.

Por ejemplo, como se muestra en las figuras 6A, en respuesta a que el flotador 1 se mueve hacia abajo, la barra 5 de empuje se mueve (verticalmente) hacia abajo y la cremallera 12 se mueve hacia abajo haciendo que el engranaje de piñón pueda girar en el sentido horario. El eje del engranaje de piñón está conectado de manera fija y rígidamente al rotor del generador provocando que los imanes giren en el sentido horario. Como los imanes 44 giran generando una tensión en las bobinas 45 del estator distribuidas a lo largo de la parte de estátor 42, que está conectado rígidamente al mástil 2 a través del alojamiento 11 de la PTO. Es significativo que en sistemas que incorporan la invención se pueden formar por el rotor y el estátor, como se muestra en la figura 6A y 6B, para asegurar que la frecuencia de las señales de voltaje generadas en las bobinas esté por encima de un cierto valor para el movimiento (velocidad) nominal de la cremallera

Del mismo modo, en respuesta a que el flotador 1 asciende la barra 5 de empuje se mueve (verticalmente) y la cremallera 12 también se mueve hacia arriba haciendo que el engranaje de piñón pueda girar en el sentido contrario a las agujas del reloj. El eje del engranaje de piñón está conectado de manera fija y rígidamente al rotor del generador causando que los imanes giren en el sentido contrario a las agujas del reloj. Como los imanes 44 giran, generan una tensión en las bobinas 45 del estátor distribuidas a lo largo del estátor 42, que está conectado rígidamente al mástil 2 a través del alojamiento 11 de la PTO. Como ya se ha señalado, es significativo que en sistemas que incorporan la invención se puedan formar por el rotor y el estátor, como se muestra en la figura 6A y 6B, para asegurar que la frecuencia de las señales de tensión generadas en las bobinas esté por encima de un cierto valor para el movimiento (velocidad) nominal de la cremallera. El aparato descrito tiene la ventaja sobre las realizaciones anteriores en que el elemento generador es un motor/generador de momento de torsión DC sin escobillas de baja velocidad. Para los dispositivos WEC, la velocidad lineal está por lo general en el intervalo de 1 a 2 metros por segundo y las fuerzas pueden ser de hasta 500 kN. Estas fuerzas altas requieren por lo general un engranaje de piñón que tiene un diámetro de paso grande de aproximadamente 150 mm. En este diámetro de paso grande, la velocidad de rotación del motor es sólo 127 a 250 RPM. A estas velocidades de rotación bajas, los motores convencionales DC sin escobillas de alta velocidad son muy ineficientes. Convencionalmente, una caja de engranajes con una relación de transmisión de aproximadamente 10:1 sería utilizado entre el engranaje de piñón y el generador para incrementar la velocidad de rotación observada por el generador. Estas cajas de engranajes tienen dos inconvenientes importantes, disminuyendo tanto la eficiencia y la fiabilidad del WEC. Al eliminar esta caja de cambios, la eficiencia y la fiabilidad de la PTO del WEC se incrementa sustancialmente.

La figura 7 es un diagrama de bloques simplificado que muestra que la salida de cada bobina del generador se alimenta a un rectificador cuya salida está suavizada y se recoge en un banco de condensadores para establecer una tensión

DC. La salida de la batería de condensadores se acopla a continuación a un inversor de corriente alterna para producir una tensión de corriente alterna que se puede acoplar a través de un cable a una red eléctrica.

5 Un sensor 51 de posición lineal (véase la figura 3A) de resolución predeterminada (por ejemplo, 0.1 mm) se puede montar a lo largo de la cremallera para proporcionar posición de la pista para la adquisición de datos de la boya y el sistema de control (no mostrado). El sensor 51 de posición lineal incluye una primera parte 51a que se puede fijar al ensamblaje 13 de la cremallera y una segunda parte 51b que se pueden fijar a la estructura 11 de la PTO. La finalidad de este sensor es la de detectar el movimiento relativo entre el flotador 1 y el mástil 2. Esta información se puede utilizar por el sistema de control de la PTO (no mostrado) para establecer la fuerza apropiada para la PTO. Esta disposición permite que los algoritmos de adaptación de impedancia óptima sean usados y extraer la máxima energía a partir de las olas incidentes del océano.

10 El aparato revelado tiene también la capacidad de ser utilizado en conjunción con algoritmos de adaptación de impedancia seleccionados. Dado que la PTO acoplada directamente la fuerza lineal bidireccional y el movimiento a los elementos generadores, sin la ayuda de embragues mecánicos, acumuladores o similares; es posible que la PTO funcione en todos los cuatro cuadrantes del plano de velocidad de rotación. Es decir, la PTO hace posible que ambos actúen como un generador, así como motor en ambas direcciones. Aunque la PTO funciona como generador la mayoría de las veces, se ha demostrado que las incursiones breves en los cuadrantes del motor pueden mejorar la producción total de energía eléctrica a partir de una configuración de este tipo.

15 Con el fin de aplicar algún tipo de adaptación de impedancia, la posición relativa y la velocidad entre el flotador y el mástil necesita ser detectada y esta información necesita que sea suministrada a los ordenadores de control a bordo del WEC (no se muestra). Un sensor de posición lineal (tal como el sensor 51a, 51b mostrado en la figura 3A) se puede utilizar. El sensor de posición lineal puede ser un tipo magnetoestrictivo o cualquier otro tipo apropiado incluyendo: codificadores fotoeléctricos, codificadores magnéticos y potenciómetros basados en cadena.

20 Un sello 30 mecánico (véanse las figuras 2, 3A y 4, se discute más adelante) está dispuesto en la parte superior alrededor de la barra (5) de empuje para evitar que el agua de mar entre en el recinto del mástil y afecte a la PTO. La figura 4 muestra un sello 30 que puede aislar el ensamblaje de la cremallera y del piñón de que se vea afectado por el agua de mar al tiempo que permite la barra (5) de empuje pueda avanzar y retroceder (hacia arriba y hacia abajo y lateralmente, en un ángulo) con poca fricción. El sello se forma cerca de la barra de empuje y la abertura para la barra de empuje en el mástil e incluye una funda 31 de goma adaptable que se extiende hacia arriba desde el mástil y que forma un collar (32) que funciona como una carcasa del sello lineal con un material de sellado colocado cerca de la carcasa del sello entre ella y la barra de empuje. La funda (31) adaptable permite el movimiento significativo lateral (es decir, normal al eje de empuje) causado por desalineación y tolerancias del flotador y cojinetes lineales externos del mástil en comparación con la orientación de los cojinetes lineales que guían el movimiento del ensamblaje de cremallera. Esta conformidad de la funda (31) y la junta (6a) esférica ayudan a prolongar la vida de la junta (30) mediante la reducción de las fuerzas de reacción laterales que se presencian por el sello. El sello (30) contiene material (33) de sellado que se mantiene a una presión superior a la presión ejercida por el agua de mar; por lo tanto, previene la entrada de agua de mar en el mástil. Un depósito que contiene el material (34) de sellado sobrante y conectado al envase de sellado a través de una manguera o tubería que repone el material de sellado, que se ha consumido.

25 El movimiento relativo entre el flotador y mástil puede ser controlado y limitado con el fin de prevenir el exceso de existencias de potencia de despegue, y los impactos de las paradas finales mecánicas y/o daños en el equipo de WEC. Un mecanismo para bloquear selectivamente el mástil y flotador juntos incluye una placa de acero, o brida, 23 indicado como un "freno de rotor" (Véanse las figuras 3A, 3C). El rotor 23 de freno que puede ser de 1 pulgada de espesor de placa, está unido a la parte inferior del ensamblaje de soporte 13 de cremallera (el lado opuesto al lado sobre el cual está unido la cremallera 12) y se extiende ortogonalmente. El rotor 23 de freno se puede sujetar por un ensamblaje 20 de freno de pinza por lo que se puede utilizar como un freno "lineal" "rotor". Un muelle elástico, ensamblaje 20 de freno de pinza de liberación hidráulica (véanse las figuras 3A, 3C) se fija al alojamiento 11 de la PTO de modo que el ensamblaje 12 de cremallera no se puede mover respecto al mástil 2 en el caso de alta mar o de mantenimiento periódico. La pinza 21 aplica una fuerza de frenado a través de pastillas (22) de freno que se aprieta sobre una aleta de freno lineal o "rotor" (23) que está unido de forma fija al ensamblaje 12 de cremallera. El ensamblaje de freno pinza es esencialmente un freno de fricción. Se debe apreciar que un freno electromagnético podría usarse además o en su lugar.

30 Como se ilustra con referencia a las figuras 3A y 3C, un freno de pinza se puede aplicar selectivamente durante condiciones de tormenta severas o durante el mantenimiento de la instalación/recuperación de la boya para limitar el movimiento entre el flotador y mástil. El freno de pinza incluye una pinza 21 y pastillas 22 de freno que se activan para presionar contra y sujetar un rotor 23 de freno unido al soporte 13 de la cremallera sobre el cual está montada la cremallera 12. El freno de pinza aplica una fuerza de sujeción y tiene un coeficiente de fricción relativamente alto. En una realización, el freno de la pinza está normalmente cerrado. Una unidad de potencia hidráulica proporciona presión para desbloquearlo. El freno se bloquea en las siguientes condiciones: 1) estados de olas altas, 2) estados de olas bajas, 3) mantenimiento, 4) pérdida asincrónica de energía eléctrica, y 5) la pérdida accidental de presión hidráulica. Alternativamente, se podría normalmente desbloquear y bloquear en condiciones especificadas,

En condiciones extremadamente severas, el freno de pinza no podría tener fuerza de sujeción suficiente para evitar el movimiento entre el flotador y el mástil. Para limitar el movimiento relativo entre el flotador y mástil cuando se produce esta condición (es decir, cuando el freno de pinza permite el deslizamiento), las bobinas del generador pueden hacer cortocircuito por un contacto controlable, como se muestra en la figura 8, para proporcionar frenado adicional.

5 Normalmente, el desplazamiento relativo entre el flotador y mástil, y por lo tanto el recorrido del dispositivo de PTO, puede ser controlado mediante el control de la parte posterior de momento de torsión proporcionado por uno o más generadores. El generador de momento de torsión puede ser controlado por un "rectificador activo" o "unidad" que regula la corriente desde/hasta el generador. En condiciones de mar gruesa, la unidad de generador no puede tener suficiente capacidad de manejo de corriente para ejercer un control suficiente de la corriente del generador y por lo tanto su momento de torsión posterior. En dicho caso, la corriente de, y la parte posterior del par proporcionado por, el generador (s) se puede aumentar por un cortocircuito en las bobinas del generador con componentes externos al generador. Un corto externo proporciona una cantidad máxima de frenado pasivo a la PTO. En algunos casos, puede ser deseable limitar la capacidad de frenado del generador. En este caso, las bobinas del generador pueden ser conectadas a las resistencias de baja impedancia (por ejemplo, 47), como se muestra en la figura 8. En la figura 8 un interruptor 46 de contacto habilitado selectivamente que está conectado en serie con una resistencia 47 a través de la salida del generador 40. La disminución del valor de resistencia de la resistencia 47 aumenta la corriente y la capacidad de frenado de la operación.

20 Como se describió anteriormente, el movimiento relativo del flotador y mástil puede verse limitado por la regulación de la corriente y de momento de torsión del generador utilizando activamente una "unidad" o pasivamente por un cortocircuito externamente a las bobinas del generador. El uso de estos medios de movimiento limitante, los componentes de la PTO (por ejemplo, engranajes de piñón, cremallera) deben dimensionarse para manejar las fuerzas resultantes. Fuerzas de tormenta a menudo son órdenes de magnitud más alta que las fuerzas operativas normales. Con el fin de mantener el tamaño y el coste de los componentes de cremallera y piñón a un nivel razonable, es ventajoso el tamaño de los componentes de cremallera y piñón solamente para las fuerzas operativas máximas (no las fuerzas mucho más altas observadas durante una tormenta). Por lo tanto, puede ser necesario tener algunos otros medios para detener el movimiento relativo entre el flotador y mástil.

Por lo tanto, se ha demostrado que un WEC que incorpora la invención puede incluir al menos una de las siguientes características:

- 1- Una PTO que utiliza una cremallera y piñón para conducir un motor/generador de momento de torsión multipolo;
- 30 2- Un engranaje de piñón conectado integralmente a un eje conectado al rotor del generador;
- 3- Un sistema de unión cinemática para la transferencia de fuerzas de manera más eficiente;
- 4- Un sello lineal flotante adaptable;
- 5- Un freno de fricción;
- 6- Un freno electromagnético; y
- 35 7- Sensor(es) de posición para uso en la adaptación de impedancia y otras tareas.

Reivindicaciones

- 5 1. Un convertidor de energía de las olas (WEC) destinado a ser introducido en un cuerpo de agua sometido al movimiento de las olas incluye: (A) un flotador (1) que tiende a moverse en fase con las olas; (b) un mástil (2) que tiende a moverse fuera de fase con el flotador; y (c) una PTO acoplada entre el flotador y el mástil para la conversión de su fuerza relativa y su movimiento en energía eléctrica, y en donde la PTO (10) incluye:
- Una barra (5) de empuje que responde al movimiento entre el flotador y mástil para transmitir la fuerza reciproca lineal; dicha barra de empuje conectada a un ensamblaje (12) de cremallera dentada para hacer que el ensamblaje de cremallera hacia atrás y hacia delante en respuesta al movimiento relativo del flotador y el mástil; un engranaje de piñón de manera atractiva conectado al ensamblaje de cremallera para convertir su movimiento lineal en movimiento giratorio;
- 10 dicho engranaje (16) de piñón que está conectado a un eje para accionar un generador (40); dicho generador que incluye un rotor (41) que tiene más de ocho polos (44) magnéticos y un estátor (42) que tiene una pluralidad de bobinas (45), y estando dicho eje conectado a un dicho rotor y al estátor para hacer que gire sobre el otro uno de dicho rotor y el estátor y producir señales eléctricas en dichas bobinas
- 15 caracterizado porque la PTO (10) está situada dentro del mástil y en donde dicha barra (5) de empuje se extiende desde la PTO dentro del mástil (2) para el flotador (1) y en donde las fuerzas generadas por el movimiento del flotador se transfieren a la barra (5) de empuje a través de una junta (6b) esférica para permitir que el flotador gire con respecto a la barra de empuje mientras que todavía permite que las cargas verticales sean transmitidas a la PTO.
- 20 2. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, que incluye además un sistema (51) de medición de desplazamiento para uso por el software de control para proporcionar un funcionamiento bidireccional de cuatro cuadrantes para la coincidencia óptima de impedancia.
3. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, que incluye además un sistema (20-23) de freno para inhibir selectivamente el movimiento entre el flotador y el mástil.
4. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, en donde dicho sistema de cremallera y piñón incluye dicha exclusivamente un dispositivo (12) de cremallera y al menos un engranaje (16) de piñón.
- 25 5. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, en donde dicho generador (40) es un generador de momento de torsión sin escobillas.
6. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, en donde dicho sistema de piñón y cremallera que incluye una pluralidad de engranajes (16) de piñón, cada uno de dichos engranajes de piñón está conectado a un generador (40).
- 30 7. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, en donde la PTO (10) está situada dentro del mástil (2) y en donde dicha barra (5) de empuje se extiende desde la PTO dentro del mástil (2) hacia el flotador (1), y que incluye además un sello (30) flexible formado alrededor de la barra de empuje del mástil y para prevenir que el agua de mar llegue a la PTO y en donde el ensamblaje (12) de cremallera Incluye un soporte (13) de cremallera al que está conectado un medio (23) de brida acoplable por un ensamblaje (20) de freno para inhibir selectivamente el movimiento del mástil respecto al flotador.
- 35 8. Un WEC como se reivindica en la reivindicación 1, en donde los sistemas de fricción y magnéticos están incluidos y activados de manera selectiva para inhibir el movimiento entre el flotador (1) y el mástil (2).

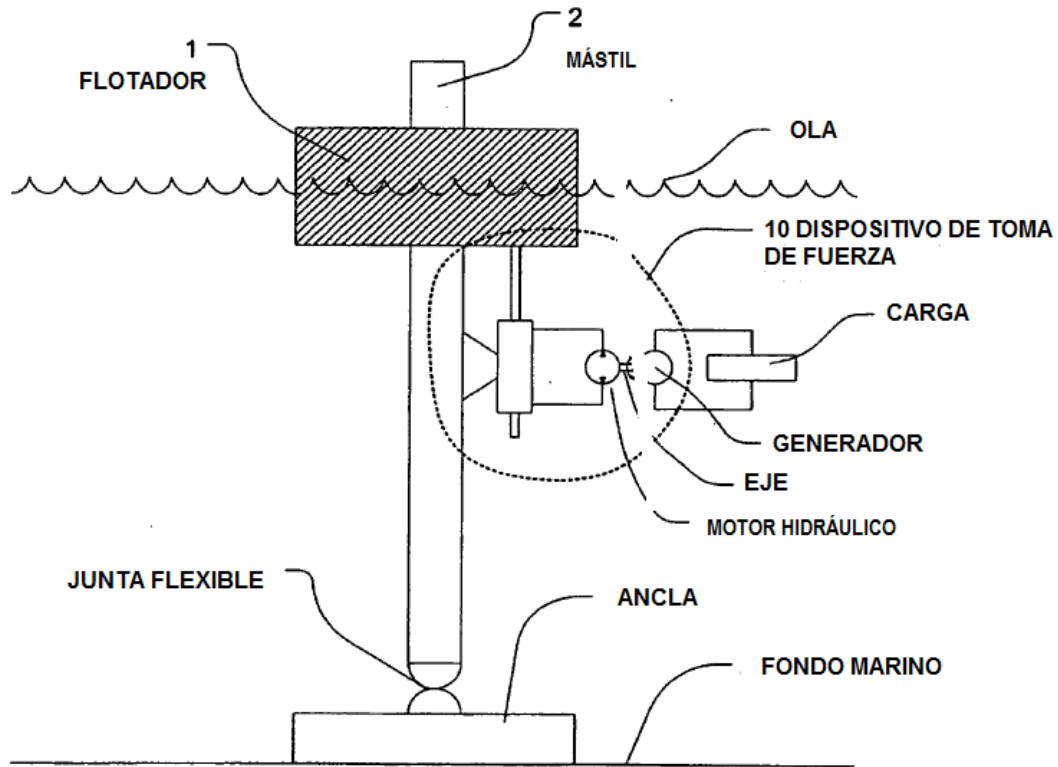


Figura 1. Técnica anterior

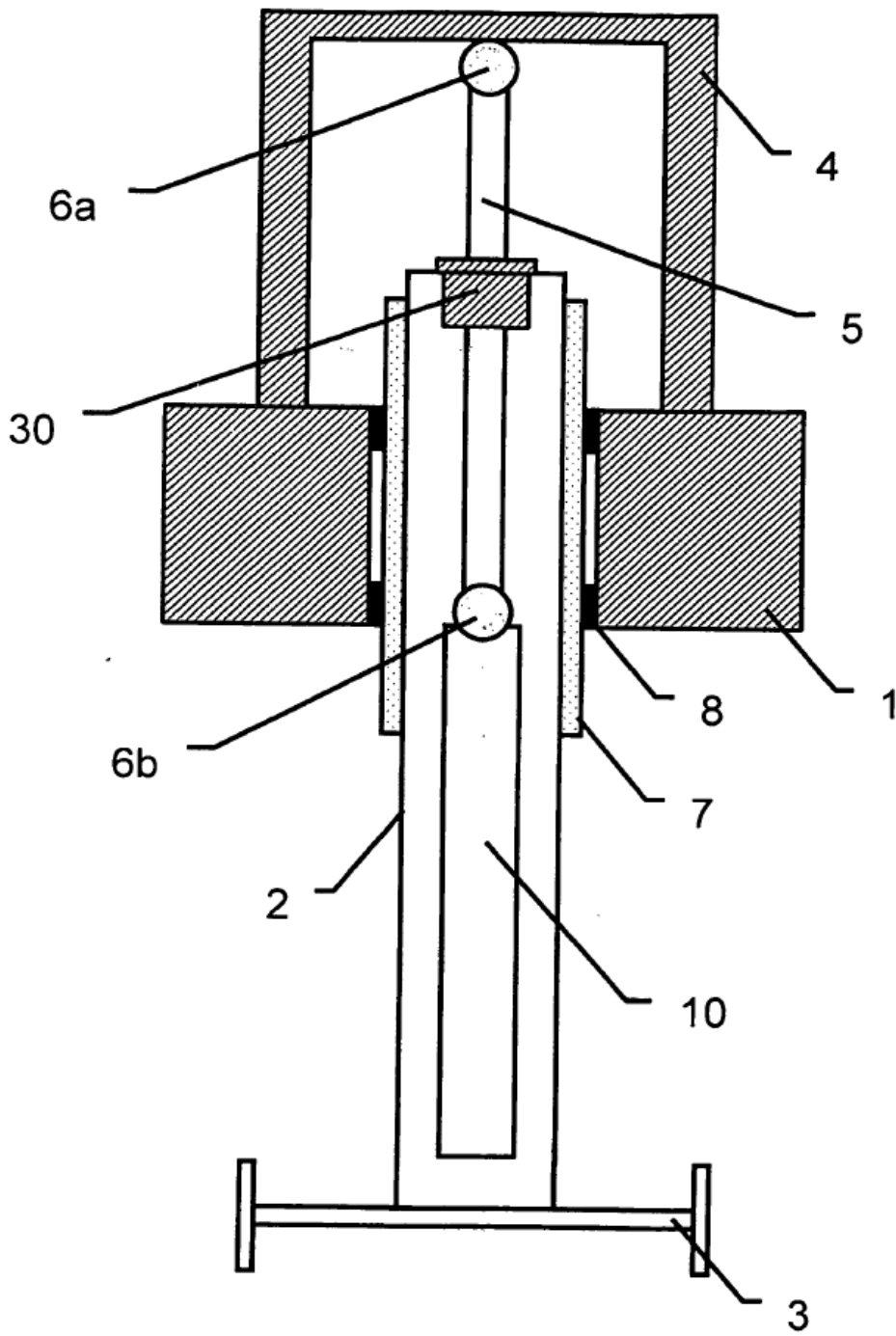


Figura 2

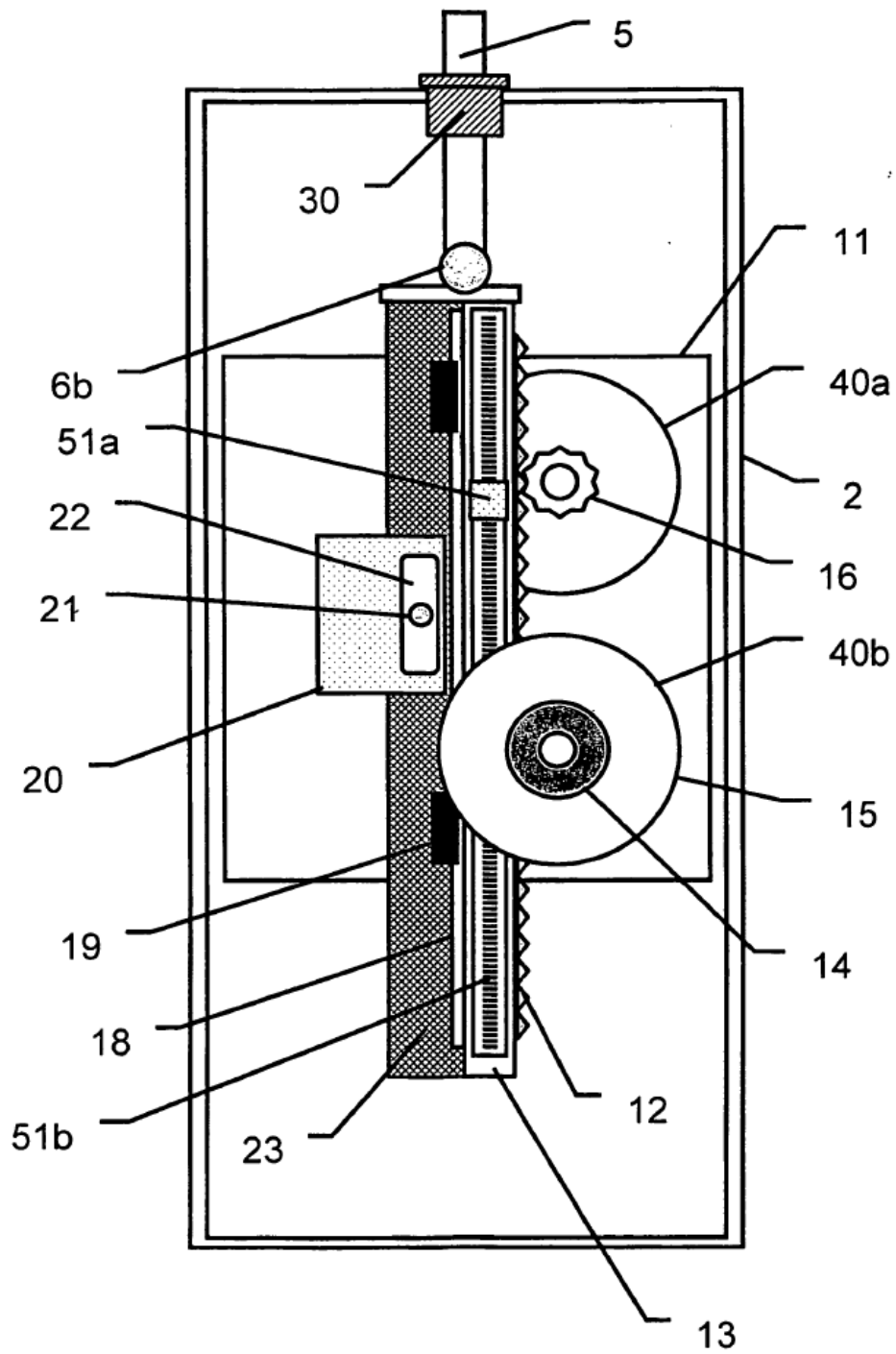


Figura 3A

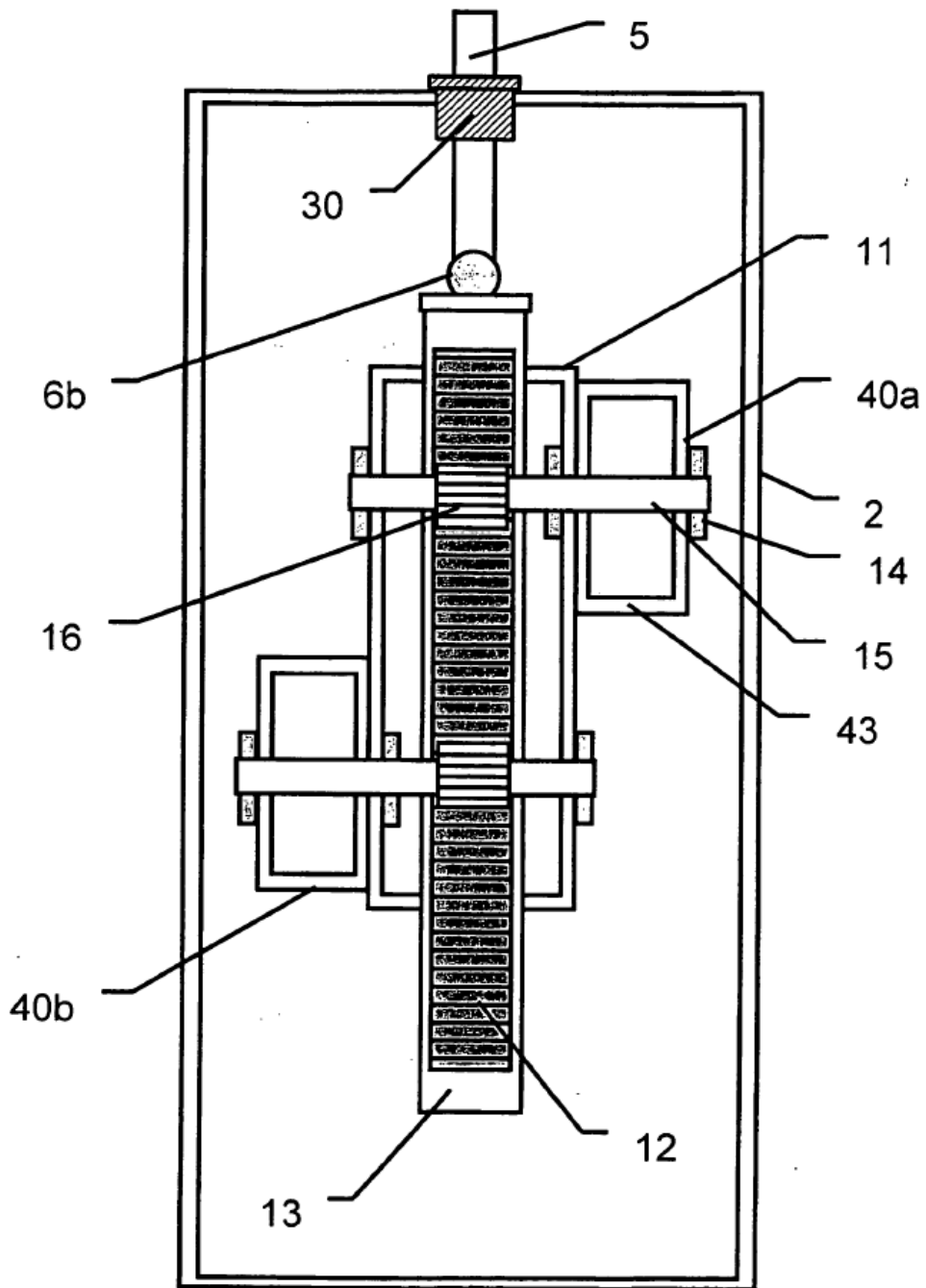


Figura 3B

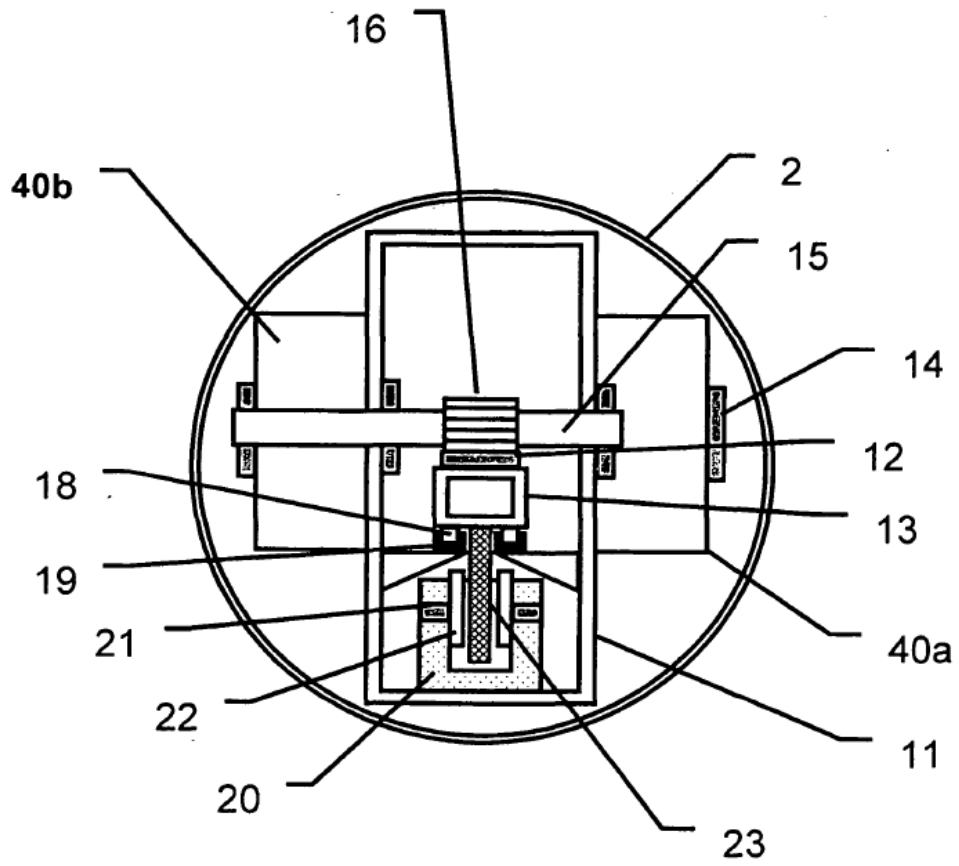


Figura 3C

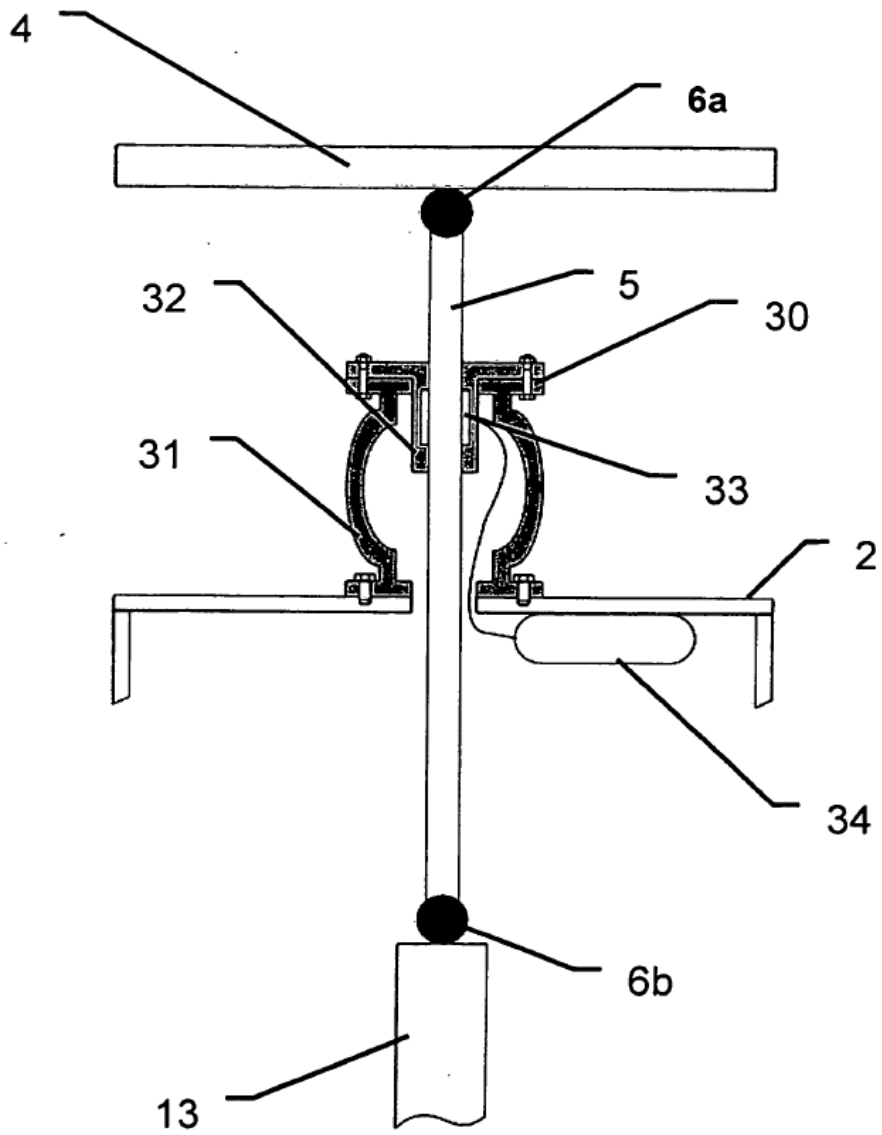


Figura 4

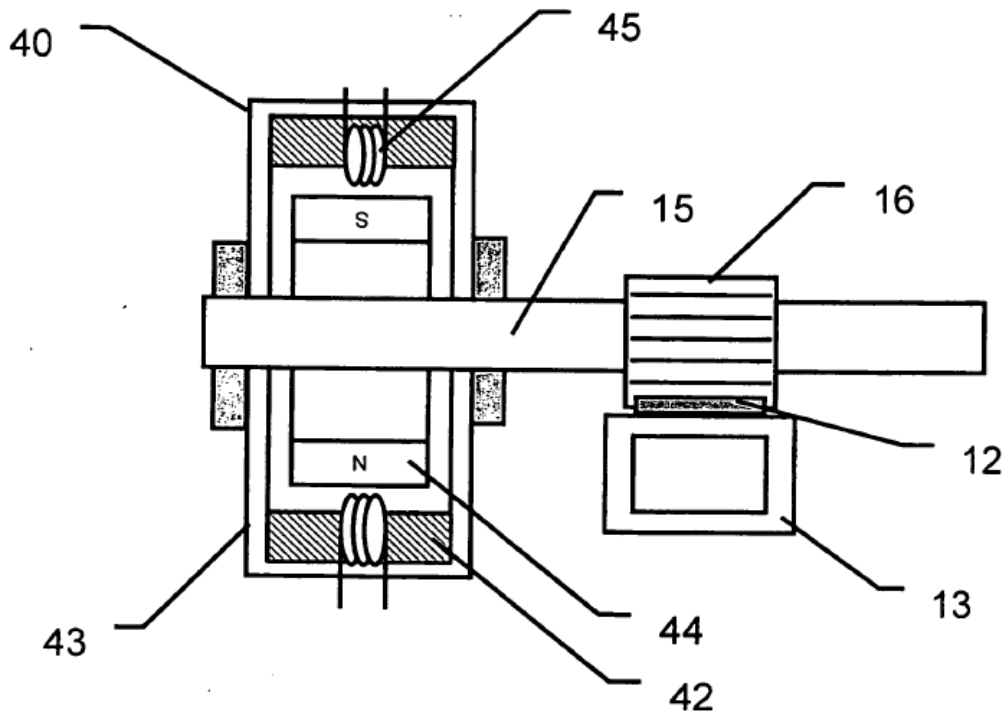


Figura 5

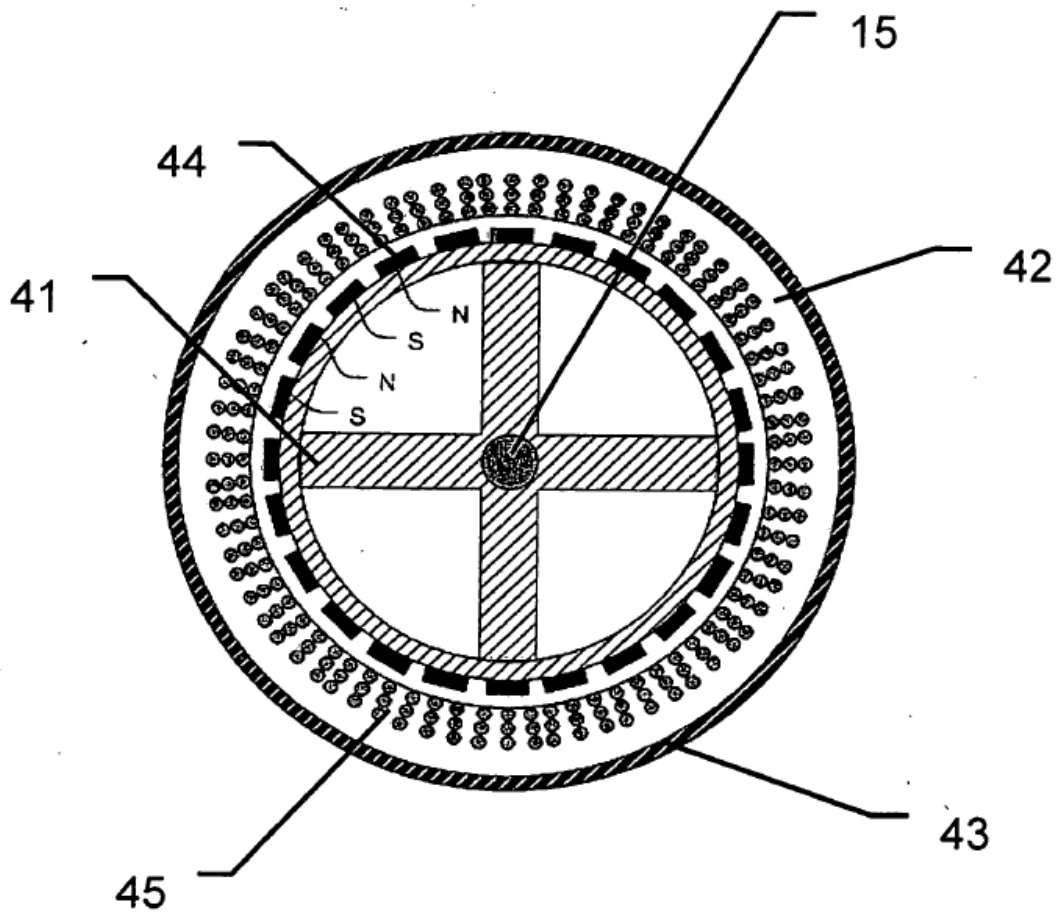


Figura 6A

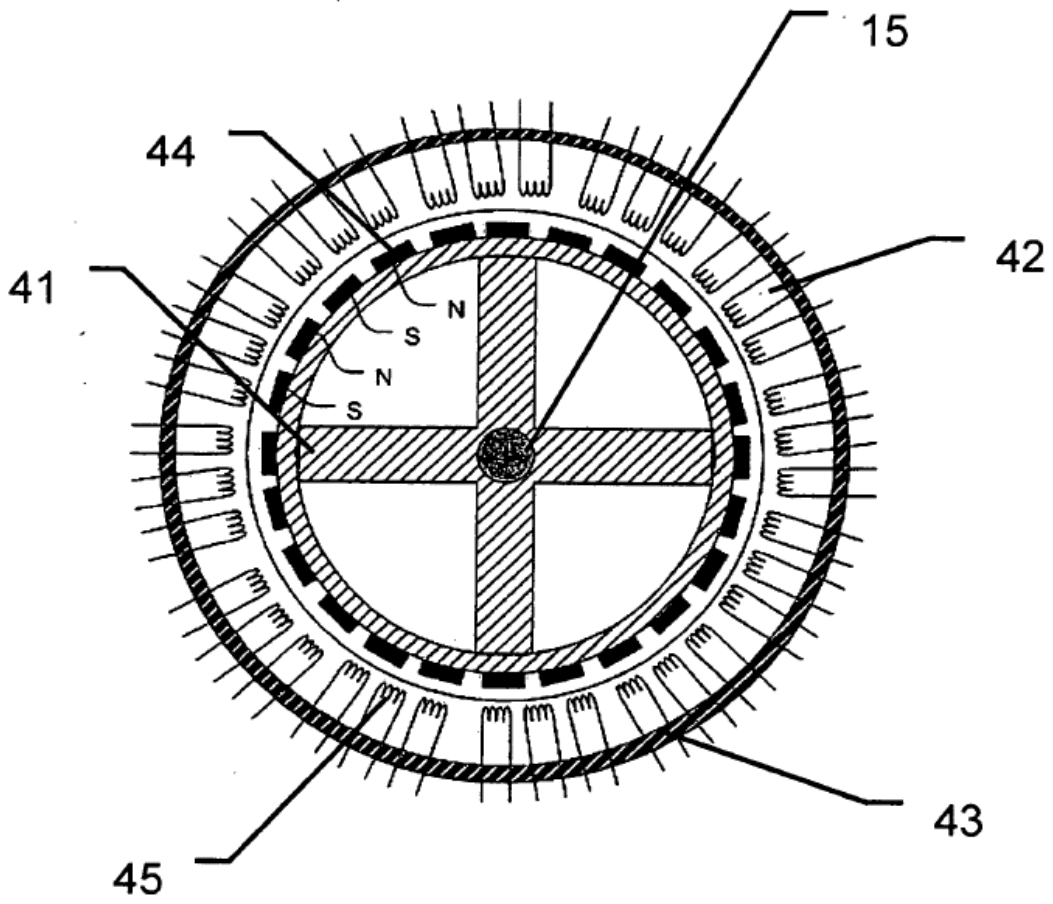


Figura 6B

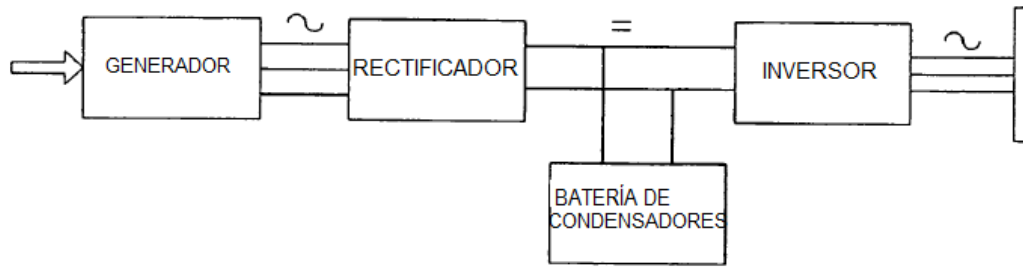


Figura 7

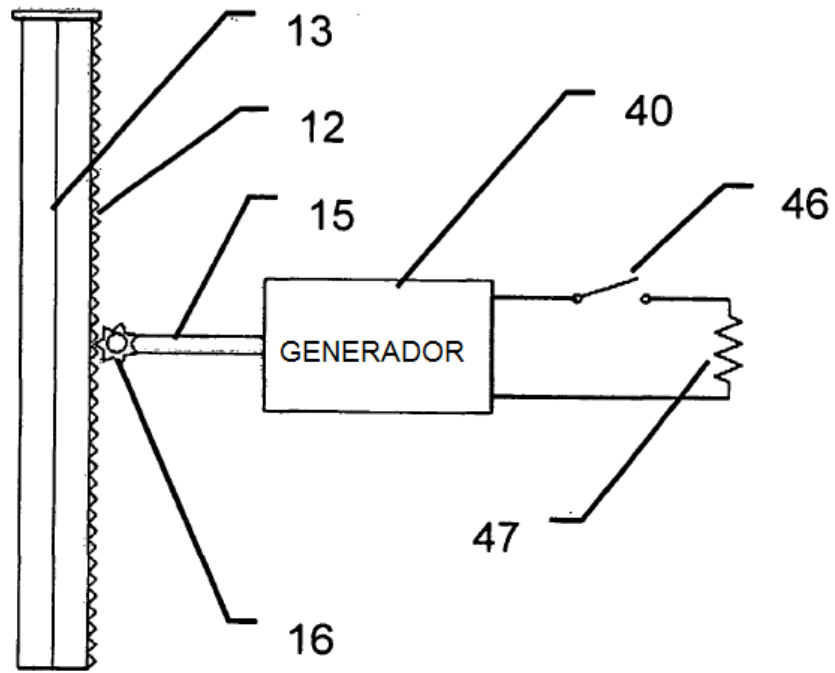


Figura 8