

# PROYECTO INTERDISCIPLINARIO ENERGÍAS RENOVABLES INGLES TÉCNICO NIVEL II

MECANISMO "WEC"

CONVERTIR LA ENERGÍA DE LAS ONDAS EN ENERGÍA ELÉCTRICA

OCEAN WAVE ENERGY COMPANY

ESTUDIANTES:

STEFANO, MATÍAS

PFEIFFER, JUAN FRANCISCO

AÑO: 2017

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL, FRBA.



**UTN.BA**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

## CONTENIDO

APROVECHAMIENTO DEL RECURSO UNDIMOTRIZ.....	3
INTRODUCCIÓN AL RECURSO UNDIMOTRIZ .....	3
PERFIL DE LA EMPRESA OWECO.....	3
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO OWEC .....	4
ENSAYO Y PERFORMANCE DEL DISPOSITIVO OWEC.....	4
INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN LINEAL .....	5
CARACTERÍSTICAS DE DISPOSITIVOS DE APROVECHAMIENTO UNDIMOTRIZ DEL TIPO “ABSORCIÓN PUNTUAL” (PTO).....	6
Principio de funcionamiento .....	6
Control .....	7
Requisitos en el sistema generador.....	7
Requisitos dependientes del principio de funcionamiento.....	7
Requerimientos Generales.....	8
TIPOS DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN LINEAL .....	8
GENERADORES ELÉCTRICOS LINEALES.....	8
Principio de funcionamiento .....	8
GENERADORES HIDRÁULICOS LINEALES .....	9
Principio de funcionamiento .....	9
Características .....	10
GENERADOR DE ELASTÓMERO DIELECTRICO.....	11
Características del sistema .....	12
Aplicación undimotriz .....	12
CONCLUSIONES.....	13
BIBLIOGRAFÍA.....	13

## APROVECHAMIENTO DEL RECURSO UNDIMOTRIZ

El objetivo del presente trabajo es presentar el dispositivo OWEC (Ocean Wave Energy Converter) desarrollada por la empresa OWECO (Ocean Wave Energy Company), describir sus características, su funcionamiento y los resultados obtenidos de los ensayos. Previo a ello se presenta una introducción al recurso undimotriz elaborado por la misma empresa, donde se pretende concientizar sobre la extensión de este recurso energético y presentar luego el estado del arte en el desarrollo de su dispositivo.

Seguido a ello, se ha decidido investigar y desarrollar las tecnologías disponibles en relación a la generación de energía eléctrica a partir de un movimiento lineal alternativo. Para ello se ha trabajado sobre un informe de la firma SDWED (Structural Design of Wave Energy Devices) titulado "Sistemas de Generación Lineales para Convertidores de Energía de las Olas" (Linear Generator Systems for Wave Energy Converters). En este informe se detallan los principios técnicos de funcionamiento de los diferentes dispositivos actuales y los nuevos desarrollos.

## INTRODUCCIÓN AL RECURSO UNDIMOTRIZ

Los océanos cubren cerca de tres cuartas partes de la superficie de la tierra, con una extensión de 361 millones de kilómetros cuadrados y una profundidad promedio de 3.8 kilómetros.

La dinámica hidrógeno-oxígeno de la hidrósfera, batiéndose hacia el calmo equilibrio entre el aire, las precipitaciones y la evaporación, es un agente de continuo auto balance suscitado por fuerzas celestiales y terrestres.

Las aguas responden a los efectos de la rotación asimétrica gravitacional de los cuerpos celestes, en conjunto a los efectos climáticos generados por la energía del sol en la superficie esférica, subsecuentes flujos de temperaturas y presiones, movimiento continuo de los vientos, nubes, actividad sísmica, etc.

Es de común conocimiento que los movimientos del agua se combinan o cancelan, y se desplazan por la superficie mediante un amplio rango de amplitudes, desde olas pequeñas a los grandes Tsunamis. Las primeras son causadas por la interacción del viento con la superficie del océano, en cambio, las olas profundas son de alto contenido energético.

Dada esta continua fuente de movimiento, todo lo que se necesita para saciar la necesidad humana de energía útil son aparatos eléctricos con las características necesarias para aprovechar ese movimiento, y que los mismos se encuentren localizados adecuadamente.

Cualquier sistema que convierta armoniosamente este movimiento alternativo en energía útil puede ser considerado una fuente inagotable de energía mientras el dispositivo se encuentre operativo.

## PERFIL DE LA EMPRESA OWECO

La Compañía Energética Ocean Wave (OWECO) está desarrollando el OWEC (dispositivo de transformación de energía de las olas).

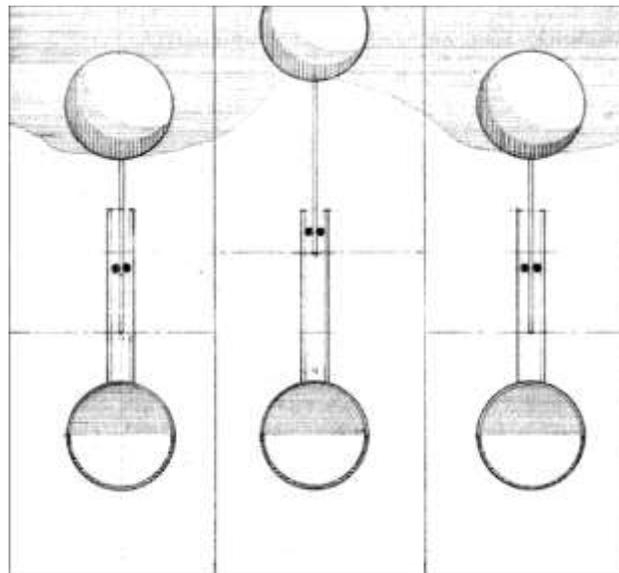
La misión de la compañía es la provisión de módulos auto-estabilizados que cuenten con cualidades de alta eficiencia de generación eléctrica a partir del recurso undimotriz, gran confiabilidad, mínimo mantenimiento y bajo costo relativo a otros dispositivos.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO OWEC

Básicamente, el dispositivo consta de una boya flotante en la superficie del agua con una varilla unida a ella y otra boya sumergida en forma neutra con un tubo unido a ella. La boya sumergida se encuentra en equilibrio estático producto de la relación peso-empuje.

El funcionamiento del dispositivo se basa en el movimiento alternativo que se produce entre ambas boyas, ya que la boya flotante copia la superficie del agua mientras que la boya sumergida permanece inalterada. Este movimiento alternativo entre boyas se traduce en un movimiento alternativo entre la varilla y el tubo.

Las dificultades en la construcción del dispositivo se centran en la pérdida de verticalidad de las boyas por el arrastre viscoso del agua sobre la superficie de la boya flotante lo cual desestabiliza el dispositivo.

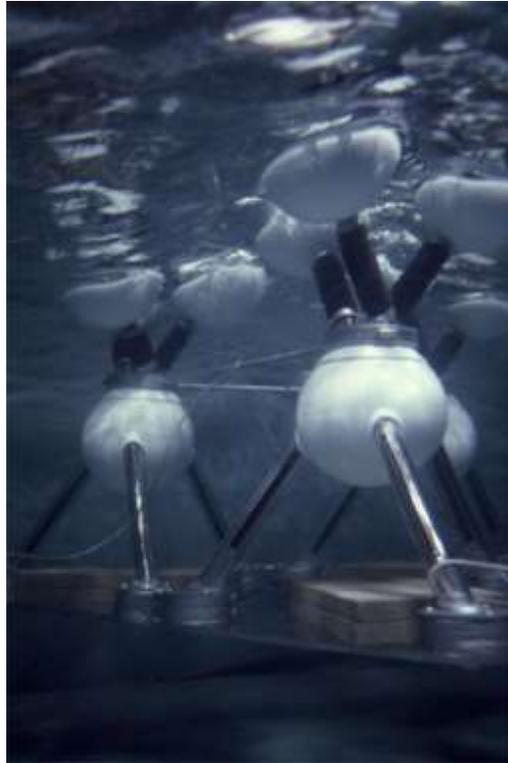


## ENSAYO Y PERFORMANCE DEL DISPOSITIVO OWEC

Tres dispositivos undimotrices de la empresa OWEC fueron ensayados en tanques de agua en mayo de 1982. La prueba se realizó con el fin de observar la respuesta mecánica y eléctrica de los dispositivos expuestos a condiciones hidrodinámicas controladas.

Los modelos se colocaron a flote en el medio de un tanque, con la boya superior parcialmente sumergida, y el resto de la estructura completamente debajo del agua.

Pesos adicionales fueron distribuidos para lograr la flotabilidad requerida.



Con el pasaje de cada ola, las boyas subían y bajaban moviendo generadores eléctricos lineales contenidos en tubos. Los tubos y demás partes de los generadores eran mantenidos prácticamente inmóviles mediante reguladores adecuados para tal fin.

Los generadores lineales fueron capaces de producir electricidad a partir de olas de entre 3 y 13 centímetros de amplitud. El dispositivo funcionó como se esperaba, pudo generar una cantidad medible de energía eléctrica a partir del movimiento alternativo de las olas. Esta primera prueba probó el concepto y abrió las puertas al concepto de energía basada en el aprovechamiento de las olas.

No obstante, los resultados obtenidos, la prueba del tanque de agua reveló deficiencias de los dispositivos. Un centro de flotación elevado y la ausencia de una fuerza tangencial que compensara la fuerza viscosa provocada por el movimiento de las partículas del agua sobre la superficie de la boya, generaron que ésta no pudiera entrar en resonancia. Esta prueba indicó que hay que incrementar la capacidad de la boya de copiar la forma de las olas, cambiando su forma con la disminución del nivel de flotación y maximizando el contacto del agua con la superficie.

Otro inconveniente que se presentó fue que al intentar que el desplazamiento de la boya estuviera directamente asociado al generador lineal, se generaban problemas de sincronismo.

## INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN LINEAL

Durante el desarrollo del proyecto de investigación llamado “Diseño estructural de dispositivos de Energía Undimotriz” llevado a cabo por la empresa SDWED (Diseño Estructural de Dispositivos Undimotrices) en

conjunto con el instituto Fraunhofer y el Departamento de Energía Civil de la Universidad Aalborg, se elaboró un estudio sobre las diferentes tecnologías existentes de generadores lineales aplicables a la generación energética en este ámbito. Este informe brinda los resultados principales de dicho estudio.

Desde los años 70 fueron propuestos distintos tipos de generadores de energía undimotriz con variados diseños y principios de funcionamiento, de los cuales solo unos pocos fueron construidos, implementados y en algunos casos evaluados satisfactoriamente.

Para poder desarrollar la tecnología de aprovechamiento undimotriz con el fin de lograr su comercialización, es preciso hacer foco en dos aspectos importantes. En primer lugar, se debe extender la vida útil de los dispositivos en los ambientes extremos a los cuales se encuentran expuestos manteniendo un costo razonable, y en segundo lugar se debe aumentar la eficiencia de los mismos.

Incluso los sistemas de generación se encuentran aún en investigación. Algunos dispositivos undimotrices convierten la oscilación de las olas en energía usando la rotación como movimiento primario, empleando máquinas eléctricas de rotación para la conversión de energía mecánica en eléctrica.

Los generadores eléctricos de rotación son utilizados ampliamente en la producción convencional de energía y también en otros sistemas de energía renovable como por ejemplo la energía eólica.

Una situación diferente se presenta cuando se busca un generador de absorción puntual aplicable a la energía undimotriz. Se debe convertir el movimiento de las olas en un movimiento de traslación. En este caso, se requiere algún tipo de actuador lineal. Actualmente los generadores hidráulicos y lineales eléctricos son los sistemas más utilizados para la aplicación undimotriz. Pero también son estudiadas tecnologías alternativas como músculos artificiales y sistemas de conversión mecánica, e incluso aplicadas en ciertos campos. No obstante ello, aún no han sido desarrolladas para su aplicación undimotriz.

Aun hoy es incierto el hecho de que la tecnología de generación undimotriz ganara la carrera entre las distintas alternativas, por ello es necesario comparar las distintas opciones para poder darle a los desarrolladores una visión objetiva acerca de cuál es la tecnología con mayores posibilidades de ser aplicada.

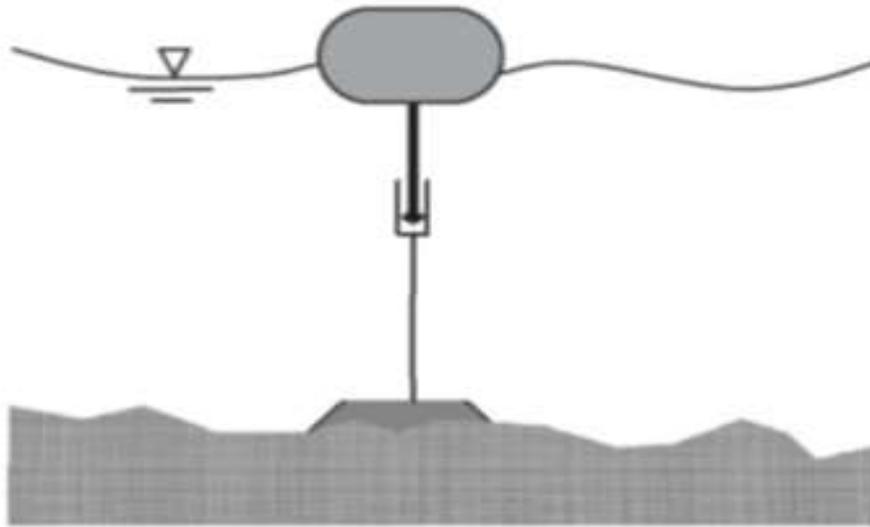
## CARACTERÍSTICAS DE DISPOSITIVOS DE APROVECHAMIENTO UNDIMOTRIZ DEL TIPO "ABSORCIÓN PUNTUAL" (PTO)

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En el siguiente texto se introducen, discuten y comparan las distintas opciones de generadores lineales.

Obviamente el tipo de generador a utilizar depende de los requerimientos tecnológicos del convertidor de energía de las olas, tales como el tamaño, diseño según el clima al que estará expuesto y el principio de funcionamiento. El convertidor consiste en un flotador, conectado al fondo del mar a través de algún tipo de mecanismo.

El primer principio de la termodinámica, el principio de conservación de la energía, requiere que el dispositivo de extracción interactúe con las olas para poder reducir la cantidad de energía de las mismas. El dispositivo debe generar una onda, que interfiere destructivamente con las olas.



## CONTROL

Para maximizar la energía extraída de las olas el control del dispositivo de generación undimotriz es clave. Este permite aumentar la energía transferida, ya que el dispositivo es controlado para estar en resonancia con la incidencia de las olas. A menudo, los modelos lineales son usados para investigar estrategias de control, dirigidas a optimizar la generación promedio.

## REQUISITOS EN EL SISTEMA GENERADOR

Como en la mayoría de las aplicaciones, los requisitos para el funcionamiento del sistema dependen de varios aspectos de su aplicación.

En lo que sigue se desarrollan dos grupos, los requisitos dependientes del principio de funcionamiento y requisitos generales.

## REQUISITOS DEPENDIENTES DEL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Estos requisitos son muy variados, por lo tanto procederemos a describir cómo el principio de funcionamiento afecta a la elección del sistema generador lineal.

### 1) Ciclo de vida

Para extraer la energía, el flotador copia la elevación de la superficie del agua en cada ciclo de la ola. Esto lleva a un alto número de ciclos a lo largo de la vida útil del dispositivo.

### 2) Características de fuerza y velocidad

En general el sistema PTO se debe diseñar para altas fuerzas, cortos desplazamientos y bajas velocidades.

### 3) Relación entre el valor pico y promedio de generación de energía

La relación entre el valor pico y el valor promedio en la generación de energía depende mayormente del sistema de control del dispositivo.

Un sistema de generación con una elevada relación pico-promedio debe tener una gran capacidad de sobrecarga. Es decir, debe poder operar en condiciones de sobrecarga durante cortos periodos de tiempo.

## REQUERIMIENTOS GENERALES

- 1) **Baja inversión relativa.**
- 2) **Elevada eficiencia.**
- 3) **Gran confiabilidad.**

También aspectos como la seguridad personal, el acceso restringido y el mantenimiento tienen que ser tenidos en cuenta a la hora del diseño.

## TIPOS DE TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN LINEAL

Distintas tecnologías son propuestas para los generadores lineales aplicados a dispositivos unidimotrices. Actualmente el sistema de generación más popular es definitivamente el sistema PTO utilizando componentes hidráulicos para la conversión primaria (transformación del movimiento de las olas en un movimiento de rotación) y generadores rotacionales para la conversión de la energía mecánica en eléctrica.

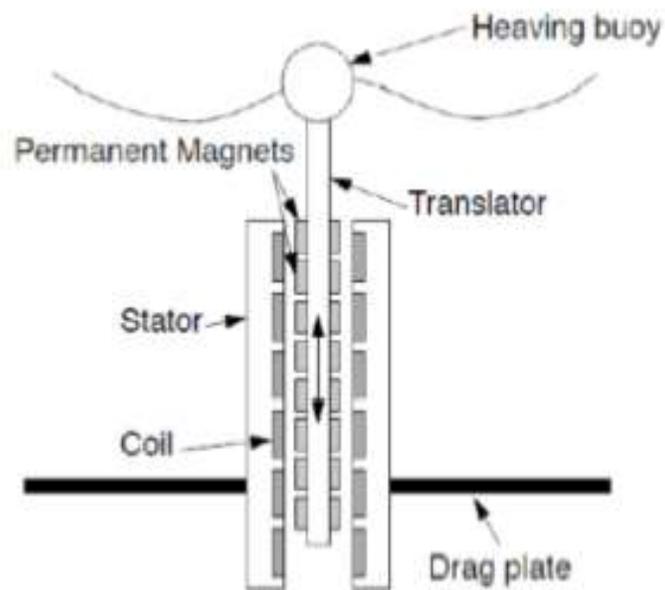
## GENERADORES ELÉCTRICOS LINEALES

---

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Básicamente los generadores lineales son generadores de rotación desenrollados, puesto que utilizan el mismo principio. En el ejemplo, las bobinas están ubicadas en el estator y los imanes en el eje. El montaje puede ser también inverso.

Montando las bobinas en el estator no se necesita ninguna conexión flexible y se reduce el número de imanes. Si el estator es significativamente más largo que el eje, se lo puede dividir en varias partes. Esto permitirá apagar las partes del generador que no estén activas en un determinado momento, resultando en una reducción de la pérdida en el generador.



## GENERADORES HIDRÁULICOS LINEALES

Se pueden distinguir dos sistemas hidráulicos aplicables a la energía undimotriz, ellos son:

- Un sistema hidráulico simple con almacenamiento de energía limitado.
- Un sistema hidráulico complejo, diseñado para almacenar el suministro variable de energía de las olas y liberarlo suavemente al generador.

---

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Sin importar que tipo de sistema PTO hidráulico sea utilizado, el primer paso en la conversión es provisto por uno de los tantos circuitos hidráulicos, conectado al flotador del dispositivo de absorción puntual. Una fuerza ejercida sobre el elemento flotante es transmitida a un cilindro hidráulico, donde se comprime el fluido y comienza la transformación energética.

Si el cilindro hidráulico utilizado, está directamente conectado al motor hidráulico, resulta en un sistema simple. En este tipo de configuración generalmente se utiliza un motor de desplazamiento variable. Controlando la fracción de desplazamiento el torque del motor puede ser variado arbitrariamente dentro de ciertos límites. En caso de estar acoplado un generador eléctrico rotacional, la velocidad es variable y el generador está conectado a la red mediante un convertor de frecuencia, también el torque y la velocidad del generador pueden ser manipuladas para controlar el sistema en general.

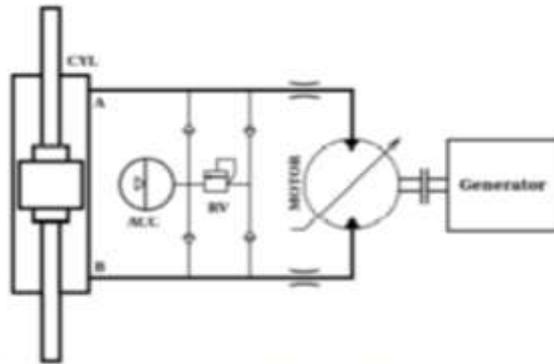


Figure 8: A variable pressure PTO system. Comprising: cylinder, motor, generator, low pressure accumulator, relief valve and check valves [24].

The alternative to the variable pressure PTO is depicted in Fig 9.

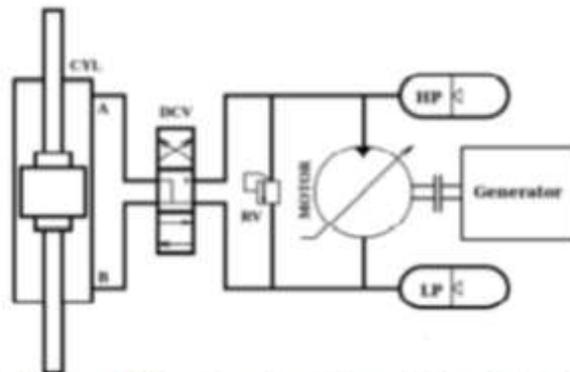


Figure 9: A constant pressure PTO system. Comprising: cylinder, directional control valve, high and low pressure accumulators, motor, generator and relief valve [24].

Una de las partes centrales del sistema PTO correspondiente al segundo esquema, es la válvula de tres posiciones. Gracias a esta válvula la línea "A", se puede conectar al acumulador de alta presión, y la línea "B" al de baja presión, o viceversa. En ambos casos la fuerza del cilindro es determinada por la presión del acumulador de alta.

## CARACTERÍSTICAS

Los componentes hidráulicos son de gran confiabilidad y poseen gran historial de venta. Además de ello, accesorios para aplicaciones offshore se encuentran disponibles. Por esta y otras razones el sistema hidráulico muestra una buena relación costo beneficio comparado con los sistemas eléctricos lineales.

Los sistemas hidráulicos verifican los requisitos de baja velocidad y grandes fuerzas de aplicación. No menos importante es la gran capacidad de carga de los cilindros.

Estos sistemas también presentan sus desventajas. Primero, la eficiencia es bastante pobre. Esto se debe a la baja eficiencia de los componentes hidráulicos, y también a la necesidad de varios pasos de conversión de

energética. Otro inconveniente que presentan es la necesidad de un mantenimiento regular, ya que el aceite debe cambiarse regularmente. Finalmente, con el aceite existe el riesgo de una contaminación severa en caso de que algún caño o sello del sistema se rompa. Este último inconveniente podría solucionarse mediante el uso de aceites biodegradables.

## GENERADOR DE ELASTÓMERO DIELECTRICO

Los elastómeros dieléctricos son un tipo especial de polímero electro-activo. La parte principal de los elastómeros dieléctricos es una estructura muy simple que consiste en una fina capa de polímero (elastómero) que se encuentra entre dos electrodos flexibles, hechos de un metal elástico. Pueden ser utilizados como transductores electromecánicos para transformar energía eléctrica en mecánica (actuador) o mecánica en eléctrica (generador). La estructura del elastómero dieléctrico consiste en una capa de polímero entre dos electrodos flexibles formando un capacitor deformable. Aplicando un voltaje a uno de los electrodos el efecto de la fuerza de Coulomb reduce el espesor y expande consecuentemente la superficie del polímero dieléctrico. Si se quita esa tensión el dieléctrico vuelve a su forma original.

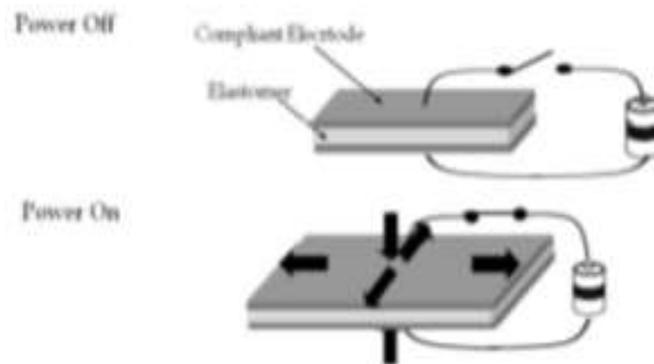


Figure 14: Deformation of the DE used as an actuator (source [38])

Cuando se realiza el ciclo a la inversa, es decir, aplicando una fuerza externa deformante, es posible generar electricidad. El ciclo de acumulación de energía está basado en cuatro pasos.

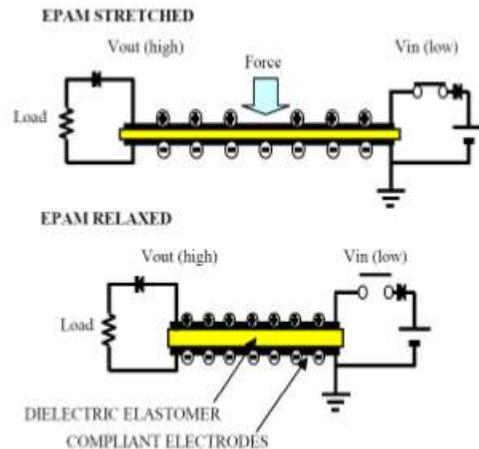


Figure 15: Function principle of the DE-generator (source [36])

En el primer paso, el generador dieléctrico se encuentra estirado por una fuerza externa. Al punto de máximo elongación el generador es cargado con un campo eléctrico. Este es el segundo paso del ciclo. En el tercer paso, la fuerza externa se reduce. Esto conduce a un relajamiento del elastómero dieléctrico, y un aumento de la energía eléctrica almacenada. Este paso representa el proceso de cambio de energía mecánica a eléctrica. Cuando el generador eléctrico está completamente relajado se lo puede descargar. Y el ciclo puede iniciar nuevamente.

---

#### CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Como el material puede tolerar grandes deformaciones mecánicas, mientras la excitación requerida para generar una cantidad razonable de energía es bastante baja, hace que los elastómeros dieléctricos sean generadores atractivos.

El generador eléctrico debe estar conectado a la red mediante un convertor de frecuencia, así como todas las demás máquinas eléctricas lineales. Esto lleva a un excelente control del comportamiento y una respuesta rápida. La eficiencia de la conversión de energía de un generador elastómero dieléctrico está estimada entre el 70-75%.

Los atributos resultantes son, poco peso, bajo mantenimiento, bajo costo e incluso a bajas frecuencias puede convertirse energía mecánica en eléctrica de forma eficiente.

---

#### APLICACIÓN UNDIMOTRIZ

El hecho de que el dieléctrico elastómero sea barato y fácil de producir lo convierte en una opción viable para la generación de energía mediante el aprovechamiento de las olas. La resistencia del dieléctrico a la salinidad del agua y los pocos requerimientos en la estructura mecánica, disminuyen el nivel de mantenimiento necesario e incrementan la factibilidad.

En conclusión, se puede decir considerando los resultados positivos del generador de elastómero dieléctrico puede ser un candidato razonable para la aplicación a dispositivos undimotrices.

## CONCLUSIONES

- La obtención energética a partir del recurso undimotriz es viable y las tecnologías apuntan a la máxima explotación del recurso.
- Nuevos dispositivos de generación aplicados a los sistemas de aprovechamiento undimotriz como por ejemplo el generador de elastómero dieléctrico simplifican los diseños y vuelven los proyectos más rentables.
- El sistema de control de los dispositivos PTO es clave para obtener de ellos el máximo rendimiento.
- La explotación del recurso es inminente y los avances tecnológicos están a la vanguardia.

## BIBLIOGRAFÍA

OWEC Ocean Wave Energy Company. (2017). Obtenido de <http://www.owec.com/index.html>

SDWED Structural Design of Wave Energy Devices. (2017). *Linear Generator Systems for Wave Energy Converters*. Obtenido de [http://www.sdwed.civil.aau.dk/digitalAssets/97/97525\\_d3.2.pdf](http://www.sdwed.civil.aau.dk/digitalAssets/97/97525_d3.2.pdf)