



UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCION DE NAUTICA, MAQUINAS Y RADIOELECTRONICA NAVAL

TRABAJO FIN DE GRADO.

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE
LAS OLAS**

ENERGÍA UNDIMOTRIZ

JORGE GUTIÉRREZ FUMERO

JUNIO 2016

DIRECTOR/ES

JOSÉ AGUSTÍN GONZÁLEZ ALMEIDA

FEDERICO PADRÓN MARTÍN



D. José Agustín González Almeida, Profesor Asociado del área de conocimiento de Construcciones Navales, perteneciente al Departamento de Ciencias de la Navegación, Ingeniería Marítima, Agraria e hidráulica de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Jorge Gutiérrez Fumero ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: "APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS. ENERGÍA UNDIMOTRIZ".

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente Certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 25 de Mayo de 2016.



Fdo.: José Agustín González Almeida.

Director del trabajo.





D. Federico Padrón Martín, Profesor Ayudante Doctor del área de conocimiento de Construcciones Navales, perteneciente al Departamento de Ciencias de la Navegación, Ingeniería Marítima, Agraria e hidráulica de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Jorge Gutiérrez Fumero ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: "APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA DE LAS OLAS. ENERGÍA UNDIMOTRIZ".

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente Certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 25 de Mayo de 2016.



Fdo.: Federico Padrón Martín.

Director del trabajo.



ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE..... | 7 |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | 9 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | 10 |
| RESUMEN..... | 11 |
| ABSTRACT..... | 13 |
| OBJETIVOS..... | 15 |
| INTRODUCCIÓN..... | 17 |
| 1. CLASIFICACIÓN DE LAS OLAS..... | 18 |
| 1.1 ONDAS ESTACIONARIAS..... | 19 |
| 1.2 ONDAS TRANSITORIAS O PROGRESIVAS..... | 20 |
| 1.3 ONDAS LIBRES..... | 21 |
| 2. TEORÍA DE LA OLA..... | 22 |
| 2.1 ONDA LINEAL..... | 22 |
| 2.2 ONDA NO LINEAL (Onda solitaria)..... | 24 |
| 3. TÉCNICAS DE CONVERSIÓN Y TRANSMISIÓN..... | 27 |
| 3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS..... | 27 |
| 4. CONVERTORES DE ENERGÍA DEL OLEAJE OWC..... | 29 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS OWC..... | 29 |
| 4.2 CONVERSIÓN PRIMARIA..... | 30 |
| 4.3 CONVERSIÓN SECUNDARIA..... | 31 |
| 5. MÉTODOS DE CAPTACIÓN..... | 31 |
| 5.1 TOTALIZADORES O TERMINADORES..... | 32 |
| 5.1.1 OWC Columna Oscilante..... | 32 |
| 5.1.2 OWC RECTIFICADOR RUSSEL..... | 33 |
| 5.1.3 OWCs Péndulo..... | 34 |
| 5.1.4 OWC DE UNIÓN FENOSA..... | 35 |



| | | |
|--------------|---|-----------|
| 5.1.5 | OWC TAPCHAN (NORUEGA) | 35 |
| 5.2 | SISTEMA DE BOMBEO | 36 |
| 5.2.1 | OWC MECÁNICO | 36 |
| 5.2.2 | OWC BOMBA DE MANGUERA | 37 |
| 5.2.3 | OWC BOMBA DE PISTÓN | 38 |
| 5.3 | SISTEMAS HIDRÁULICOS | 40 |
| 5.3.1 | OWC DUCK o PATO SALTER | 40 |
| 5.3.2 | OWC RAFT o Balsa COCKERELL | 42 |
| 5.3.3 | OWC PELAMIS | 42 |
| 5.3.4 | OWC ROMPEOLAS SUMERGIDO | 46 |
| 5.3.5 | SISTEMA ALSTORM | 46 |
| 6. | IMPACTO MEDIOAMBIENTAL | 48 |
| | CONCLUSIONES | 51 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 53 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- **Fig.1** Representación esquemática de los tipos de olas que existen en la superficie del océano y de la energía en ellas contenida (Fuente. “Energía de las Olas” Pedro Fernández Díez)
- **Fig.2** Representación esquemática de los tipos de olas que existen en la superficie del océano y de la energía en ellas contenida (Fig 1. Fuente. <http://www.oocities.org/gsilvam/maritima.htm>)
- **Fig.3** Representación esquemática de los tipos de olas que existen en la superficie del océano y de la energía en ellas contenida (Fuente. “Energía de las Olas” Pedro Fernández Díez)
- **Fig 4.** Instalación de columna oscilante de agua (OWC) (Fuente. PDF. Energía del Oleaje.)
- **Fig 5.** Instalación real Islay-Escocia, 2001 (OWC) (Fuente. PDF. Energía del Oleaje.)
- **Fig. 6** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 7.** Dispositivo Pendulor (Fuente. PDF. Energía del Oleaje. No autor)
- **Fig. 8** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig. 9** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig.10** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 11** OWC Mecánico(Fuente: PDF. Energía del Oleaje.)
- **Fig 12** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 13** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 14.** Dispositivo Pendulor (Fuente. PDF. Energía del Oleaje. No autor)
- **Fig 15.** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 16.** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 17.** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 18.** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>
- **Fig 19.** Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **OWC:** Se les llama dispositivos o convertidores OWC (*Oscilating Water Column*) a todo dispositivo o mecanismo que es capaz de transformar la energía del oleaje en energía útil.
 - **Energía Undimotriz:** Es aquella energía renovable la cual se obtiene gracias a la acumulación de la energía de un ola u onda.
-

RESUMEN

El contenido de este trabajo gira en torno a la llamada energía undimotriz, dentro de las energías renovables. La energía undimotriz es aquella energía que contiene cada una de las olas u ondas que encontramos en la mar, y la cual se puede conseguir por medio de diversos elementos de captación, todos ellos llamados OWC.

Así, el contenido de este Trabajo Fin de Grado estará dividido en tres partes trascendentales, a saber:

- I. Introducción a la energía de las olas** como energía renovable aún con un largo camino para explotar. En esta sección apreciaremos que el uso de la energía undimotriz proviene de siglos pasados, pero ha tenido su gran expansión en nuestro Mundo gracias a las capacidades científicas para emprender la investigación sobre la “Teoría de Olas”, consiguiendo así una mejor eficiencia y eficacia en los sistemas de energía undimotriz.
 - II. Teoría de Ola:** Esta es de vital trascendencia si queremos entender cómo hemos conseguido, los seres humanos, avanzar en esta materia. Las Olas no tienen un comportamiento muy diferente de las Ondas convencionales dentro de un espacio tridimensional. Por lo que se pueden descomponer para determinar y preveer su comportamiento. De esta forma, somos capaces de distinguir diferentes tipos de olas u ondas.
 - III. Métodos OWC:** Estos son los diferentes elementos captadores de la energía undimotriz, no merece profundizar en ellos ya que son varios, y están descritos en el cuerpo del trabajo.
-



ABSTRACT

Let me have a follow brief summary of the content. The content of this work revolves around the so-called wave energy within renewable energy. Wave energy is the energy that contains each of the wave or waves that are in the sea, which can be achieved through various collection elements, all called OWC.

Thus, the content of this Final Project will be divided into three transcendental parts, namely:

I. Introduction to wave energy as a renewable energy still a long way to explode.

This section will appreciate that the use of wave energy comes from centuries past, but has had its great expansion in our world thanks to scientific capacities to undertake research on the "Theory of Waves", thus achieving greater efficiency and effectiveness in power systems undimotriz.

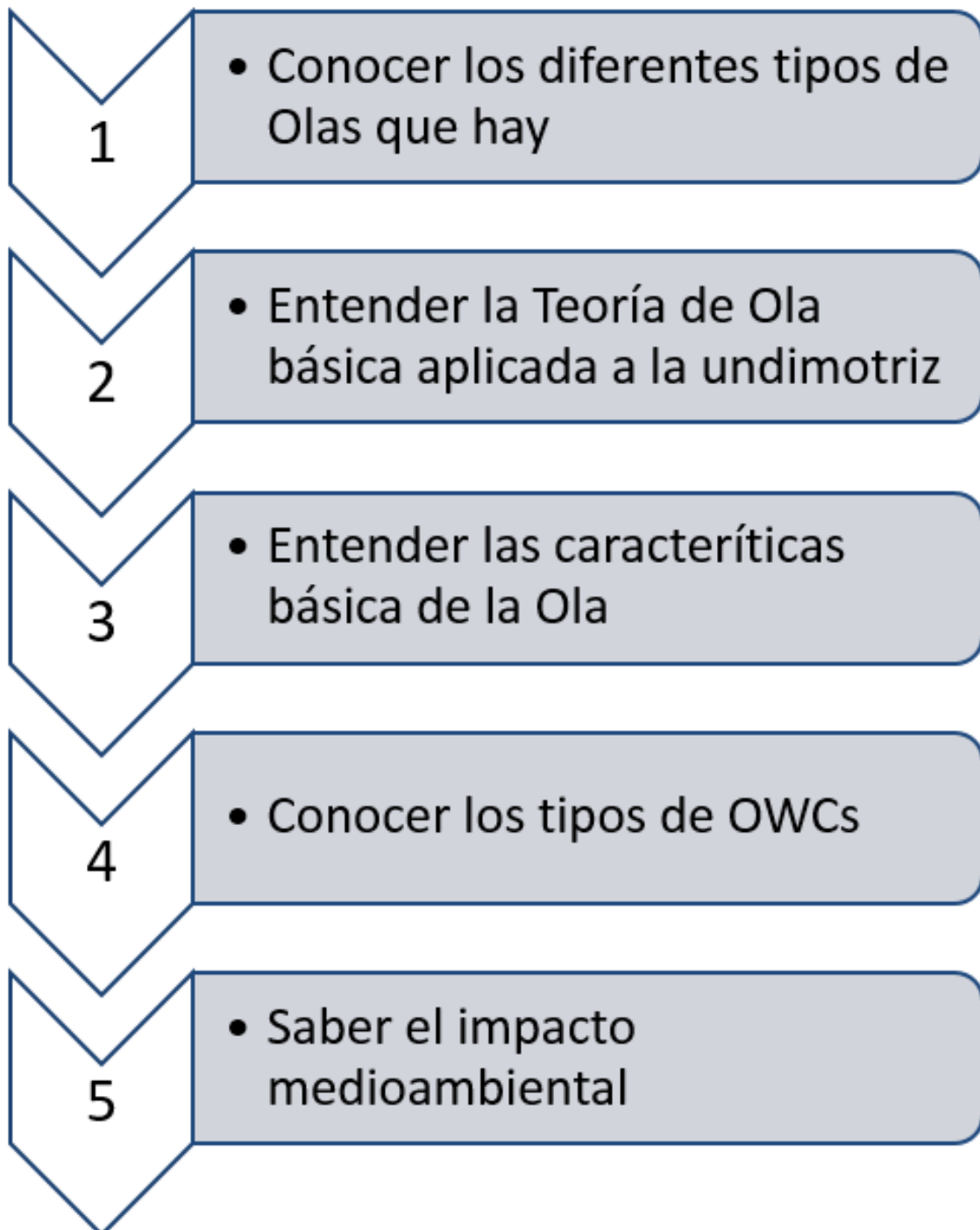
II. Wave Theory: This is of vital importance if we are to understand how we achieved, humans, progress in this area. Las Olas have a very different behavior of conventional waves within a three dimensional space. As they can be decomposed to determine and predict their behavior. In this way, we are able to distinguish different types of waves or waves.

III. OWC methods: These are the different sensors elements of wave energy, should not deepen them because they are many, and are described in the body of work.



OBJETIVOS

En el siguiente trabajo fin de grado estableceremos una serie de objetivos a cumplir, de los cuales expondremos:





INTRODUCCIÓN

La energía undimotriz u olamotriz, es aquella energía la cual es producida por el movimiento de las olas. Obtener energía a partir de las olas es de antigua consideración. Encontramos un ejemplo de este tipo de sistemas en el siglo XIX, donde el español Don José Barrufet diseñó y patentó una máquina para el aprovechamiento de las olas a la que denominó "marmotor". La máquina estaba formada por una serie de boyas que subían y bajaban con las olas, transmitiendo ese movimiento a unos generadores eléctricos. Aseguraba que el sistema era capaz de suministrar un mínimo de potencia de 0,36 kW.

Gran parte de la contaminación ambiental de nuestro tiempo es producto de la quema generada por los combustibles fósiles. Combustión realizada en un alto porcentaje para la transformación de energía térmica en eléctrica. La energía undimotriz se establece dentro de las energías denominadas, "energías alternativas" o "energías renovables", esto es causa a su leve (nulo en algunos casos) impacto medioambiental.

A continuación, se expondrán generalizadamente las diferentes peculiaridades de esta energía, así como los funcionamientos teóricos y prácticos que nos permiten su desarrollo e implantación.

Entre los puntos trascendentales de esta energía renovable, es determinar cuanta energía es capaz de acumular una ola, y determinar sus características teóricas y físicas, para así poder garantizar no solo un buen entendimiento, sino una buena eficiencia de nuestros mecanismos y sistemas. Así, es importante empezar este trabajo con unas nociones básicas sobre clasificación, características de "La Ola" y de su "Teoría".

Antes de cualquier consideración, debemos tener en cuenta que es muy frecuente en las fuentes utilizadas para realizar esta memoria, determinar a las "olas" como "ondas" debido a su claro funcionamiento físico. Por esto, no es de extrañar que podamos encontrar ambos términos para una mejor aclaración de las características.



1. CLASIFICACIÓN DE LAS OLAS

Para la clasificación de las diferentes olas que podemos encontrarnos en el mar, con sus características teóricas, hemos de saber que existen todos los modelos que las matemáticas y la física pueden describir como tipos de ondas en un plano, de esta forma existen, desde ondas senoidales o compuestas de varias sinusoides, ondas troncoidales y ondas que tienen perfiles ambiguos, ondas progresivas y estacionarias, ondas amortiguadas, ondas superficiales, ondas medias, ondas que llegan a la superficie del mar y ondas que se manifiestan en profundidad en contacto con aguas de temperatura y salinidad diferentes, y un largo etc.

Por este motivo, muchas veces las diferentes clasificaciones de las olas se realizan acorde a si son estacionarias, transitorias o libres. Ya que todas las ondas naturales se encuentran englobadas en alguna de estas últimas.

De manera esquemática determinamos que los diferentes tipos de ondas u olas son:

- 1. Estacionaria.**
- 2. Transitoria.**
- 3. Libre.**

El principal generador de las olas es el viento, aunque también el desplazamiento residual de buques, etc. De la radiación solar que incide en la Tierra, una parte de esta se retorna a causa de diferentes factores atmosféricos, convirtiendo el calor en la superficie en un proceso heterogéneo, de este modo se provoca en la atmósfera zonas diferentes de altas y bajas presiones, generando desplazamiento de aire, denominado “viento”.

El oleaje del mar no es otra cosa que el resultado del rozamiento de este viento sobre la superficie del mar, de esta forma, el océano y el mar actúan como acumuladores de



energía. Pasando de la radiación solar que incide en la superficie, a la generación de diferenciales de presiones, a la generación de oleaje que transporta y almacena energía de un punto a otro del globo.

En el mar existen dos tipos generales de ondas; Estacionarias y progresivas o transitorias. Teniendo en cuenta las también llamadas de "onda larga".

1.1 ONDAS ESTACIONARIAS

En una onda marina estacionaria, podemos encontrar uno o varios puntos (o líneas), en los que el movimiento es nulo, (*en las fuentes se les determina como "puntos nodales"*), y uno o más puntos en los que el desplazamiento es máximo, (*"puntos ventrales"*). La distancia y frecuencia de oscilación entre nodos, dependen de las dimensiones geométricas de la cuenca en que se produzcan dichas ondas.

Para explicar su funcionamiento de manera sencilla podemos recurrir al siguiente ejemplo:

"Cuando se da una sacudida a un recipiente lleno de líquido se observa que toda la masa líquida oscila y, tras un número mayor o menor de oscilaciones, el nivel vuelve a las condiciones de equilibrio iniciales"

En un lago o cuenca marina, las ondas estacionarias se manifiestan cuando la masa de agua sufre una o varias sacudidas bruscas, pudiendo ser por causa del viento, variaciones de presión atmosféricas como de sacudidas tectónicas en zonas submarinas.

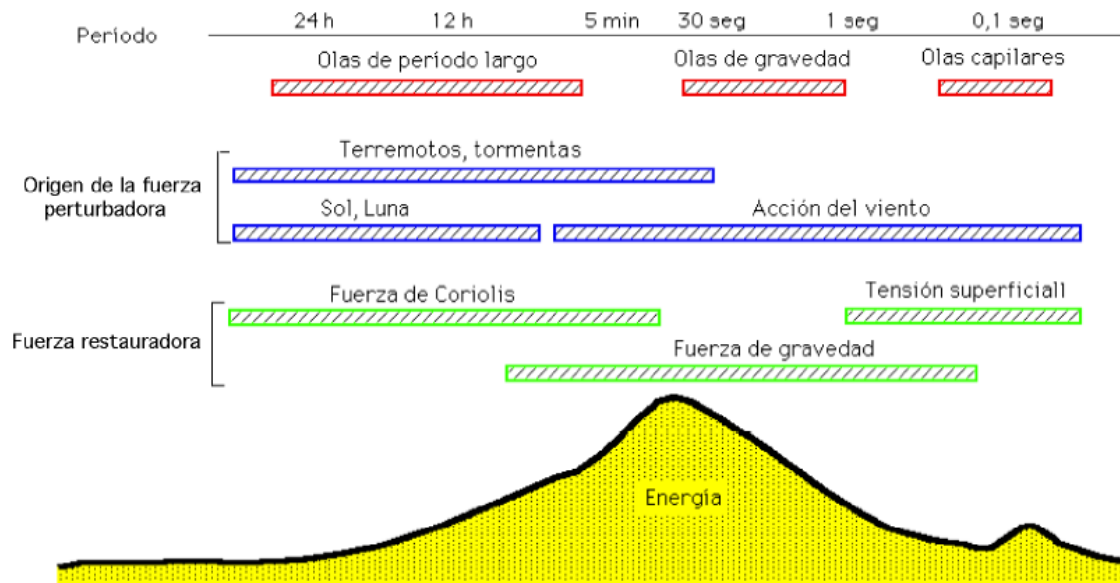


Fig.1 Representación esquemática de los tipos de olas que existen en la superficie del océano y de la energía en ellas contenida (Fuente. “Energía de las Olas” Pedro Fernández Díez)

Podemos también mencionar que en zonas de mar semicerrados a las mareas externas, en los estudios se han determinado que las mareas propias de estos mares pueden ocasionar y ocasionan grupos de ondas estacionarias de manera que pueden generar una marea propia diferente a las bastas zonas marinas de océanos, etc. Un ejemplo claro podría llegar a ser el Mar Negro y en menos medida a causa de la gran masa de agua, sería el Mar Mediterráneo.

1.2 ONDAS TRANSITORIAS O PROGRESIVAS

Las ondas marinas transitorias o progresivas son aquellas que pueden varían en amplitud a lo largo del tiempo y espacio, estas pueden formarse en la superficie (olas superficiales generadas por el viento) o en el seno de la masa oceánica (olas internas que se producen a razón de los gradientes de temperatura y salinidad entre las diversas masas de agua)

Típicamente progresivas, son las olas solitarias y los tsunami, que se generan a causa



de seismos costeros y oceanográficos y se propagan de costa a costa o desde el epicentro oceánico hasta las costas, provocando a menudo cuantiosos daños, mayores en algunas ocasiones que los ocasionados por el mismo seísmo.

Las olas se pueden clasificar atendiendo a la fuerza perturbadora, según la cual las olas pueden ser generadas por distintos fenómenos, Figura 1. , como: Acción del viento, Terremotos y tormentas, Sol y Luna

Las olas debidas al viento son las que contienen más energía y son las que se aprovechan para obtener electricidad. Su energía procede en última instancia, de la energía solar.

1.3 ONDAS LIBRES

Las olas libres son generadas por la aplicación instantánea de una fuerza perturbadora, la cual cesa en el instante, generando por lo tanto una ola que evoluciona libremente. Dentro de estas ondas podemos nombrar a las olas forzadas, las cuales son aquellas en las que la perturbación se aplica de manera continua, y no momentánea, por ejemplo, las olas de marea.

Aunque es posible percibir una contradicción entre onda libre y forzada, la única diferencia es la periodicidad de una fuerza perturbadora en el tiempo.

Las Ondas libres y/o Forzadas pueden subclasificarse acorde al periodo de duración que tiene la existencia de cada ola, y esta se mantiene en su seno, pudiendo ser:

- 1. Olas de periodo largo, (de 5 min a 24 h),**
- 2. Olas de gravedad, (de 1 seg a 30 seg),**
- 3. Olas capilares, (de menos de 0,1 seg).**

2. TEORÍA DE LA OLA

Como hemos podido ver con anterioridad, las olas son producidas por diferentes causas. Pudiendo existir olas que son generadas por el viento, por las mareas y corrientes, por tormentas, por oscilaciones o por seísmos e incluso por gradientes de temperatura.

La Teoría de las olas se basa en el desarrollo y aplicación de las ecuaciones, de entre otros autores, las de Navier-Stokes en un flujo de fluidos viscosos de régimen no permanente, que hacen referencia a un régimen dinámico que responde a cambios, ya sean ocasionados por temperatura.

Para el estudio matemático de las olas, se suelen clasificar entre Ondas de pequeña amplitud y Ondas de amplitud finita, pero al no ser naturaleza de este trabajo el profundizar en las especificaciones de estas, Veremos una serie de características básicas que engloban todo tipo de olas, y seguidamente realizaremos la distinción entre estos dos grandes tipos de olas, las que se basan en la Teoría Lineal y las que NO.

2.1 ONDA LINEAL

Como ya se mencionó, el estudio de las olas con pequeña amplitud se basa en la Teoría Lineal fundamentada en la forma desarrollada por Stokes, simplificada de la ecuación general de flujo de régimen no permanente. El resultado es una Onda Sinusoidal que tiene las siguientes características:

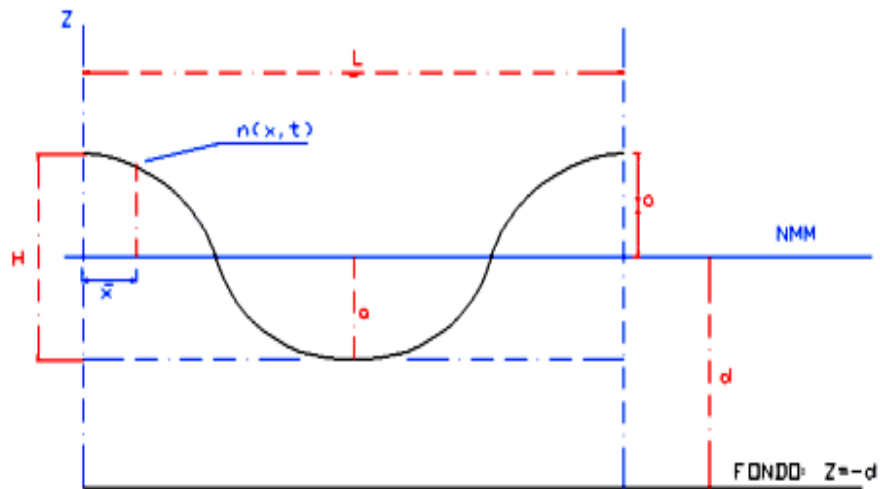


Fig.2 Representación esquemática de los tipos de olas que existen en la superficie del océano y de la energía en ellas contenida (Fig 1. Fuente. <http://www.oocities.org/gsilvam/maritima.htm>)

Donde:

- NMM = Nivel Medio del Mar
- $n(x,t)$ = Variación instantánea de la superficie.
- d = profundidad
- a = Amplitud de la Ola
- $H=2a$ = Altura de la Ola
- L = Longitud de la Ola (También la podemos encontrar como " λ " en la bibliografía)
- $n(x,t) = a \cos(kx - St)$
- K = N° de la Ola ; $K = 2 \frac{\pi}{L}$
- S = Frecuencia Regular ; $S = 2 \frac{\pi}{T}$

Para determinar si una ola lineal es corta o larga debemos saber que estas no dependen de la velocidad " c " ya que esta es independiente de la profundidad del mar " h ", pero están matemáticamente relacionadas con la propia longitud de onda (" L " o " λ "). Ondas de carácter corto son las olas de viento que podemos ver rutinariamente sobre la superficie del mar. Debemos de saber que existen variables a tener en cuenta



en el estudio de la teoría de ondas lineal, como pueden ser su desplazamiento vertical, período, longitud, velocidad de traslación, rotura, energía de las olas, etc.

2.2 ONDA NO LINEAL (Onda solitaria)

Dentro de la cantidad de ondas no lineales existentes nombraremos la más básica y común para los cálculos no lineales en las plantas de energía undimotriz.

El elemento principal de este tipo de ola es que, la superficie de la misma se encuentra en cada momento por encima del nivel normal del mar de la zona estipulada. Por lo que para el estudio de este tipo de ondas reales, ya no será posible la aplicación plenamente teórica que ocurre con las ondas lineales, puesto las no lineales requieren un estudio previo del entorno, debiendo saber de ante mano el nivel medio del mar, la temperatura ambiente, salinidad, etc.

Aún así, como representación gráfica de la onda no lineal podemos ver la *Fig 3* que se muestra a continuación, en el que el perfil de la ola viene dado por el desplazamiento vertical y para cada posición x y tiempo t , en la forma:

$$y = H \operatorname{Sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (x - ct) \right\}$$

siendo el valor de la velocidad:

$$c = \sqrt{gH \left(1 + \frac{H}{h} \right)}$$

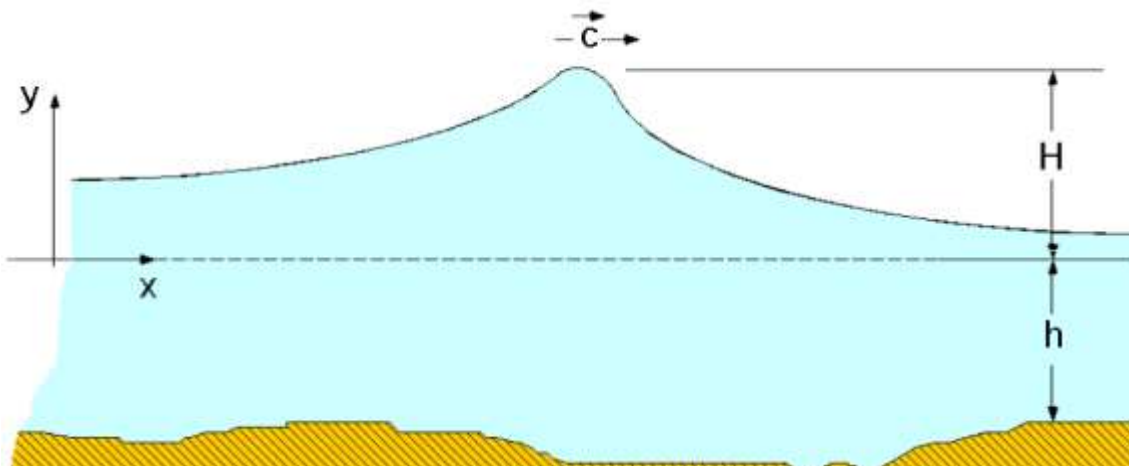


Fig.3 Representación esquemática de los tipos de olas que existen en la superficie del océano y de la energía en ellas contenida (Fuente. "Energía de las Olas" Pedro Fernández Díez)

La componente horizontal de la velocidad de las partículas del agua se define como:

$$u = \sqrt{\frac{g}{h}} y = \sqrt{\frac{g}{h}} H \operatorname{Sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (x - ct) \right\}$$

La condición de rotura de la ola: $Hr = 0,714 hr$ (hr corresponde variables técnicas)

Para la aplicación práctica de esta onda, nos será importante conocer la fórmula de cálculo de la energía que genera la ola en la zona de mar de fondo cerca del litoral:

$$E = 1,54 \gamma \sqrt{(H h)^3} b$$

Los valores "b" y "Y" corresponde a variables técnicas que cambian a razón de t

$$y = \frac{H}{2} \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi t}{T} \right)$$



Debemos darnos cuenta que este tipo de olas no lineales, tiene un carácter real, y aunque conozcamos de antemano las ecuaciones de las componentes, será este tipo de ondas las que nos encontremos para la obtención de energía undimotriz. Las cuales requieren de un amplio estudio a causa de la cantidad de variables que precisamos para la obtención de la energía.

3. TÉCNICAS DE CONVERSIÓN Y TRANSMISIÓN

3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Se les llama dispositivos o convertidores OWC (*Oscilating Water Column*) a todo dispositivo o mecanismo que es capaz de transformar la energía del oleaje en energía útil. De esta forma, hablaremos plenamente de alguno de los diferentes OWC y sus antecedentes.

Los OWCs tienen que ser capaces de funcionar eficientemente para las múltiples gamas de frecuencia y amplitud de las olas a pesar de los embates del mar.

Existen testimonios que datan la primera utilización de las olas por el siglo XII, donde China ya empezaba a operar una serie de molinos accionados por el oleaje. Pero no fue hasta los inicios del siglo XX que se empezarían a desarrollar en Occidente los dispositivos de energía undimotriz. Existe documentación, en la cual no profundizaré ya que no es naturaleza de este trabajo, que explica una serie de pruebas de mecanismos similares a los sistemas actuales de columna oscilante ocurridas sobre los años 20 en California, EEUU. A la par, en el Imperio de Japón ya estaba desarrollando el motor de péndulo. Para 1921 el Instituto Oceanográfico de Mónaco, utiliza una bomba accionada por las olas para elevar agua a 60 m con una potencia de 400 W.

En 1940 Francia plantea una serie de plantas de energía undimotriz en su colonia Argelia, las cuales no llegaron a fabricarse a causa de los sucesos de la Guerra Mundial.

A finales de los 50, se diseña en la Isla Mauricio (R.U.) una central para la obtención de 20MW que consistía en una rampa fija sobre arrecife, por medio de la cual subía el agua a un embalse situado a 3 m por encima del nivel del mar, impactando contra los



OWC correspondientes. Esta central nunca llegó a construirse.

En el año 1975 se construiría en Puerto Rico (EEUU) un diseño similar al desarrollado por los británicos en las Islas Mauricio.

Uno de los diseñadores y técnicos más influyentes en la energía undimotriz a lo largo del siglo fue el Capitán de navío de la armada imperial japonesa Yoshio Masuda, que empezó sus investigaciones en 1945, ensayando en 1947, el primer prototipo de Raft, a partir de 1960 desarrolla un sistema neumático para la carga de baterías en boyas de navegación, con una turbina de aire de 60 W, de la que se vendieron más de 1200 unidades a empresas Japonesas y el resto del mundo.

En 1970 se construye en Japón con ayuda de Masuda una plataforma flotante, de 80 m de largo y 12 m de ancho, llamada Kaimei, que alberga 11 cámaras para la obtención de energía undimotriz.

La investigación a gran escala de mecanismos OWC se desarrolla a partir de 1974, siendo el R.U. , Francia y Japón los máximos propulsores de estas. Estudiándose sofisticados sistemas para grandes aprovechamientos, actividad que R.U. abandona casi totalmente en 1982, por falta de recursos económicos. Finalmente, desde los años 80 se han venido desarrollando las plantas de undimotriz a lo largo del planeta, siendo la CEE (posteriormente UE) la que más ha invertido desde la fecha.

4. CONVERSORES DE ENERGÍA DEL OLEAJE

OWC

Los OWCs son dispositivos mecánicos que convierten y/o transforman la energía generada por una ola u onda en energía eléctrica, por medio sistemas que incluyen una fase primaria-mecánica y una secundaria-eléctrica con el uso de transformadores. Pocas son las instalaciones que se han ensayado en el mar a escala natural, por lo que falta experiencia operativa con prototipos reales. En general, a medida que aumenta la distancia a la costa la densidad de energía es mayor y existe una mayor complicación para el transporte de la energía generada, por lo que hay que encontrar un compromiso entre la energía generada por el OWC y la densidad de energía.

Son muchas las modalidades de OWCs que permiten obtener energía del oleaje, aunque no está todavía claro cuáles son las opciones más favorables, debido a la heterogeneidad de la fuente de energía acorde al planeta, existen múltiples mecanismos preferentes en estas zonas. A pesar de esto, los OWCs cumplen con una serie de características más comunes.

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS OWC

Las características básicas, los OWCs pueden ser englobados en:

- a. Por la capacidad de producción energética de la que dispone, relacionada con el punto anterior; pueden ser grandes, medianos o pequeños aprovechamientos.***
- b. Por su posición con respecto a la costa: OWCs en altamar, cerca del litoral o en la costa.***
- c. Por su posición con relación a la dirección del oleaje, destacando:***



- Totalizadores o terminadores: OWCs largos con eje paralelo al frente del oleaje.
- Atenuadores: OWCs largos con eje perpendicular al frente del oleaje.
- Absorbedores puntuales o momentaneos: OWCs aislados de dimensiones reducidas, los cuales aprovechan el efecto antena o pico (concentración y convergencia del oleaje).

d. Por su posición relativa al agua: Pudiendo ser OWCs fijos o flotantes, semisumergidos o sumergidos.

e. Por otros criterios, véase la capacidad de almacenamiento, el impacto medioambiental, eficiencia, materiales de fabricación, etc.

En la actualidad la investigación de los OWCs está centrada principalmente en los sistemas: Raft, Rompeolas sumergidos, Boyas mecánicas, Sistemas péndulo, etc. Dejando un amplio margen de maniobra para disponer en el futuro de nuevos sistemas con una mayor eficiencia.

Los OWCs utilizan un método basado principalmente en dos etapas, la primera o primaria y la secundaria o final, pudiendo ser también diferenciados por los distintos mecanismos utilizados para cada etapa, seguidamente explicaré las características principales de cada etapa, puesto prácticamente todos los OWCs las utilizan

4.2 CONVERSIÓN PRIMARIA

Esta primera etapa consiste simplemente en la extracción de la energía de la ola por medio de sistemas mecánicos o neumáticos, consiguiendo transformar el movimiento de las olas en un movimiento de una columna de aire (flujo controlado), traduciéndose en gradientes de presión o en el desplazamiento mecánico de cuerpos acumuladores de energía, pudiendo ser flotadores en sentido vertical o en rotación. Esto, con el fin de pasar a la segunda etapa o fase.

4.3 CONVERSIÓN SECUNDARIA

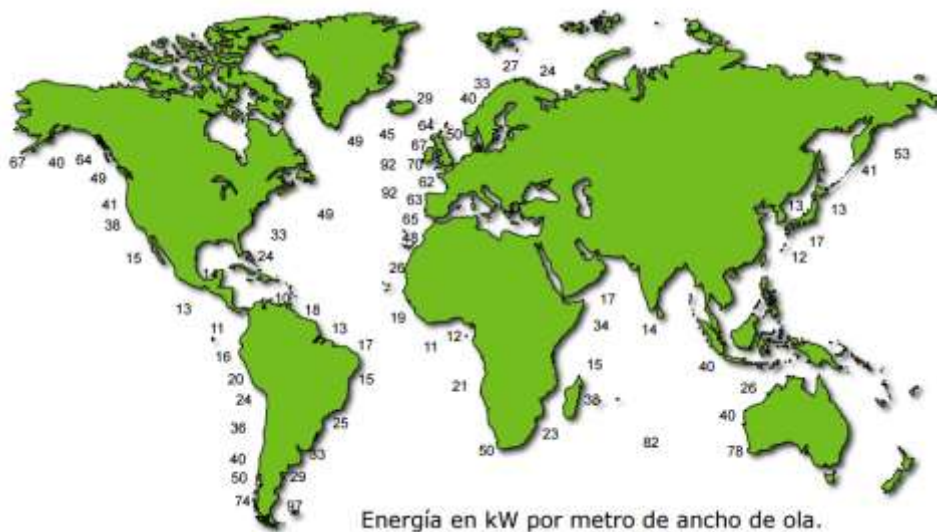
Esta segunda etapa es la transformación en energía utilizable (normalmente eléctrica) partiendo normalmente de los acumuladores de energía, siendo los flotadores, zonas de resonancia, etc. Los medios utilizados para esta segunda conversión suelen ser turbinas neumáticas o hidráulicas, dispositivos de transmisión mecánica, etc.

5.MÉTODOS DE CAPTACIÓN

Las técnicas de utilización energética del oleaje aprovechan la energía que se producen por las olas pueden ser clasificados en:

- Totalizadores
- Sistemas por bombeo
- Sistemas Hidráulicos

En la siguiente imagen se puede determinar tras estudios de capacidad energética en diferentes zonas, una distribución global de la energía de las olas en kW por metro de ancho de ola, en varios puntos del planeta.



Fuente. www.eduambiental.org

5.1 TOTALIZADORES O TERMINADORES

Están situados perpendicularmente a la dirección del avance de la ola (paralelos al frente de onda), y pretenden captar la energía de una sola vez; son los más estudiados. Podemos considerar los siguientes:

5.1.1 OWC Columna Oscilante



Fig 4. Instalación de columna oscilante de agua (OWC) (Fuente. www.eduambiental.org)

Las OWC consisten en una estructura hueca, parcialmente sumergida, que está abierta al mar por su parte inferior (figura 22.23). Esta estructura encierra una columna de aire en la parte superior de una columna de agua. Cuando las olas actúan sobre el aparato hacen que la columna de agua suba y baje, con lo cual la columna de aire se comprime y descomprime alternativamente. Es decir, se aprovecha el principio de la cavidad resonante. Si este aire atrapado se le permite fluir hacia y desde la atmósfera a través de los alabes de una turbina, puede extraerse energía mecánica del sistema y usarse

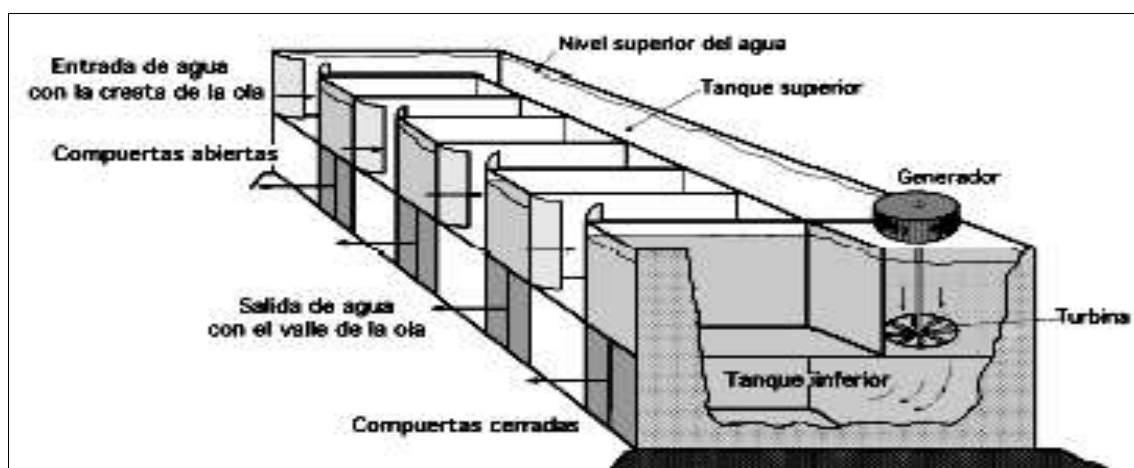
para generar electricidad mediante un generador eléctrico mecánicamente acoplado a la turbina.



Fig 5. Instalación real Islay-Escocia, 2001 (OWC) (Fuente. www.eduambiental.org)

5.1.2 OWC RECTIFICADOR RUSSEL

Es un totalizador pasivo; consiste en una gran estructura tipo depósito construida sobre el lecho marino, que consta de dos cuerpos o tanques, uno superior y otro inferior, separados del mar por unas compuertas.



(Fig. 6 Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

Las compuertas superiores se abren con la cresta de la ola, penetrando grandes cantidades de agua en el tanque superior, mientras que las compuertas inferiores permiten la salida del agua del tanque inferior con el valle de la ola; ambos tanques están comunicados por una turbina la cual funciona al hacerse el trasvase de agua del tanque superior al inferior, de acuerdo con el movimiento de las olas. Igual que en la imagen anterior.

5.1.3 OWCs Péndulo

El péndulo es un dispositivo apto para ser instalado en un rompeolas. consta de una caja rectangular de concreto, que en uno de sus extremos se encuentra abierta al mar. Una aleta péndulo está articulada sobre esta abertura, de modo que la acción de las olas provoca un vaivén, estas oscilaciones se transmiten y absorben por un dispositivo oleohidráulico. Mas específicamente Consiste en una cámara fabricada de hormigón de forma que el frente hacia el mar está provisto de una placa rígida de acero, articulada en su parte superior, que puede oscilar ligeramente. En el interior de la cámara, de una profundidad del orden de un cuarto de longitud de ola, se produce una ondulación estacionaria que mueve la placa, cuyas oscilaciones se transmiten y absorben por un dispositivo oleohidraulico.

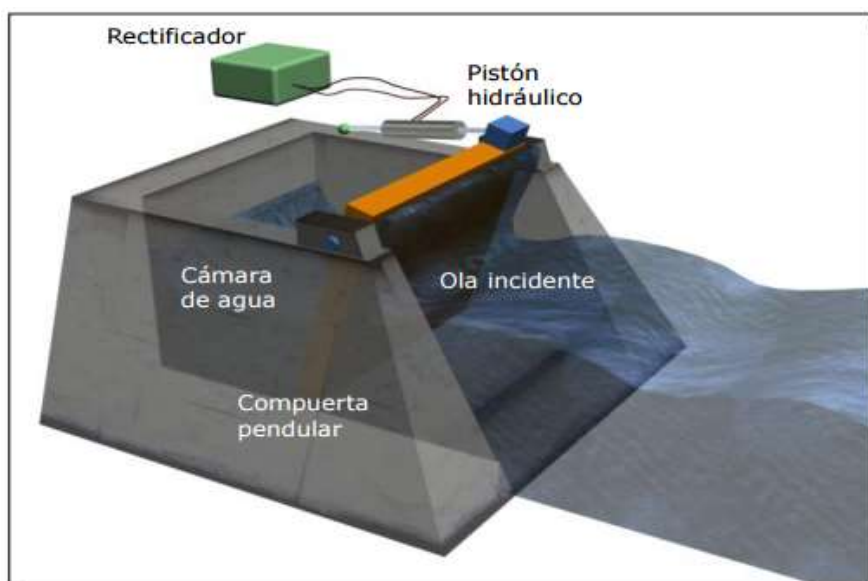
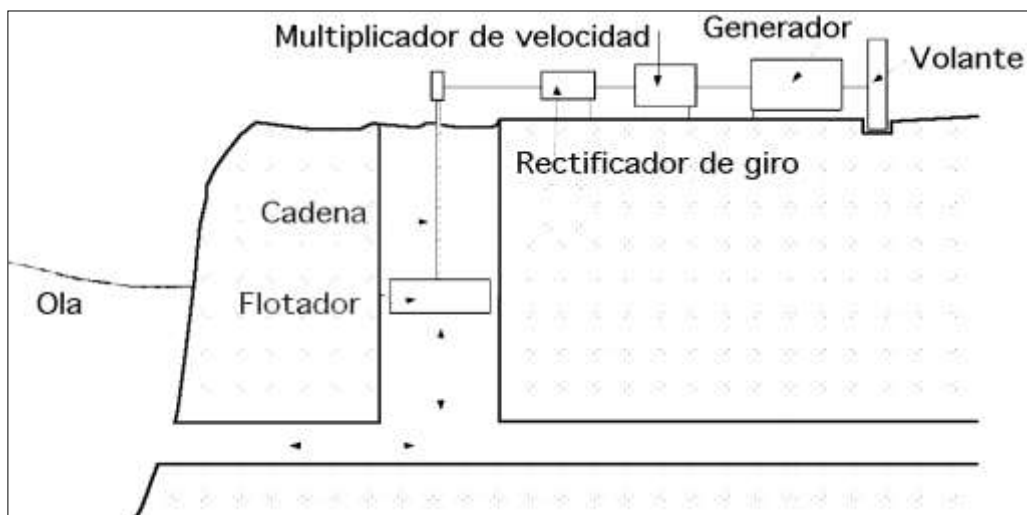


Fig 7. Dispositivo Pendulor (Fuente. www.eduambiental.org)

5.1.4 OWC DE UNIÓN FENOSA

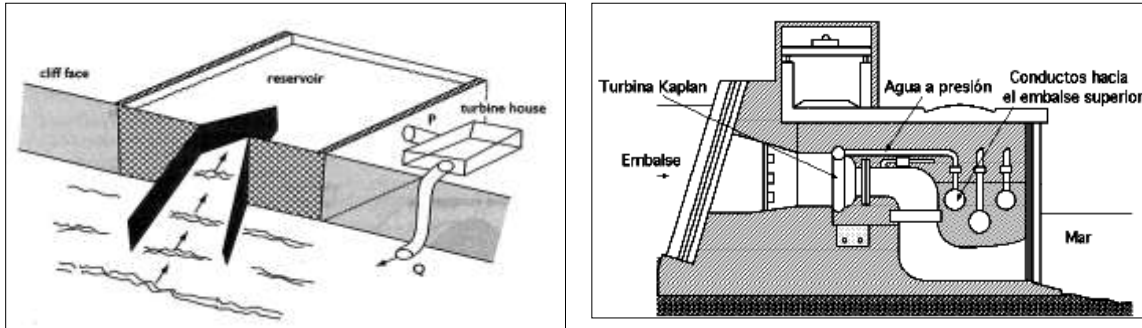
Es un sistema de conversión primaria y secundaria por medios mecánicos, desarrollado e instalado por la empresa Unión Fenosa en la Central Térmica de Sabón (La Coruña), aprovechando la instalación hidráulica del sistema de refrigeración de uno de los condensadores de la central térmica. El OWC ubicado en el pozo existente, comunica con el mar, y consta de un flotador de 6 m de diámetro, conectado mediante una cadena a un dispositivo mecánico que transforma el movimiento ascendente descendente del flotador en un giro, mediante un rectificador acoplado a un multiplicador de velocidad y a un generador eléctrico, con volante de inercia;



(Fig. 8 Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

5.1.5 OWC TAPCHAN (NORUEGA)

Consiste en un colector formado por un canal horizontal convergente que concentra el oleaje y eleva el agua del mar a un embalse situado a unos metros por encima del nivel mar, convirtiendo la mayor parte de la energía de las olas en energía potencial, para su posterior restitución al mar a través de una turbina de hélice convencional. El prototipo de 400 kW con un desnivel de 4 m por encima del nivel medio del mar; está instalado en Toftestallen, Noruega, funcionando satisfactoriamente.



(Fig. 9 Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

5.2 SISTEMA DE BOMBEO

5.2.1 OWC MECÁNICO

Los OWCs mecánicos aprovechan la oscilación del agua en la cámara mediante un flotador, que puede accionar agua (bomba) o aire (compresor). El flotador puede accionar también un motor hidráulico, o un turboalternador:

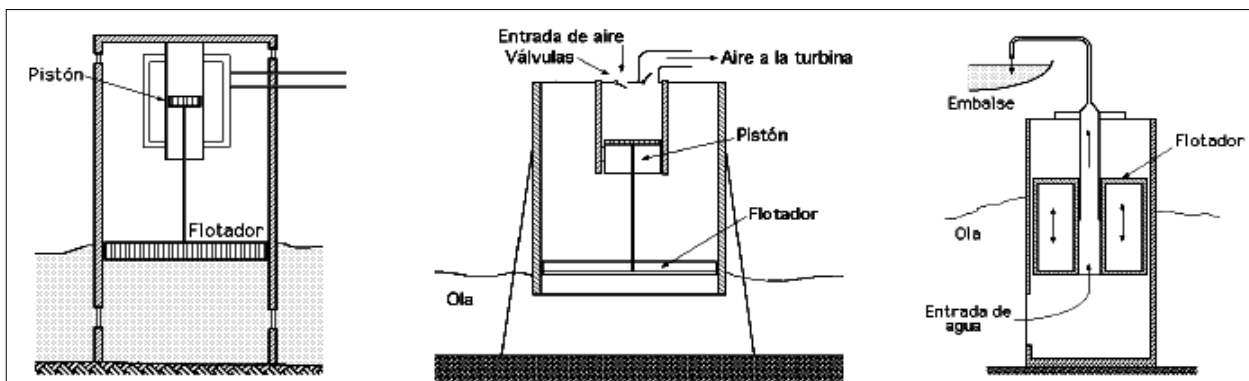


Fig 10 OWC Mecánico (Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

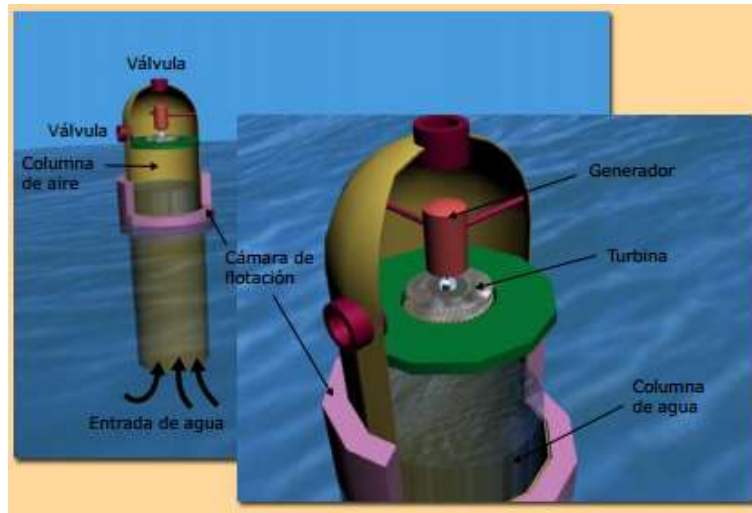
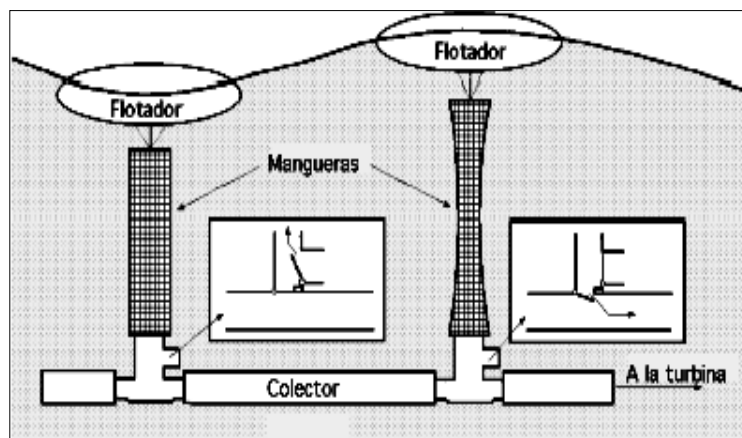


Fig 11 OWC Mecánico (Fuente. www.eduambiental.org)

5.2.2 OWC BOMBA DE MANGUERA

La bomba de manguera, desarrollada en Suecia en los años 80, aprovecha las características elásticas de una manguera de elastómeros.

Cuando la manguera, provista de válvulas rectificadoras, se estira, su volumen interior disminuye; si se ata uno de sus extremos al fondo del mar, y el otro a un cuerpo flotante, se dispone de una bomba accionada por el desplazamiento vertical del flotador.



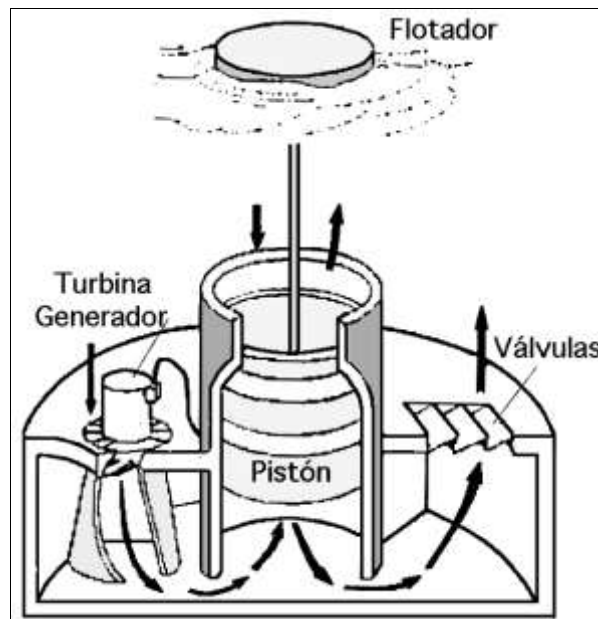
(Fig 12 Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

El diseño actual consiste en varias unidades conectadas en serie, que suministran agua de mar a una turbina Pelton, a presiones entre 1 MPa y 4 MPa; el dispositivo suministra electricidad a boyas de navegación. Recientemente se ha ensayado un sistema de 110 kW que incorpora un tanque para almacenamiento de agua, con el fin de su posterior utilización en una turbina hidráulica.

5.2.3 OWC BOMBA DE PISTÓN

Este sistema consta de un cilindro con pistón en una estructura de hormigón ubicada en el fondo del mar, un flotador y un cable que une el pistón y el flotador. El pistón asciende por la acción del oleaje y desciende por gravedad, y está provisto de válvulas rectificadoras a la entrada del agua generando un flujo de agua que se aprovecha en una turbina hidráulica. Se construyó un prototipo a tres km de la costa de Hanstholm, Dinamarca, que fue destruido por un temporal; tenía una base cilíndrica de hormigón armado de 9 m de diámetro, y estaba anclado a 30 m de profundidad.

El cuerpo flotante, también de hormigón, de 6 m de diámetro, estaba conectado con el cilindro, en el fondo, a través de un cable. La electricidad, que se generaba en una turbina sumergida y un generador estándar de 45 kW, se enviaba a la costa a través de un cable. Una central ficticia de bombas de pistón, constituida por 2640 flotadores de 10 m de diámetro, 100 Tm de peso, con un pistón de 55 Tm, y una estructura de hormigón en el fondo de 3000 Tm, generaría 350 MW.



(Fig 13 Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

Para la desalación del agua del mar existen prototipos con bombas de pistones, en fase de experimentación. El de Delbuoy consta de seis bombas de 2,1 m de diámetro, que producen 5,7 m³ de agua dulce por día, con olas de 1 m y período entre 3 y 6 segundos.

En otros sistemas, la bomba de pistón estaba montada sobre la boya; tanto la boya como la plataforma de anclaje, están construidas con neumáticos usados de diámetro = 2,5 m.

5.3 SISTEMAS HIDRÁULICOS

5.3.1 OWC DUCK o PATO SALTER

Dentro de los sistema hidráulico destacar el Pato Salter; el cual es muy utilizado por las industrias del sector energético. Por esta razón he entendido que debería hacer más incapié en estos sistemas. Situados perpendicularmente a la dirección de la ola incidente, es decir, paralelo al frente de ola para captar la energía de una sola vez (Rectificador Russel, Pato Salter, Balsa Cockerell).

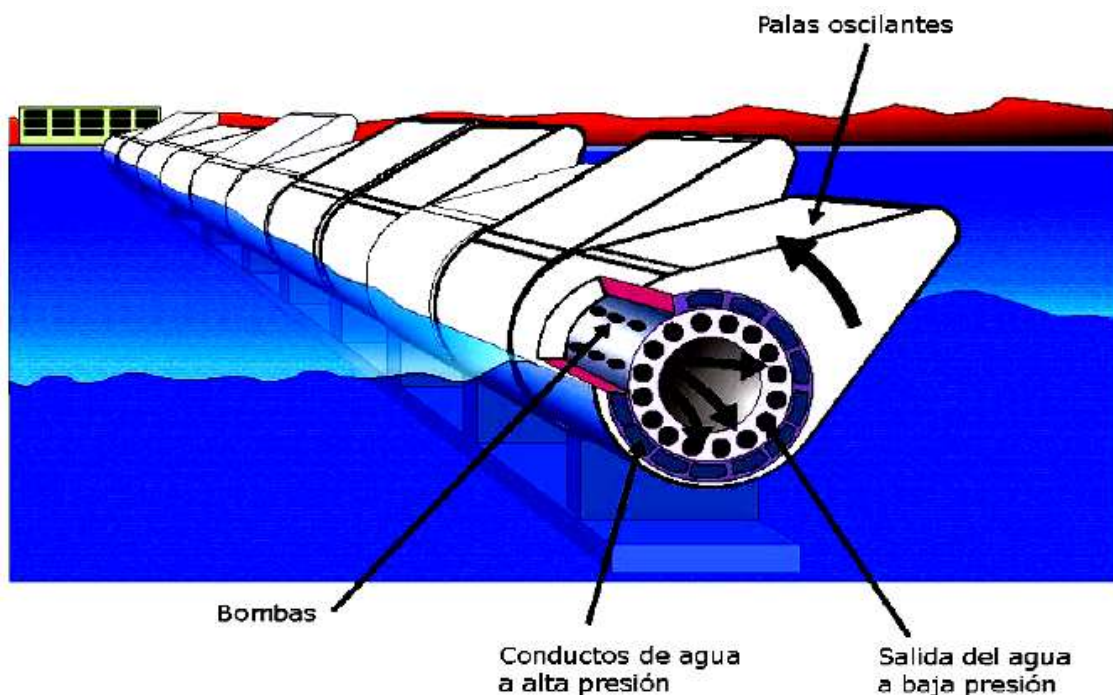
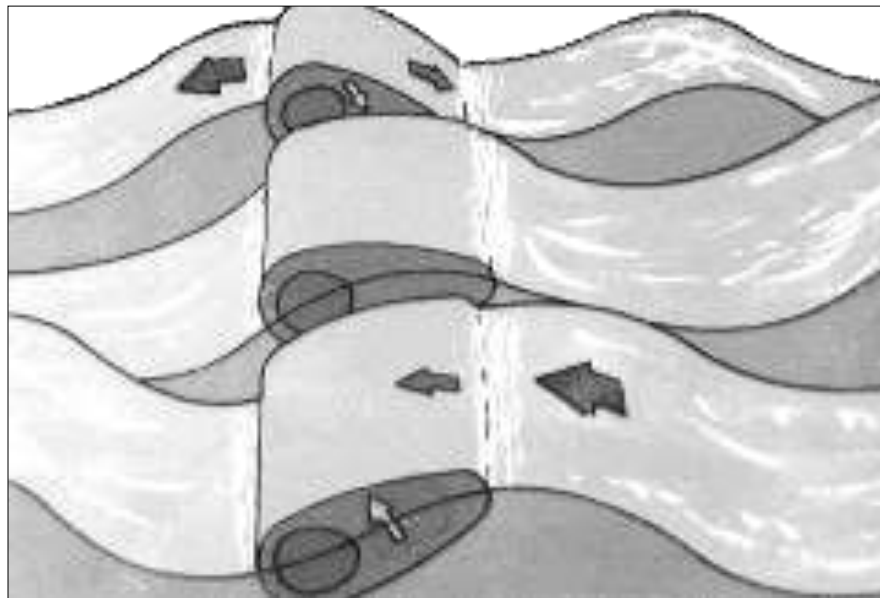


Fig 14. Dispositivo Pendulor (Fuente. www.eduambiental.org)

Se puede considerar como un totalizador activo para el aprovechamiento de las olas a gran escala en altamar; desarrollado en la década de los 70, en Edimburgo, consiste en un flotador alargado cuya sección más estrecha se enfrenta a la ola con el fin de absorber su movimiento lo mejor posible, mientras que su parte posterior es cilíndrica, para evitar pérdidas de energía por rozamiento. Los flotadores giran bajo la acción de

las olas, lentamente, alrededor de un eje cuyo movimiento de rotación acciona una bomba de aceite que se encarga de mover una turbina.

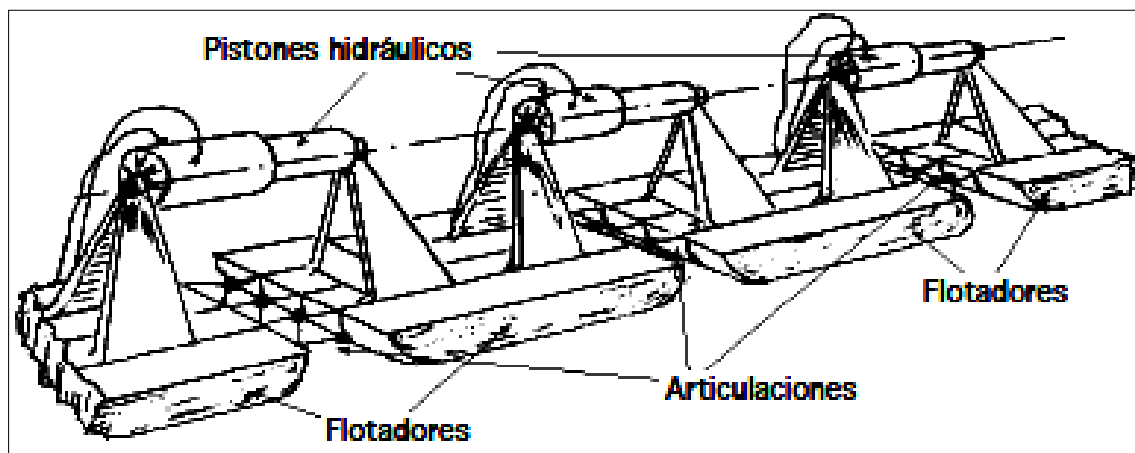


(Fig 15. Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

El sistema consiste en péndulos invertidos, articulados en su parte inferior y montados sobre un eje que permite movimientos en dirección del oleaje, en la que una parte actúa como flotador de balanceo manteniendo una cierta rigidez, es decir, no se ve influenciada por las olas permaneciendo fija, mientras que la parte activa consiste en unos flotadores en forma de leva que se mueven accionados por el ritmo de las olas, creándose en los mismos un movimiento oscilatorio, que acciona unos sistemas oleohidráulicos (movimiento alternativo) conectados a una turbina, originando el giro del eje de la misma y, por lo tanto, la generación de energía.

5.3.2 OWC RAFT o Balsa COCKERELL

Los Rafts son gigantescas plataformas flotantes, articuladas entre sí, (dos o más), unidas mediante mecanismos hidráulicos (cilindro-émbolo), que reciben el impacto de las crestas de las olas, de forma que los movimientos de giro parcial de los flotadores accionados por ellas, se aprovechan para mover un fluido mediante el sistema (cilindro-émbolo), colocado en las articulaciones que unen los flotadores (movimiento alternativo, accionando el fluido a presión una turbina).

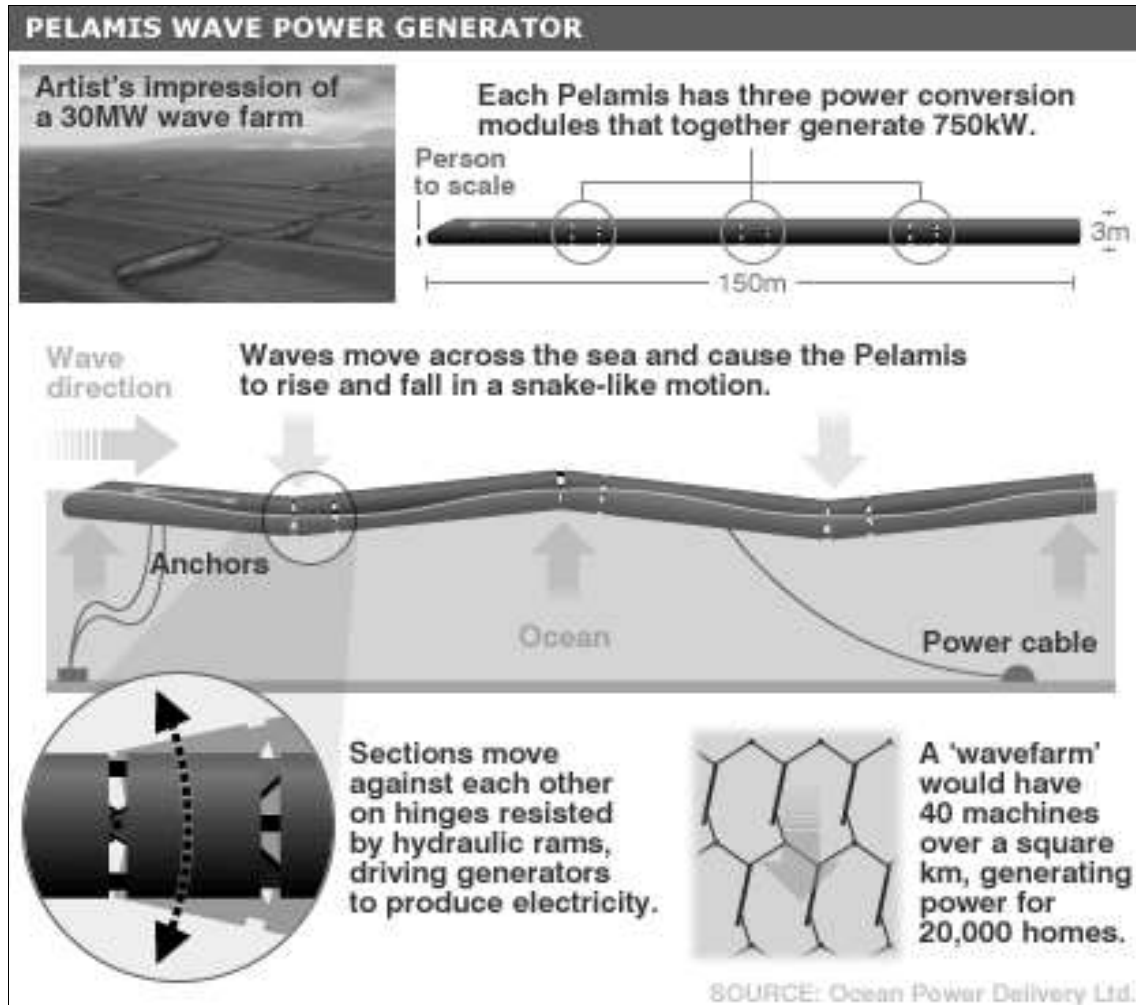


(Fig 16. Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

5.3.3 OWC PELAMIS

Es una estructura semisumergida articulada, compuesta por módulos cilíndricos unidos de tal forma que el movimiento inducido por la ola en estas uniones se transmite a unos émbolos hidráulicos que bombean aceite a alta presión a unos sistemas electrohidráulicos que generan electricidad. Se pueden conectar juntos varios dispositivos estando unidos a la orilla y al fondo del mar mediante cables. La máquina se mantiene en posición mediante un sistema de amarre que combina flotadores y lastre, de forma que la cabeza haga frente a las olas.

El prototipo genera 750 kW, tiene 120 m de longitud y 3,5 m de diámetro; consta de tres módulos de conversión de energía, cada uno de 250 kW. Cada módulo contiene un sistema electrohidráulico completo generador de energía.



(Fig 17. Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

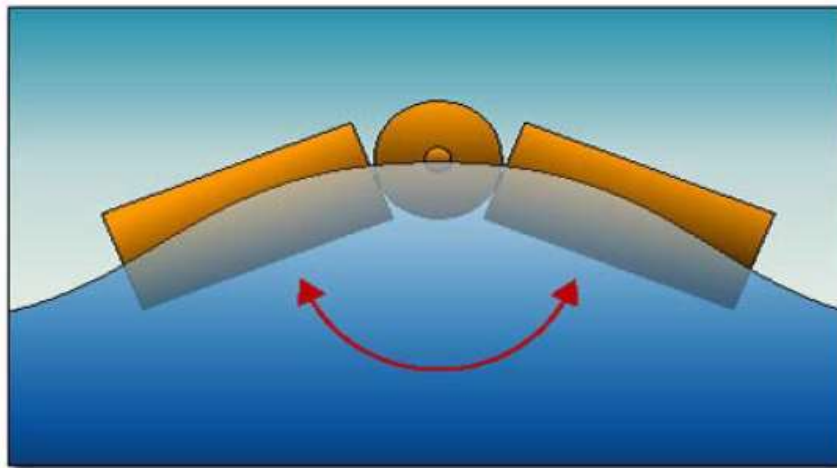
Se trata sin duda de la iniciativa más seria llevada a cabo para obtener energía eléctrica de esta importante fuente de energía renovable que son las olas.

La primera central de aprovechamiento de la energía de las olas en el mundo se está llevando a cabo en Aguçadoura (norte de Portugal) a 8 Kilómetros de la costa. La nueva central tendrá una potencia de 2.25 MW y será capaz de suministrar electricidad a hasta 1500 familias.

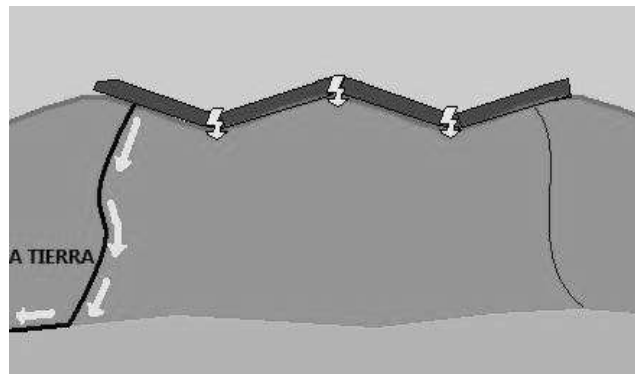
La central ha sido impulsada por la empresa portuguesa Enersis y proyectada y diseñada por la empresa escocesa Ocean Power Delivery líder mundial en esta tecnología.

La central esta formada por una serie de grandes tubos de acero de 3.5 cm de diámetro y 150 metros de largo denominados "Pelamis". Estos componentes quedan semi sumergidos en el mar y son los encargados de transformar el movimiento de las olas en energía eléctrica.

Los pelamis están formados por 4 cuerpos articulados por 3 bisagras en las cuales están alojadas unas bombas hidráulicas. Cuando una ola pasa por el pelamis el vaivén al que queda sometido provoca que las bisagras se doblen y que las bombas hidráulicas entren en acción enviando un fluido a alta presión hasta el generador hidráulico que produce energía eléctrica. Cada pelamis es capaz de generar una energía de 750 kw que se hace llegar a tierra a través de unos cables submarinos.



(Fig 18. Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)



Esquema de funcionamiento de un Pelamis.

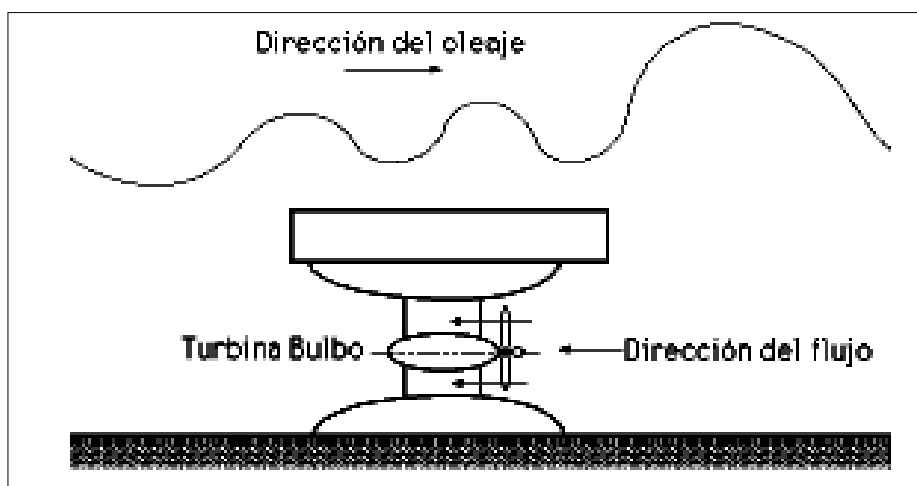
Esta central pionera supone un prototipo de prueba, puesto que ya están diseñadas otras de mayor envergadura que usando esta misma tecnología tendrán una capacidad de producción de 30 MW suficientes para proporcionar energía eléctrica para hasta aproximadamente 20.000 hogares. Estas grandes centrales de las olas proyectan usar una superficie de mar de 2100 x 600 metros.



Algunos expertos en energías renovables estiman que en un país como Portugal estos sistemas son capaces de producir hasta tres veces más energía que una central eólica con la misma inversión.

5.3.4 OWC ROMPEOLAS SUMERGIDO

Se han propuesto rompeolas sumergidos, Fig 19, para calmar el mar, (que evitan impactos por el oleaje y no dificultan el tráfico marino), a base de placas horizontales ancladas en el fondo, que han demostrado su efectividad para absorber parcialmente el oleaje; en ensayos de laboratorio se ha encontrado que hasta el 35% de la energía incidente del oleaje circula por debajo de la placa, en sentido opuesto al oleaje, flujo que se podría aprovechar en una turbina hidráulica.



(Fig 19. Fuente: <http://ingenieroambiental.com/3008/4OLASCAP3.pdf>)

5.3.5 SISTEMA ALSTORM

En el año 2012, una multinacional francesa, Alstom, da a conocer conjuntamente a la empresa escocesa SSE Renewables, la central undimotriz con mayor capacidad generadora que se haya instalado en el planeta, *“para el desarrollo del mayor parque de energía undimotriz del mundo”*¹.

Por medio de comunicado, ambas empresas trabajan juntas una vez obtenidos los permisos correspondientes, para comenzar el emplazamiento de convertidores de

¹ Frase en entrevista al periódico online “Energías renovables, el periodismo de las energías limpias” a fecha 19 enero de 2012, por Antonio Barrero F. <http://www.energias-renovables.com/articulo/alstom-proyecta-el-mayor-parque-de-energia>

energía undimotriz AWS-III (Sistema similar al de lo *OWC Mecanicos "5.1.1"*, sino planchas rectangulares), desarrollados por la empresa *AWS Ocean Energy Ltd*. Dicha instalación tendrá la capacidad de obtención de 200MW. Y se localizará en la isla de Mainland, perteneciente al archipiélago de las Orcadas, al norte de Escocia.



Fotografía de prototipo escala 1:9 realizando ensayo en las aguas del Lago Ness. 2010 (Fuente: <http://www.energias-renovables.com/articulo/alstom-proyecta-el-mayor-parque-de-energia.>)

Se tenía previsto que en 2014 se realizara el primer prototipo a escala real en el Centro Europeo de Energía Marina, para implantarlo en la localización exacta. Prototipo a escala que pasó correctamente los diferentes tests, por lo que se prevee que a finales de 2016 estén en funcionamiento.

6. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Los OWCs en el litoral o cerca de él pueden tener impactos considerables sobre el medio ambiente. La absorción y modificación del oleaje puede variar la morfología de la costa y de la vida marina. Sus efectos positivos pueden ser la disminución de la erosión de playas, o la creación de zonas tranquilas para recreo o cultivos pesqueros, siendo de esperar que la variación de los procesos en el litoral afecten a las zonas de reproducción de la vida marina.

Otros impactos, de tipo visual y sonoro, hay que tenerlos en cuenta, especialmente en zonas turísticas, estando asociado el problema del ruido a OWCs neumáticos que emplean turbinas de aire a alta velocidad tipo Wells. En zonas habitadas habría que emplear silenciadores, que reducen la eficiencia.

- Medioambiente:

El aprovechamiento en altamar, lejos de la costa, no implica ningún problema estético; habría que estudiar cómo afecta al oleaje en la vida marina, por cuanto éste asegura la circulación del oxígeno y de nutrientes en las aguas superficiales. El problema depende del sistema que se emplee. Los Ducks pueden absorber casi la totalidad del oleaje, en una banda muy ancha de frecuencias, de forma que colocados en largas cadenas, como terminadores, pueden dejar el mar en calma. Menos efectos tienen los resonadores que absorben las olas de frecuencias determinadas, dejando pasar olas con otras frecuencias. Desde el punto de vista ecológico, también serían preferibles absorbedores puntuales, que no modifican demasiado el oleaje a sotavento.

Cuando el medio de transmisión de la energía es el aceite, como en el caso de los Ducks, las pérdidas de éste pueden perjudicar el medio ambiente. El anclaje de los OWCs en el fondo marino, sobre todo en el caso de los terminadores, puede actuar como una barrera para los flujos de sedimentos, que puede resultar en una alteración del fondo marino. También hay que tener en cuenta la posible presencia de grandes



animales, que pueden dañar a las instalaciones, o ser dañados por éstas. Resumiendo, los efectos sobre el medio ambiente dependerán estrechamente del tipo de dispositivo utilizado, pudiéndose citar en principio algunos aspectos que deberían ser tenidos en cuenta en un proyecto de esta naturaleza:

- El clima marítimo se altera (sedimentos; ecosistema)
- Emisión de ruido; intrusión visual
- Efectos sobre la reproducción de algunas especies. y sobre la sedimentación en costas y playas
- Riesgos para la navegación
- Posibles beneficios: amortiguamiento del oleaje en zonas portuarios o erosionables

- Propulsión de barcos

Otro posible uso de la energía del oleaje, sería la propulsión de barcos. El movimiento relativo del barco con respecto a la superficie del agua, se puede aprovechar mediante medios mecánicos o neumáticos, colocando estabilizadores sumergidos.



CONCLUSIONES

A modo de conclusiones del trabajo debo mencionar que antes de nada, debemos tener en cuenta que el uso de la energía undimotriz como idea es de antaño conocido, como hemos podido observar.

Debemos tener en cuenta que gracias a la “Teoría de Olas”, somos capaces de predefinir el comportamiento del oleaje en un periodo concreto de tiempo, al menos, dentro de un amplio margen de error debido a las causas naturales. Todo esto nos ha permitido la creación de plantas undimotrices de diversos tipos y funcionamientos dispares pero siempre apoyándose en los mismos principios universales y físicos.

Así sabemos que los mejores puntos para la colocación de este tipo de plantas se encuentran en el Mar del Norte. Donde podemos encontrar la mayor planta undimotriz del planeta, dada por la empresa Alstorm que utiliza un sistema muy parecido al de OWC Mecánico, pero de diseño propio, con una capacidad de 200MW.

A su vez, podemos ver como el sistema OWC por pistón sería de los de mayor generación eléctrica con 350MW, pero viendo los multiples problemas mecánicos y relación coste-ganancia de estos sistemas, las empresas están optando por sistemas tipo Pelamis de una mayor seguridad, y rendimiento continuo.

Sabemos también que el océano es una fuente inagotable de energía, la cual está siendo explotada con suma lentitud niveles mundiales, tanto que solo países como Japón, EEUU y los miembros de la UE tienen grandes inversiones en este sector que prácticamente, queda olvidado y a la sombra de la energía solar y eólica. Y que aún está por explotar al máximo.



BIBLIOGRAFÍA

Introducción:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec_11.html

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/02/01/183097.php

http://www.wavedragon.net/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=5

<http://www.pelamiswave.com/media/pelamisbrochure.pdf>

Distribución media anual de la energía de las olas en mas abierto:

http://manuelricosecades.blogspot.com.es/2011_03_01_archive.html

Sistema Duck:

<http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/salters-duck1.htm>

OWC Péndulo:

http://www.acera.cl/?page_id=130

OWC Pelamis:

http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/working_lunch/7633597.stm

<http://www.sitiosolar.com/la-nueva-central-de-captacion-de-energia-de-las-olas-en-portugal-y-otros-sistemas-de-obtencion-de-energia-en-el-mar/>

<http://conversiondeenergias.blogspot.com.es/p/energias-renovables.html>

<http://www.renovablesverdes.com/el-poder-de-las-olas-para-generar-energia/>

Medioambiente:

http://www.allpe.com/seccion_detalle.php?idseccion=272

<http://www.nationalgeographic.es/noticias/energia/energa-sacada-de-las-olas>

General:

<http://www.slideshare.net/hcristhian/energa-maremotriz-olas-maremotermica-y-minihidro>

<http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/11/energia-de-los-oceanos.pdf>

<http://escritura.proyectolatin.org/introduccion-al-estudio-de-fuentes-renovables-de-energia/71-mareomotriz/>

Central undimotriz Escocia:

<http://www.energias-renovables.com/articulo/alstom-proyecta-el-mayor-parque-de-energia>

<http://awsocan.com/portfolio-type/loch-ness-proof-of-concept-tests/>

Demás sistemas e información:

Pdf. Encontrado en la web sobre: "Proyecciones" Publicación de la Facultad Regional Buenos Aires, Rector

Pdf. Encontrado en la web sobre: "Las energías renovables marinas" Autor: Primitivo B. González López; Institución: Grupo MADES (Medio ambiente y desarrollo sostenible). Colegio Oficial de Ingenieros Navales y Oceánicos

Pdf. Encontrado en la web sobre: "ENERGÍA DE LAS OLAS", Autor: Pedro Fernández Díez pfernandezdiez.es