

IMPULSORES DEL CAMBIO EN OCÉANOS Y COSTAS

MÓDULO 6: EL DESARROLLO TECNOLÓGICO OCEANOGRÁFICO

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

Los océanos son enormes reservorios de energía, la cual almacena a partir de diferentes fuentes y modalidades de transferencia. Podemos destacar dos de ellas, las cuales están siendo objeto de intensos estudios y desarrollos tecnológicos con aplicación efectiva, que son la energía undimotriz o energía derivada del oleaje (wave energy), y la energía derivada de las corrientes de mareas astronómicas (tidal energy).

La naturaleza de la generación de estas energías tiene que ver con fenómenos de la naturaleza con ciclos de acción permanente, por lo que las posicionan en lugares privilegiados entre las energías renovables.

Sin embargo, la propia acción de la naturaleza es el principal factor que ha retrasado su impulso e implantación en forma generalizada.

1. ENERGÍA UNDIMOTRIZ

Se denomina energía undimotriz a aquella energía acumulada por la masa oceánica a través del mecanismo de oleaje.

1.1. INTRODUCCIÓN

La energía de las olas es una forma indirecta de la energía solar. Las diferencias de temperatura en la Tierra generan el viento que al soplar sobre los cuerpos de agua dan lugar al oleaje.

Una vez desarrolladas, las olas pueden propagarse largas distancias en aguas profundas disipando muy poca energía. Esta cualidad es la que hace que el recurso undimotriz se presente de forma más concentrada que otras fuentes de energía como la eólica o la solar.

A nivel global, se estima un potencial aprovechable con las tecnologías actuales de entre 140 y 750 TWh/año (ETN WG, 2003). A largo plazo, es esperable que el desarrollo tecnológico permita aumentar el potencial aprovechable 2 o 3 veces más (Thorpe, 1999) lo que equivaldría al 10 % del consumo energético mundial.

La idea de convertir la energía de las olas en energía utilizable es antigua. A continuación se muestra una línea de tiempo elaborada por el Dr. Luis Teixeira en el marco de la presentación de los resultados del proyecto URUWAVE (ANII, 2013)

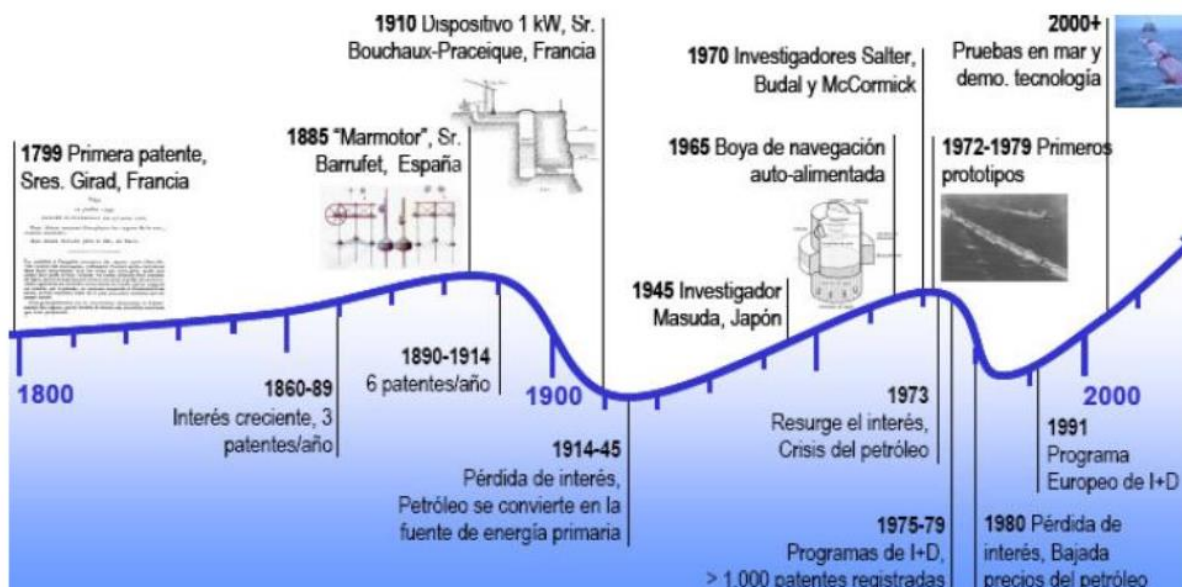


Fig. 1 - Línea de tiempo en el desarrollo del aprovechamiento de la energía undimotriz

A partir del incremento de los precios del petróleo en 1973 comenzó un proceso intensivo de investigación sobre la posibilidad de aprovechamiento de la energía de las olas.

Desde un inicio ha resultado claro que la obtención de energía del mar es una tarea difícil. En los últimos veinticinco o treinta años la obtención de energía de las olas ha pasado cíclicamente por etapas de entusiasmo, decepción y reconsideración. Sin embargo, los persistentes esfuerzos en I + D y la experiencia acumulada durante los últimos años han ido mejorando constantemente el rendimiento de la tecnología de conversión de la energía de las olas

En la actualidad la obtención de energía de las olas es objeto de creciente atención y numerosos países realizan esfuerzos en investigación y desarrollo para aprovechar este recurso. La estimación del potencial de generación por energía undimotriz en el mundo se ubica en los 2000 TWh/año, es decir del orden del 10% del consumo eléctrico mundial.

Diferentes esquemas tecnológicos han demostrado ser aplicables en gran escala bajo condiciones de operación exigentes y ya hay un número de plantas comerciales en construcción y algunas en operación en Europa, Asia, Australia y otros lugares.

El Uruguay carece de recursos energéticos fósiles y ha maximizado el uso de sus recursos macro-hidráulicos; resulta imperioso explotar las energías renovables autóctonas. Aprovechamientos micro-hidráulicos, energía eólica, biomasa y biocombustibles, son opciones maduras tecnológicamente y, sin duda, las que primero deben explotarse.

En el largo plazo sin embargo, todas las fuentes renovables deben ser consideradas y, de ser factible, explotadas en forma sostenible. En este sentido resulta evidente que el país debe explorar la posibilidad de aprovechar la energía de las olas y eventualmente, avanzar en el desarrollo de una tecnología que todavía está en proceso de maduración a nivel internacional.

1.2. LA ENERGÍA DE LAS OLAS

De acuerdo con Thorpe 1999, la energía de las olas puede ser considerada como una forma concentrada de energía proveniente de la energía solar. El viento es generado por el diferencial de calor de la tierra. Al pasar sobre las superficies de los cuerpos de agua, el viento transfiere parte de su energía para formar olas. El mecanismo preciso de esa transferencia es complejo y no está aun completamente entendido. Sin embargo hay tres procesos principales:

- Inicialmente el aire que fluye sobre el mar ejerce una tensión tangencial en la superficie que determina la formación de las olas.
- El flujo turbulento del aire cercano a la superficie del agua crea una tensión tangencial rápidamente variable así como una fluctuación de la presión, cuando esas fluctuaciones están en fase con las olas, éstas se desarrollan.
- Finalmente, cuando las olas han alcanzado un cierto tamaño, el viento puede ejercer una fuerza en la cara de sotavento de la ola provocando su crecimiento adicional. Este proceso se maximiza cuando las celeridades de las olas y el viento son iguales.

Se tiene entonces que el nivel de potencia por metro de cresta de ola puede superar en ciertas circunstancias los 1000 kW/m, pudiéndose esperar en latitudes semejantes a las del mar uruguayo valores medios anuales entre 20 y 50 kW/m.

En condiciones reales el mar contiene un sistema de olas de diferente altura, período y dirección, que puede ser caracterizado en términos estadísticos. Un estado de mar es una situación que puede considerarse estable tanto desde el punto de vista energético como estadístico, pudiendo entonces ser caracterizado por ciertos parámetros relacionados con la altura y el período de las olas que en él se producen. El análisis estadístico de largo plazo de la variación de los estados de mar permite caracterizar el régimen medio del oleaje en una zona, denominado también clima de olas, así como el régimen extremal del oleaje.

Las características del oleaje en un estado de mar permiten estimar la potencia asociada a él y mediante el conocimiento del clima de olas, determinar la potencia media anual del oleaje en una zona.

Las olas son también un eficiente medio de transportar la energía. Las tormentas de viento crean un sistema complejo de olas irregulares, que en aguas profundas y una vez que la tormenta amaina, pueden viajar a miles de kilómetros en forma de olas regulares (swell o mar de fondo) que mantienen gran parte de la energía original. Al acercarse a la costa y encontrar aguas de menor profundidad esas olas sufren transformaciones (refracción, difracción, asomeramiento) disipando parte de su energía, hasta que finalmente rompen sobre la costa. De esta manera la determinación de la potencia disponible en distintas profundidades y aún en zonas inmediatas a la costa, es posible a partir del análisis de la propagación de las olas desde aguas profundas hacia la costa.

1.3. CÁLCULO PRELIMINAR DE LA POTENCIA DISPONIBLE EN LA COSTA OCEÁNICA URUGUAYA

El oleaje en la costa uruguaya no es totalmente conocido. Particularmente en la zona de costa oceánica no existe en la actualidad una descripción confiable del clima de olas. Los datos existentes provienen de diferentes fuentes (mediciones visuales de barcos en ruta, estimaciones satelitales, modelaciones o estimaciones a partir de datos de viento).

A los efectos de establecer un primer número aproximado de la potencia disponible en el mar territorial uruguayo, en particular en su zona oceánica, se emplearon para esta presentación datos provenientes del Met Office del Reino Unido, que corresponden al período 01/1957 – 03/2006 para la zona que se muestra en la *Fig. 2*. Se trata de una zona de 80 km por 80 km, cercana al puerto de La Paloma.



Fig. 2 - Zona de muestreo de los datos de oleaje usados en esta propuesta

En la siguiente figura se presenta una aproximación a la zona, mostrándose la región dentro de ella donde se tiene mayor cantidad de datos.

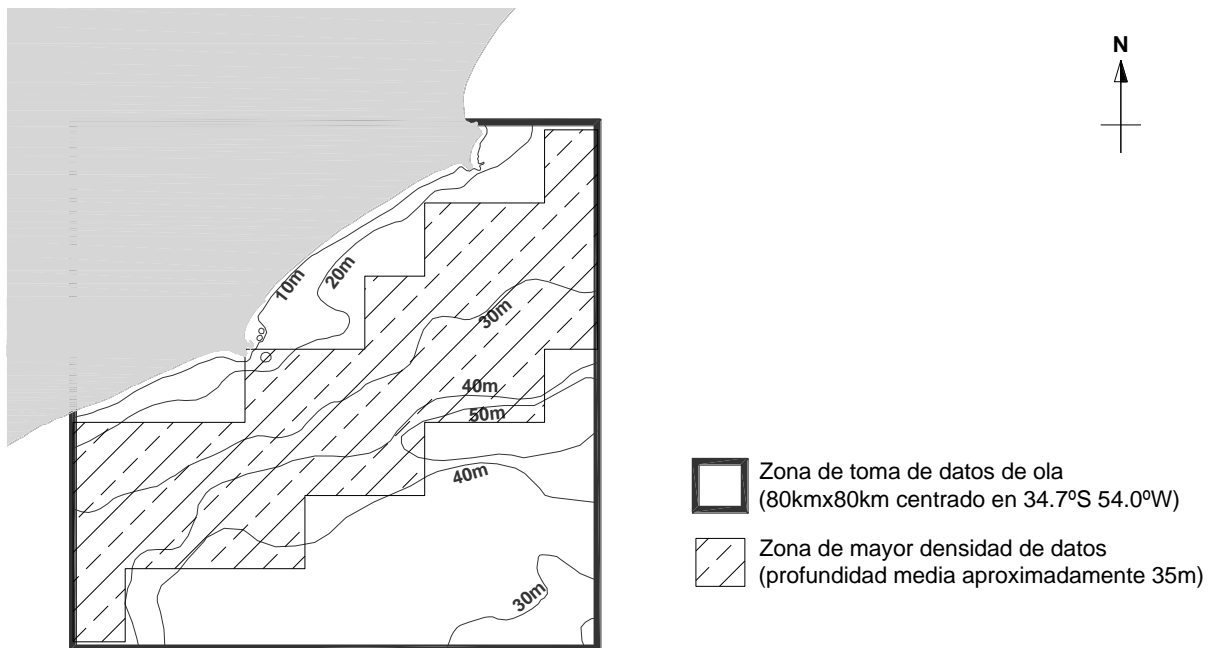


Fig. 3 - Aproximación a la zona de muestreo de los datos de oleaje a ser usados en este estudio

Los datos disponibles son datos visuales, proporcionados por el servicio meteorológico inglés, obtenidos por observadores desde barcos comerciales en la zona.

Cada dato visual contiene la siguiente información:

- Longitud y latitud en que se realiza la observación.
- Fecha y hora en que se realiza la observación.
- Presión atmosférica y temperatura del aire.
- Velocidad y dirección del viento.
- Altura, período y dirección del oleaje “swell”.
- Altura y período del oleaje “sea” (se asume que tiene la misma dirección que el viento).

Para la zona señalada en las figuras 1 y 2 se tienen 2763 datos de ola, de los cuales 134 corresponden a calma ($H=0m$), o sea 4.8% del tiempo se tiene calma. La figura 3 muestra la rosa de oleaje correspondiente a la zona señalada, en la cual se aprecia para cada dirección la frecuencia de ocurrencia de cada altura de ola.

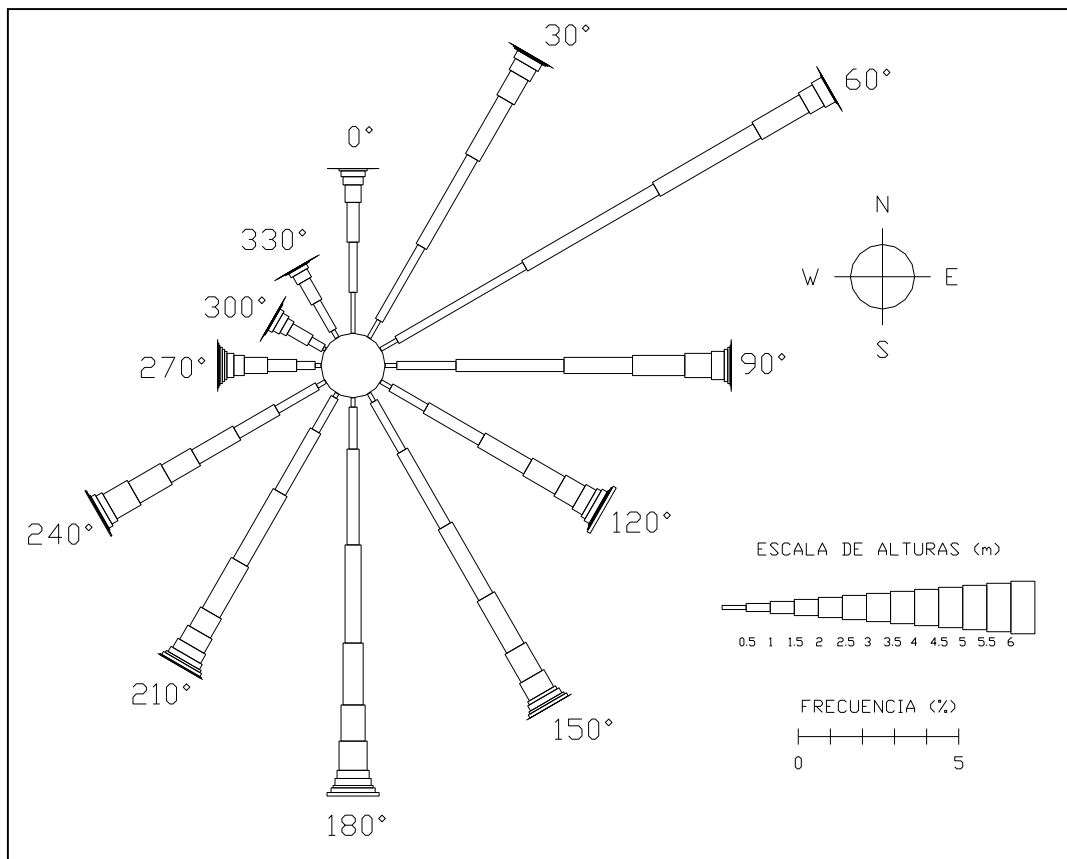


Fig. 4 - Rosa de olas de los datos tomados en la zona señalada

Según [DDR-SMC] algunos de los mayores inconvenientes para usar estos datos son los siguientes:

- La información recogida referente al oleaje se realiza a estima y depende del entrenamiento del observador.
- Dado que los barcos utilizan rutas predefinidas la información está desigualmente repartida en el espacio.
- Los datos no están uniformemente repartidos en el tiempo e incluso es posible que varias observaciones correspondan a un único estado de mar.
- Dado que los capitanes modifican la ruta de los barcos en función de las previsiones meteorológicas, evitando grandes temporales, esta información no es la más adecuada para realizar estadísticas extremales de oleaje.
- La separación visual entre sea y swell es prácticamente imposible.
- La subjetividad que implica estimar visualmente el estado de mar se manifiesta en la acumulación de datos en determinados umbrales de altura de ola y en la falta de precisión en la determinación de la altura de ola en el caso de temporales excepcionales.

Para el cálculo preliminar se admitió que los datos corresponden a aguas profundas y se calculó la potencia media anual considerando la potencia de cada par de altura y período de ola registrado y multiplicándola por la frecuencia de presentación de ese par de datos.

Con los datos referidos y el procedimiento descrito se obtuvo como una primera aproximación una potencia media de 28 kW/m.

Es de señalar que en la publicación *Wave Energy Utilization in Europe, Current Status and Perspectives*, Centre for Renewable Energy Sources (CRES), 2002, se muestra que en la zona correspondiente al frente oceánico uruguayo la potencia disponible está entre 20 y 30 kW por metro de ola, por lo cual se entiende que la alcanzada es una buena aproximación a los efectos del estudio.

Admitiendo ese valor estimativo de 28 kW/m y suponiendo un frente de 200 km se obtiene una potencia media anual disponible de 5.4 GW, lo que supone una energía bruta de 47 TWh por año. Téngase en cuenta que la potencia hidroeléctrica instalada en el país es 1.6 GW y el consumo de energía anual aproximadamente es de 8 TWh.

Las condiciones de la zona marítima del Uruguay deberán ser analizadas para avanzar en la determinación de la opción tecnológica más adecuada. Para ello se deberán tener en cuenta factores como: batimetría, distancia a la costa, características del oleaje, etc.

1.4. TECNOLOGÍA EXISTENTE PARA EL USO DEL RECURSO

Existen en la actualidad múltiples fuentes de información respecto a las tecnologías disponibles y en desarrollo para la utilización de las energías de las olas. Lo incluido en este trabajo corresponde en su mayor parte a un resumen de lo expresado al respecto en *Technology White Paper on Wave Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf*. Minerals Management Service. Renewable Energy and Alternate Use Program U.S. Department of the Interior. May 2006. Otras fuentes pueden ser consultadas en “[DirectoryOcean Wave Energy - PESWiki.mht](#)”

Existe una variedad de propuestas tecnológicas para capturar la energía de las olas, tanto mar afuera como en aguas poco profundas (menos de 20 m de profundidad) o bien en la propia costa. Sin embargo todas ellas están aún en su etapa de desarrollo inicial y es imposible predecir cual prevalecerá. Algunas de las tecnologías disponibles, que han sido objeto de desarrollo y son aplicables para su utilización mar afuera pueden clasificarse como: terminadores, atenuadores, absorbedores puntuales y aparatos de sobrepasamiento.

1.4.1. TERMINADORES (TERMINATORS)

Son aparatos que se ubican en forma perpendicular a la dirección de avance de la ola capturando su potencia. Usualmente se ubican en la costa o cerca de ellas, pero también existen versiones flotantes que pueden ser colocadas mar afuera.

Una de sus versiones es la Columna de Aguas Oscilante (OWC por sus siglas en inglés) que mediante un orificio por debajo de la superficie permite la entrada de agua a una cámara en la que hay aire atrapado por encima de ella. La acción de las olas provoca que la columna de agua capturada se mueva como un pistón forzando el aire a través de una abertura conectada a una turbina.

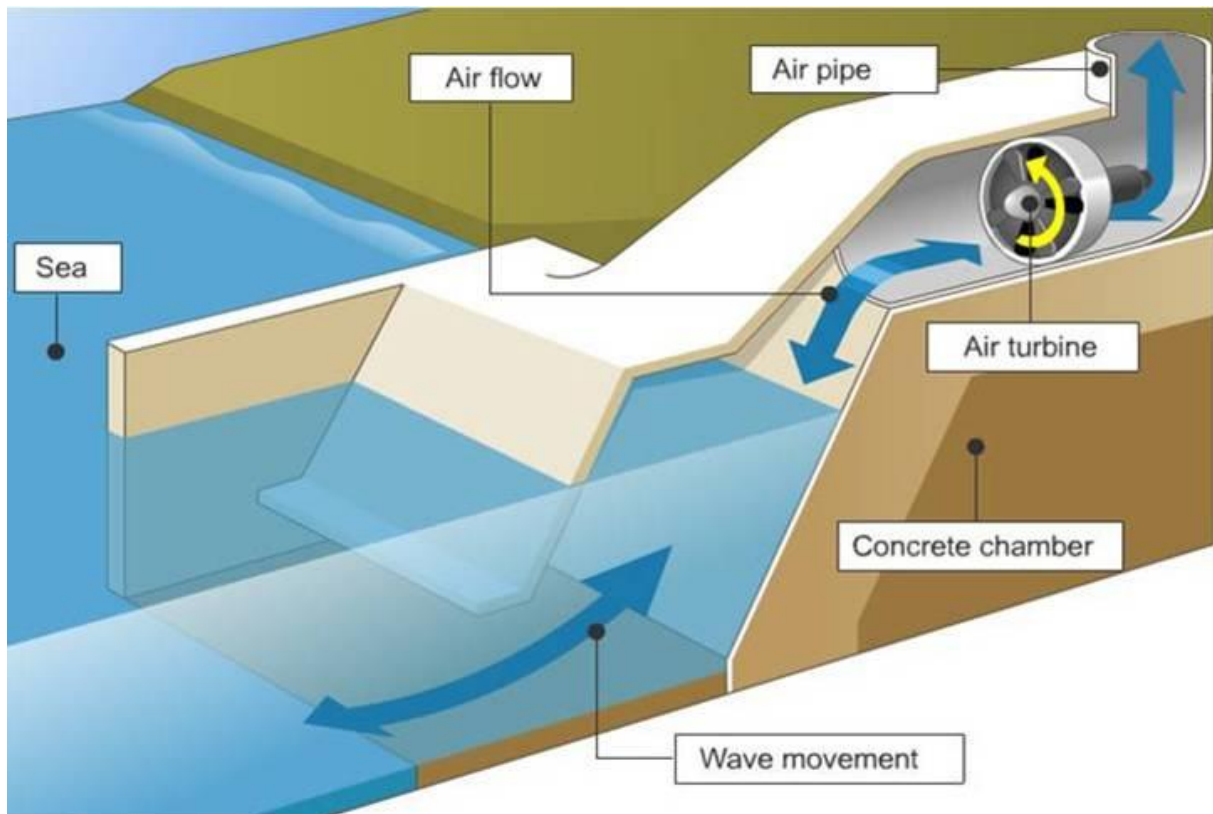


Fig. 5 - Principio de funcionamiento del sistema de columna de agua oscilante

Existe una versión de prototipo de 500 kW, desarrollada por la empresa Energetech que está siendo probada en Australia.

1.4.2. ATENUADORES (ATTENUATORS)

Son estructuras segmentadas de gran longitud, que se colocan en dirección paralela a la de la avance de la ola. El movimiento de las olas provoca que los segmentos se muevan uno respecto al otro. La articulación entre los segmentos está conectada a una bomba hidráulica u otro convertidor.

Un ejemplo de estos dispositivos es el llamado “Pelamis” desarrollado por la empresa Ocean Power Delivery, Ltd. En Portugal la empresa Pelamos Wave Power instaló tres elementos de 750 kW cada uno.

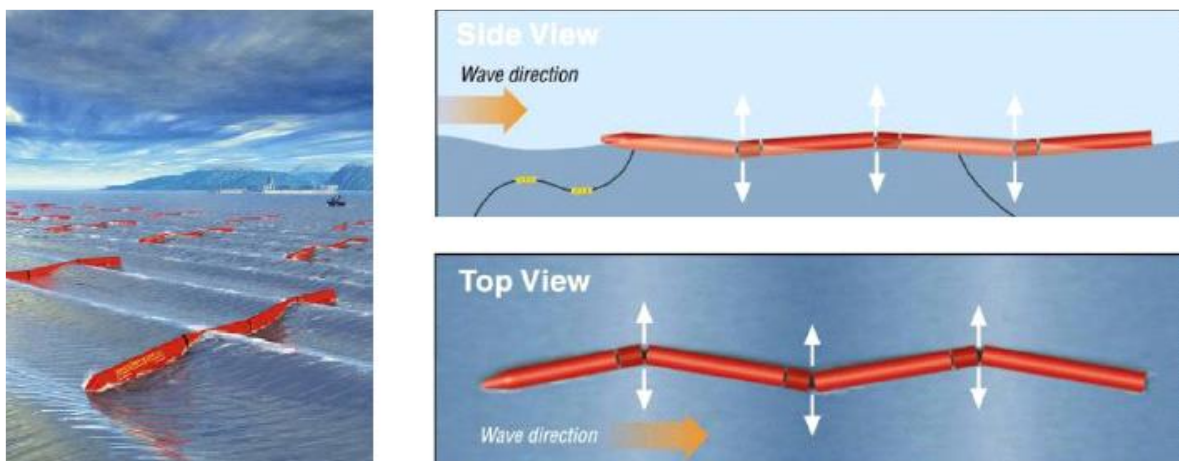


Fig. 6 - El Convertidor de energía de las olas Pelamis (Fuente Ocean Power Delivery Ltd. 2006)

Otro dispositivo que puede ser clasificado dentro de este tipo es el denominado Anaconda actualmente en desarrollo por la compañía británica Chekmate Seaenergy.

Dicho dispositivo consiste en un tubo de goma flexible y extensible, lleno de agua y cerrado en sus extremos, que se ancla al fondo por un extremo y que permanece justo por debajo de la superficie del agua. Cuando el tubo es movido por las olas, se produce un pulso que viaja a lo largo del mismo y finalmente llega al final del tubo donde se ubica una turbina.



Fig. 7 - Representación del dispositivo convertidor de energía de las olas Anaconda

1.4.3. ABSORBEDORES PUNTUALES

Son elementos de pequeña dimensión horizontal comparada con su dimensión vertical, que utilizan el ascenso y descenso de la ola en un punto para convertir la potencia de la misma.

Consisten básicamente en una estructura flotante, con un elemento fijo dentro del cual se mueve otro elemento por efecto del ascenso y descenso de las olas. El movimiento relativo es utilizado para accionar un convertidor electromecánico o hidráulico.

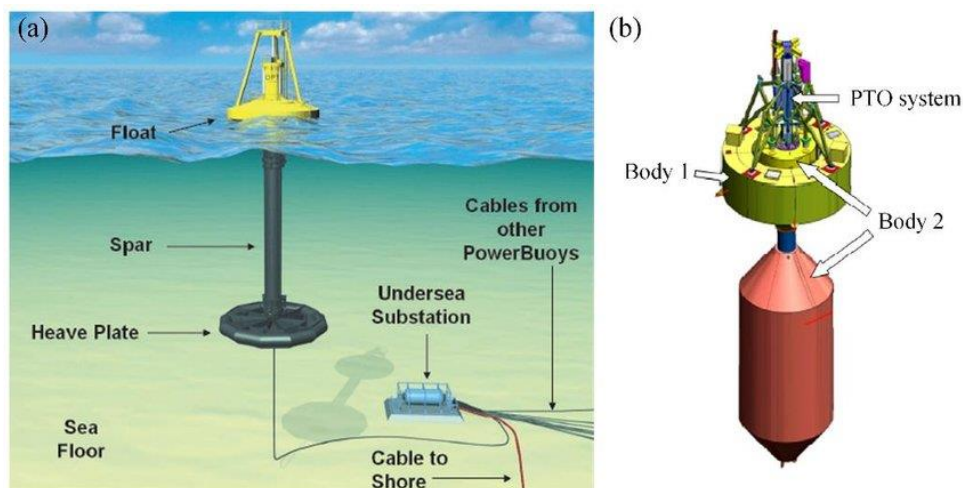


Fig. 8 - Detalle del sistema de absorción puntual

Durante el año 2005 se instaló frente a las costas de Atlantic City, New Jersey, EEUU un dispositivo de este tipo de 40 kW denominado PowerBuoy. Varios emprendimientos comerciales en la costa del mar Cantábrico están en desarrollo en España en la actualidad.



Dentro de este grupo de dispositivos se encuentra también el denominado AquaBuOY™ WEC que está siendo desarrollado en Suecia por la empresa AquaEnergy Group, Ltd y que utiliza la energía de las olas para presurizar una columna de agua que es empleada para mover una turbina.

1.4.4. APARATOS DE SOBREPASAMIENTO

Consisten en reservorios de agua que se llenan por el sobrepasamiento de las olas. La salida del agua del reservorio es empujada para mover turbinas hidráulicas u otros elementos de conversión.

Estos sistemas han sido diseñados y probados tanto para ser ubicados en la costa como flotantes.

Dentro del último tipo se encuentra el Wave Dragon, actualmente en etapa de prueba en la costa de Gales y en Dinamarca.

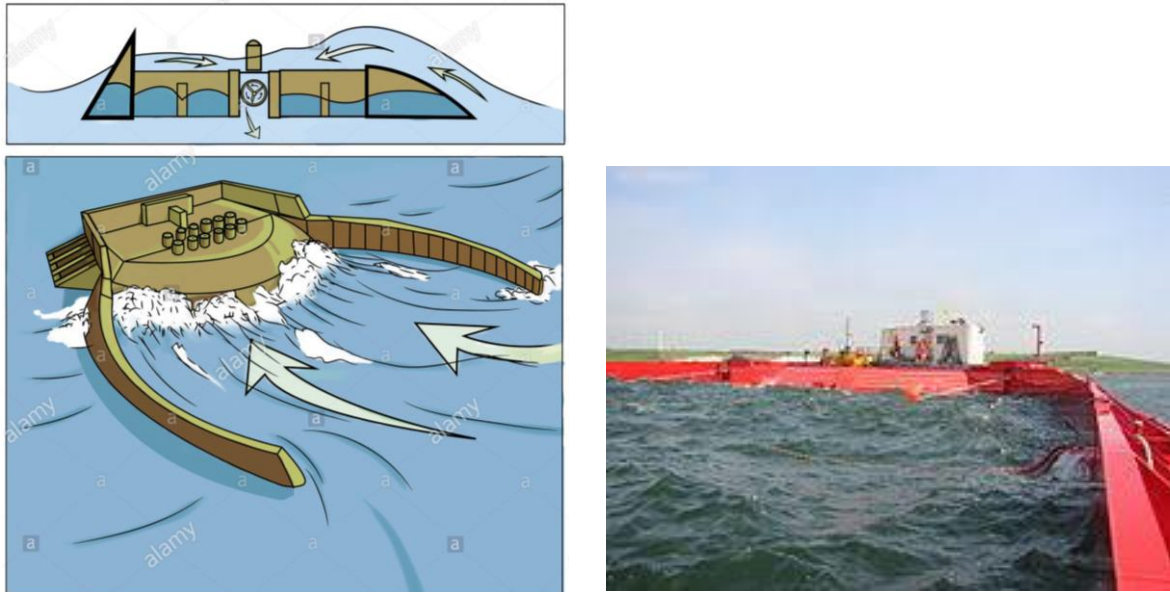


Fig. 9 - Sistema de sobrepasamiento, planta experimental

1.5. Dispositivos para recuperación de energía undimotriz

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/Attenuator.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/point-absorber1.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/owsc1.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/oscillating-water-column1.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/overtoppingdevice-preview1.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/submergedpressuredifferential1.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/Bulge-Wave1.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/Gyroscope1.gif>

1.6. Bibliografía

Documento de referencia, Volumen I, Dinámicas Volumen II, Procesos Litorales y Volumen III, OBRAS, Ministerio de Medio Ambiente y Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. 2000.[DDR-SMC]

Technology White Paper on Wave Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf. Minerals Management Service. Renewable Energy and Alternate Use Program; U.S. Department of the Interior. May 2006

Wave energy Utilization in Europe, Current Status and Perspectives, Centre for Renewable Energy Sources (CRES), 2002.

Coastal Engineering, Processes, Theory and Design Practice. Dominic Reeve, Andrew Chadwick and Christopher Fleming. 2004. Spon Press ISBN 0-415-26840-0.

Ocean Energy Conversion in Europe. Recent advancements and prospects. Centre for Renewable Energy Source, 2006.

Anaconda. The bulge wave sea energy converter. Francis J.M. Farley and R.C.T. Rainey.
Marine Energy Developments Ltd. 2006

2. ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Se denomina energía mareomotriz a aquella energía que puede ser aprovechada en función de la movilización de masas debido a los efectos de la interacción gravitatoria generada por el sol, la tierra y la luna.

2.1. INTRODUCCIÓN

La energía de las mareas explota el flujo y reflujo natural de las aguas costeras de las mareas causadas principalmente por la interacción de los campos gravitacionales de la tierra, la luna y el sol.

Las rápidas corrientes marinas a menudo se ven aumentadas por las características topográficas, como cabeceras, entradas y estrechos, o por la forma del fondo marino cuando el agua es forzada a través de canales estrechos.

Los dispositivos de corriente de marea, que utilizan estas corrientes, son muy similares a las turbinas eólicas sumergidas y se utilizan para explotar la energía cinética en las corrientes de marea.

Debido a la mayor densidad del agua, esto significa que las palas pueden ser más pequeñas y girar más lentamente, pero aun así entregan una cantidad significativa de energía.

Para aumentar el flujo y la potencia de salida de la turbina, se pueden usar concentradores (o cubiertas) alrededor de las palas para agilizar y concentrar el flujo hacia los rotores.

2.2. METODOLOGÍAS DE GENERACIÓN

2.2.1. GENERADOR POR CORRIENTE

Los generadores que utilizan las corrientes de marea hacen uso de la energía cinética del agua en movimiento a las turbinas de la energía, de manera similar al viento (aire en movimiento) que utilizan las turbinas eólicas. Este método está ganando popularidad debido a costos más bajos y a un menor impacto ecológico en comparación con las presas de marea.

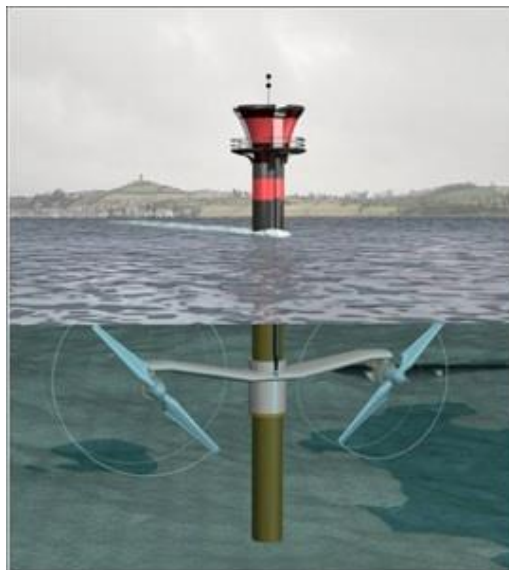


Fig. 10 – Generador Mareomotriz de Corriente de Marea

2.2.2. PRESA DE MAREA

Las presas de marea hacen uso de la energía potencial que existe en la diferencia de altura (o pérdida de carga) entre las mareas altas y bajas.

Las presas son esencialmente los diques en todo el ancho de un estuario, y sufren los altos costes de la infraestructura civil, la escasez mundial de sitios viables y las cuestiones ambientales.



Fig. 11 - Generador Mareomotriz de Presa de Marea

2.2.3. ENERGÍA MAREOMOTRIZ DINÁMICA

La energía mareomotriz dinámica es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre las energías cinética y potencial en las corrientes de marea.

Se propone que las presas muy largas (por ejemplo: 30 a 50 km de longitud) se construyan desde las costas hacia afuera en el mar o el océano, sin encerrar un área.

Se introducen por la presa diferencias de fase de mareas, lo que lleva a un diferencial de nivel de agua importante (por lo menos 2.3 metros) en aguas marinas ribereñas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa, como las que encontramos en el Reino Unido, China y Corea. Cada represa genera energía en una escala de 6 a 17 GW.

2.2.4. DISPOSITIVOS PARA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA MAREOMOTRIZ

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/horizaxis-preview.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/vertaxis-preview.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/reciprocating-hydrofoil.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/venturi-effect-device.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/Archimedes-Screw.gif>

<http://www.emec.org.uk/wp-content/uploads/2012/03/Tidal-Kite.gif>