

TEMA 5: ENERGÍA DEL MAR

5.1. Introducción

La segunda década del siglo XXI ha comenzado sumergida en una profunda crisis económica, en particular en los países pertenecientes a la Unión Europea. Por otra parte, la sociedad ha de mentalizarse que es ineludible acometer cambios en el marco energético actual, con la intención de caminar hacia un sistema energético sostenible. Ha llegado el momento de apostar por las energías renovables para lograr atenuar el “temido” cambio climático y a la vez activar la recuperación económica. De hecho, las fuentes energéticas renovables crean mayor número de puestos de trabajo por KW producido que otras fuentes de energía de origen fósil. En este sentido, las energías renovables, tanto eólica como solar, gozan de una importante presencia, mientras que otras, como por ejemplo las provenientes del mar, tienen un futuro prometedor.

El mar ocupa más de un 70% de la superficie terrestre y contiene una enorme cantidad de energía en sus diferentes formas, la cual es perfectamente aprovechable. Dentro de las energías renovables que el mar nos ofrece cabe destacar el aprovechamiento de la energía de las olas, denominada energía olamotriz o undimotriz. En Euskadi ya se han dado los primeros pasos para impulsar la energía procedente de las olas, con la cual se podría abastecer el 10% del consumo eléctrico vasco. En Julio de 2011, el EVE (Ente Vasco de Energía), agencia energética perteneciente al Gobierno Vasco, ha puesto en marcha en Mutriku la primera planta en el mundo que utiliza múltiples turbinas basadas en la tecnología OWC.

5.2. Energías renovables procedentes del mar

Las energías renovables provenientes del mar se deben a la influencia de la radiación solar y de los campos gravitatorios solar, terrestre y lunar sobre los océanos. Si se comparan con el resto de las energías renovables, las investigaciones y los proyectos para conseguir energía procedente del mar se encuentran en una fase inicial, sin embargo su potencial es muy alto. Entre las posibles fuentes de energía procedentes del mar podemos encontrar:

- Gradiente salino: La diferencia de salinidad entre el agua de océanos y ríos se mantiene, esencialmente, por evaporación del agua de los océanos y por la lluvia recibida por los ríos. En estas zonas puede obtenerse energía debido a las diferencias de presión osmótica.

- **Corrientes marinas:** Es el caso de las turbinas marinas, cuyo funcionamiento es similar a un aerogenerador eólico, con la diferencia que, en este caso, es el flujo de corriente marina el que hace girar al rotor. Para que esto se produzca es necesaria una velocidad superior a 5 nudos.
- **Mareomotriz:** Se basa en el aprovechamiento de la energía liberada por el agua del mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las mareas.
- **Térmica oceánica:** Se obtiene a partir de la diferencia de temperaturas entre la superficie y las profundidades del mar. Para el aprovechamiento de esta energía es necesaria, al menos, una diferencia de temperatura de 20°C.
- **Vientos oceánicos:** En algunas zonas oceánicas los vientos pueden generar de 500a 800 vatios de energía por metro cuadrado. Por ello, los parques eólicos marinos se convertirán en una importante fuente de energía renovable en un futuro próximo. Se espera que, para finales de esta década, se instalen en los mares europeos parques eólicos con una capacidad total de miles de megavatios.
- **Biomasa marina:** Los microbios constituyen hasta el 90% de la biomasa marina, la cual contiene una ingente cantidad de energía para la producción de biocombustibles. De hecho, la masa de los microbios presente en los océanos equivale a 240.000 millones de elefantes africanos.
- **Olamotriz:** Las olas se forman en el mar, entre otras causas, por la acción del viento, el cual, al soplar origina olas que alcanzan gran tamaño y, por el impulso del viento, corren sobre la superficie marina a gran velocidad descargando toda su potencia sobre los obstáculos que encuentran en su camino.

Se ha estimado un potencial teórico de energía oceánica superior a 100.000 TWh/año (como referencia, el consumo de electricidad en el mundo ronda los 16.000 TWh/año). Con la tecnología actual se estiman 45.000 TWh/año para la energía de las olas, 2.200 TWh/año para la procedente de las mareas, 20.000 TWh/año para las provenientes del gradiente salino y 33.000 TWh/año para la térmica oceánica (EREC, 2010).

5.3. Energía olamotriz

Una fracción de la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra se invierte en un calentamiento desigual de la misma, lo que provoca en la atmósfera zonas de altas y bajas presiones, generando desplazamientos del aire en forma de viento. La intensidad del oleaje depende de la intensidad del viento, de su duración y de la longitud sobre la cual éste transmite energía a la ola. A pesar de no considerar las olas con periodos más pequeños o grandes que las formadas por el oleaje del viento, 2 a 30 segundos, la descripción matemática de las olas es un tema complicado de abordar. Con la finalidad de describir la dinámica de la ola, se han desarrollado una serie de teorías con diferente grado de complejidad: Airy, Stokes, Cnoidal y ola solitaria.

La primera y más simple descripción, atribuida a Airy en 1845, es suficientemente precisa para muchos y variados propósitos en ingeniería (Chadwick, Morfett & Borthwick, 2004). Como sucede con otros recursos renovables, la energía de las olas está distribuida de forma dispar, resultando ser las regiones con mayor actividad del oleaje, aquellas que se localizan entre los 30° y 60° de latitud en ambos hemisferios, donde prevalecen los vientos del oeste. El recurso energético de Europa es uno de los más importantes, sólo superado en algunos lugares de América del Sur y de las Antípodas. La capacidad energética varía entre los 20 KW/m de la región más al sur de Europa, las Islas Canarias, y los 75 KW/m en Irlanda y Escocia. El país dominante en lo concerniente a esta energía es el Reino Unido. Le siguen, aunque a cierta distancia, Portugal, España y Dinamarca .

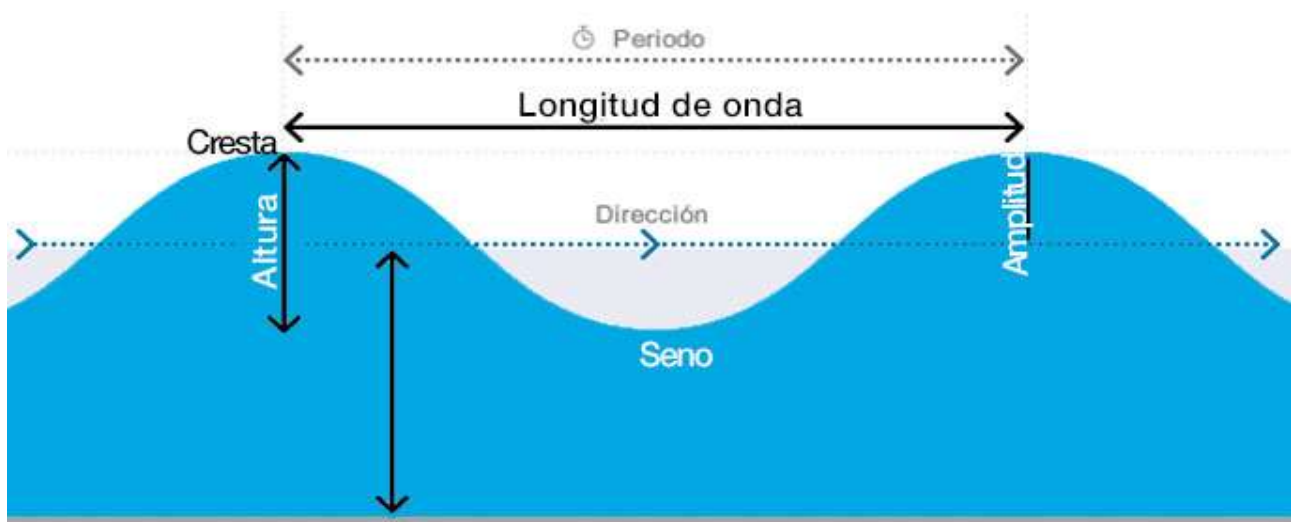


Figura 1

A continuación se definen una serie de parámetros relativos a las olas, algunos de los cuales quedan también reflejados gráficamente en la figura 1.

5.4. Dispositivos convertidores de energía olamotriz

Existe una amplia variedad de dispositivos que, utilizando diferentes tecnologías, convierten la energía procedente de las olas en electricidad.

Los sistemas que se emplean actualmente para extraer energía de las olas son :

- Flotadores: Anclados en el fondo o unidos a una masa sumergida.
- Depósitos: Almacenan agua aprovechando la energía cinética de las olas que vuelve al mar tras pasar por una turbina.
- Balsas o pontones: Aprovechan el movimiento relativo con el oleaje.
- Neumáticos: Las olas comprimen y descomprimen un flujo de aire que mueve una turbina, como es el caso del OWC.
- Dispositivos móviles articulados: Se mueven con las olas actuando sobre un generador hidráulico.

Estos sistemas se pueden clasificar atendiendo a diversos factores, destacando la clasificación en función de principio de funcionamiento o tecnología utilizada. Las diferentes tecnologías utilizadas para la energía de las olas, así como los convertidores más importantes que utilizan dichas tecnologías. Utilizando esta clasificación tenemos:

- Dispositivos de columna de agua oscilante :están considerados como una de las mejores técnicas para convertir la energía de las olas

enelectricidad. Serán descritos en apartados posteriores.

- Dispositivos oscilantes: proporcionan un movimiento de oscilación vertical y/o de rotación que es convertido por un sistema hidráulico o mecánico en un movimiento lineal o rotativo, que a su vez mueve un generador eléctrico. Dentro de los dispositivos oscilantes podemos distinguir los flotantes y los sumergidos.

5.4.1 Dispositivos de estructura flotante

Entre los dispositivos de estructura flotante podemos distinguir:

- Los absorbedores puntuales, básicamente de traslación, como por ejemplo las boyas Power Buoy o tecnología OPT de Santoña (debe su nombre a la empresa estadounidense que las desarrolla, Ocean Power Technologies), la cual puede observarse en la figura 2. Las boyas obtienen energía a partir del movimiento relativo entre el flotador y el mástil mediante un sistema hidráulico que acciona un generador. La salida eléctrica se transforma de baja a media tensión en una subestación submarina desde donde se lleva mediante una línea eléctrica submarina hasta la subestación del Faro del Pescador. Entre otros absorbedores puntuales tenemos, el primer absorbedor puntual a escala real del mundo, conocido con el nombre de IPS Buoy, el Aqua Buoy y el Wavebob.
- Los de estructura articulada, esencialmente de rotación, como por ejemplo el dispositivo Pelamis de la figura 3, el cual se basa en una estructura articulada que dispone entre sus nodos de unión un sistema hidráulico que actúa sobre un generador eléctrico. Se estima que la cantidad de energía obtenida por 30 de estos sistemas podría abastecer aproximadamente 20.000 hogares con un consumo medio europeo. Se trata de una tecnología comercialmente afianzada.

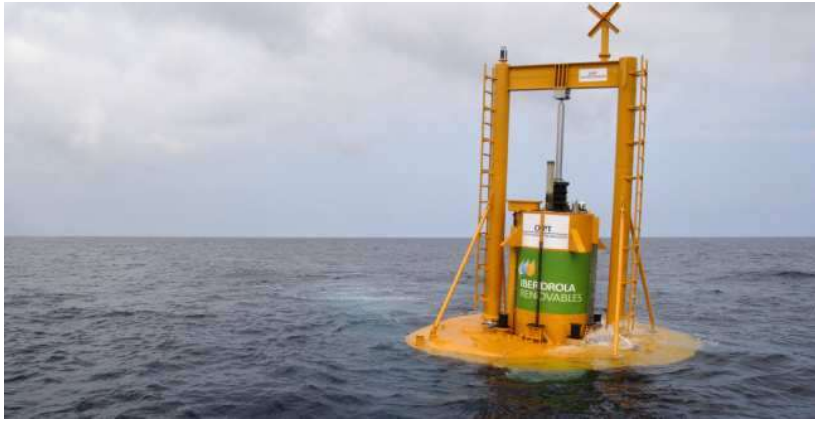


Figura 2. Instalación de Santoña (Power Buoy).



Figura 3. Pelamis

5.4.2. Dispositivos de estructura sumergida

Entre los dispositivos de estructura sumergida podemos distinguir:

- Los sistemas con un movimiento lineal, entre los que destaca el oscilador de la ola de Arquímedes AWS (Archimides Wave Swing) Figura 4 , el cual está formado por dos partes principales, una fija sobre el fondo marino, y otra móvil que se desplaza verticalmente como resultado de la variación de presiones hidrostáticas bajo el agua, debido al movimiento inducido por las oscilaciones ascendentes y descendentes de las olas.
- Los sistemas que poseen un movimiento rotación, como por ejemplo el Wave Roller y el Oyster. Consiste en un módulo anclado en el fondo del mar que, al oscilar, acciona unos pistones, los cuales a su vez entregan

el agua de mar presurizada a una unidad de transformación hidroeléctrica terrestre. Figura 5



Figura 4

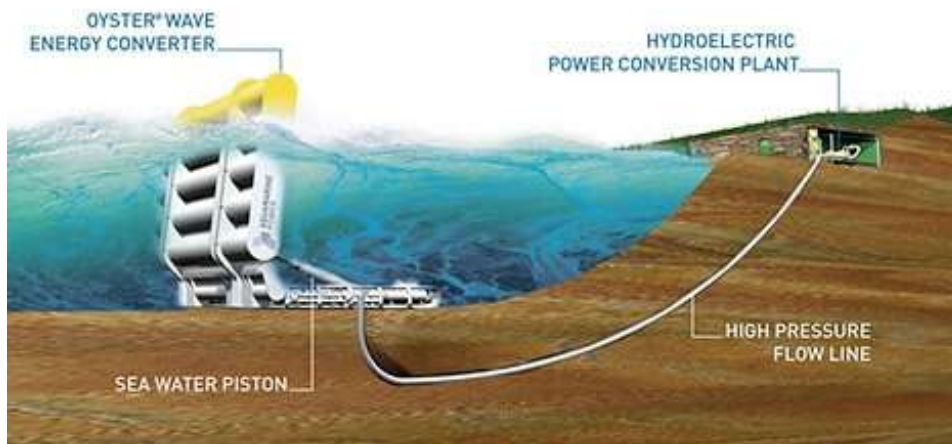


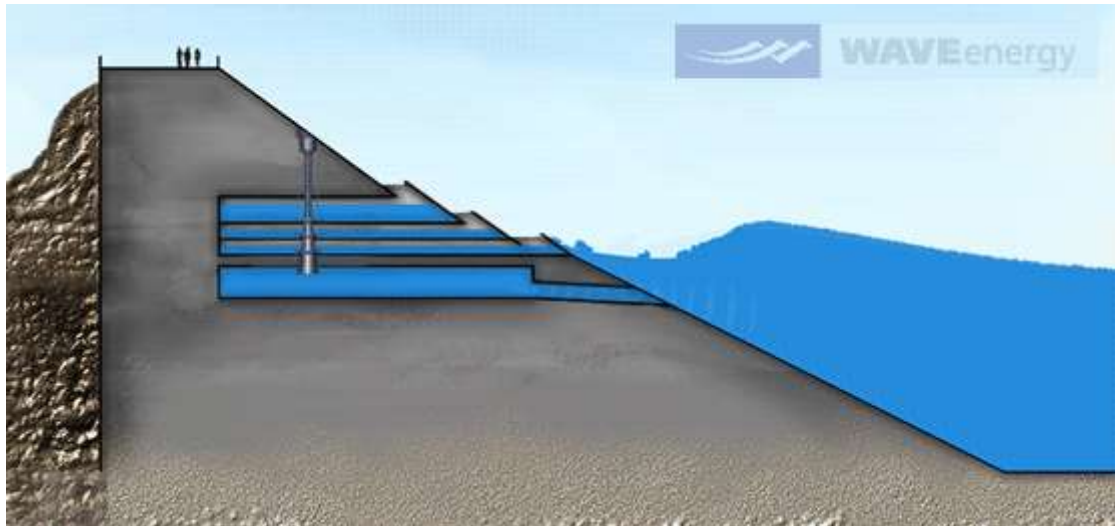
Figura 5

5.5. Dispositivos colectores de olas

Estos dispositivos capturan la energía de un frente de olas mediante un colector de olas para mover una o varias turbinas hidráulicas de salto reducido, denominadas turbinas Kaplan, aprovechando la energía potencial de las olas. Se distinguen dos tipos de convertidores, los de estructura fija o

situados en la costa, y los de estructura flotante, alejados de ella.

En los dispositivos de estructura fija el funcionamiento es similar a las centrales hidroeléctricas. Las olas entrantes acceden a un depósito situado en una cota superior a la del mar a través de una rampa, para después hacer pasar el agua por unas turbinas acopladas a unos generadores eléctricos antes de ser devuelta al mar. Podemos distinguir: el SSG (Seawave Slot-Cone Generator), el cual almacena agua en varios dispositivos colocados a distintas alturas y utiliza una turbina con varias etapas, y el TAPCHAN.



Entre los dispositivos convertidores de estructura flotante, cuyo funcionamiento es similar a los anteriores, podemos citar al convertidor de olas danés Wavedragon, el cual se muestra en la figura, caracterizado por tener un reflector que dirige las olas incidentes por una rampa hasta un depósito situado en la parte posterior por encima del nivel del mar.



5.6 Tecnología OWC. Columna de agua oscilante

El OWC de la figura 6, uno de los convertidores de energía olamotriz más utilizados en la actualidad, captura la energía entregada por las olas, la transfiere a una turbina que, acoplada a un generador, la inyecta a la red. Es una estructura normalmente ubicada en la costa, cuya parte superior forma una cámara de aire y cuya parte inferior está sumergida en el agua y abierta a la acción de las olas. El flujo bidireccional de aire desplazado por la columna de agua mueve una turbina de aire montada en la parte superior de la estructura. Al utilizar energía neumática para generar energía mecánica, el mantenimiento es más sencillo y económico. Tenemos ejemplos de instalaciones costeras, cerca de la costa y en los rompeolas. Todas ellas son similares y comprenden:

- La cámara de captura
- El grupo turbo-generator
- El sistema de instrumentación y control.

En cuanto a la cámara de captura, el principal requerimiento es la creación de una cámara de aire adecuada para la captura de la energía de las olas, que sirva de soporte para la instalación del grupo turbina-generator y que resista el embate de la mar.



Figura 6

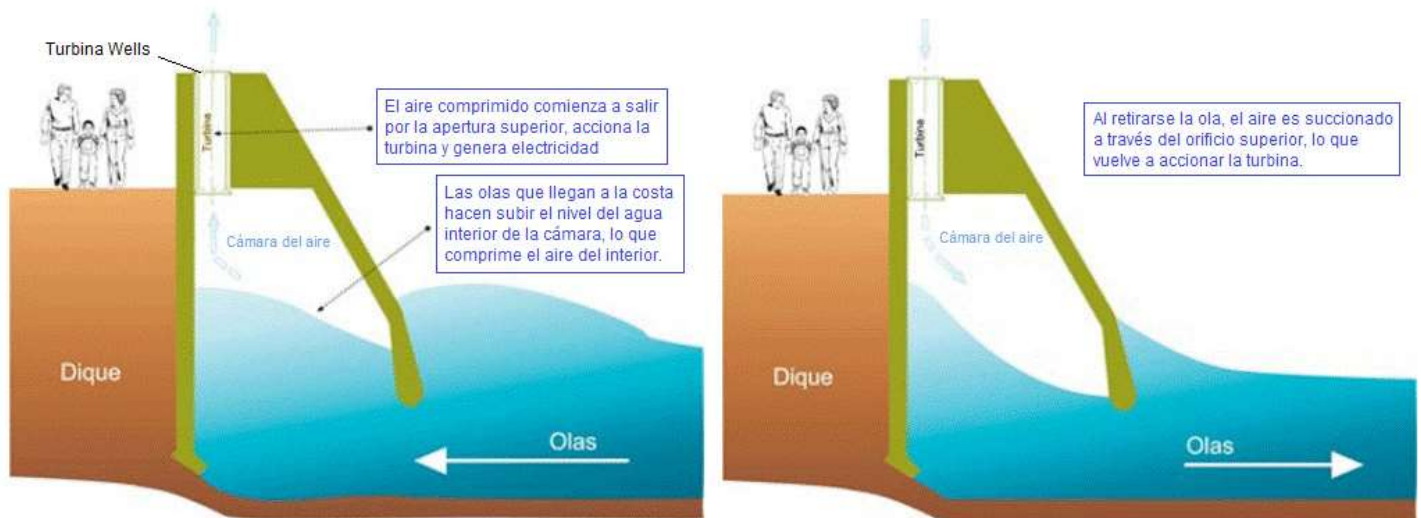
El 8 de Julio de 2011, en la localidad costera de Mutriku, Euzkadi, se puso en funcionamiento una planta que utiliza esta tecnología. El proyecto,

denominado NEREIDA MOWC. Constituye la primera instalación de este tipo en Europa. Tiene 100 metros de longitud y está compuesta por 16 cámaras de captura y, en cada una de ellas, en el orificio superior, se acopla un grupo turbogenerador de 18,5 KW de potencia nominal, consiguiendo una potencia total de 296 KW.

Se estima una producción anual de 600.000 KWh, evitando la emisión anual de 600 toneladas de CO₂.

Se ha estimado una potencia media anual para la zona de 7,14 KW/m (Tease, Lees & Hall, 2007).

Central de oleaje en Mutriku (País Vasco, España, 2011) con turbinas verticales - electricidad gratis por 24 h por día y noche



de: Mutriku estrena la primera planta precomercial de energía undimotriz; <http://desenchufados.net/mutriku-estrena-la-primera-planta-precomercial-de-energia-undimotriz/>

5.7 Tecnología empleada en turbinas de corrientes marinas

El siguiente recurso objeto de estudio es la energía cinética existente en las corrientes marinas. Su origen se basa principalmente en diferencias térmicas o de salinidad del agua del mar, y de conformidad con las leyes de la mecánica de fluidos. La tecnología de captación energética de corrientes marinas se basa en transformadores de energía cinética muy similares a los conocidos aerogeneradores eólicos.

Por poner un ejemplo cercano de la potenciabilidad de la energía de las corrientes marinas, en Europa se han ubicado hasta 100 emplazamientos con corrientes energéticamente aprovechables, cuyo potencial se estima en unos 48TW/año y con zonas de densidad energética de hasta 10MW/Km². Tales provechosos emplazamientos se localizan en mares irlandeses, británicos, franceses, españoles, griegos e italianos principalmente.

Entre las ventajas que se podrían destacar de esta tecnología, se pueden

apuntar las que siguientes:

En función de la similitud constructiva entre las turbinas marinas y las eólicas, parece inevitable realizar una comparativa entre la densidad energética del aprovechamiento de ambas. Así tomando datos estándar, se puede llegar a las siguientes conclusiones: un viento promedio a 15m/s posee una densidad de potencia de 2KW/m^2 ; mientras que una corriente marina a escasamente 3m/s (5 veces menos) tiene una densidad energética de hasta 14KW/m^2 (7 veces más). Por tanto se puede decir que la energía de las corrientes marinas tremendamente poderosa. Ahora bien, los principales inconvenientes de esta tecnología son el posible impacto para la navegación comercial, ya que precisamente las mejores corrientes se encuentran en zonas de trasiego (estrechos o desembocaduras de ríos) de gran tránsito marino, así como el acelerado deterioro (corrosión y desgaste) que sufren los componentes y equipos que forman una turbina marina, debido a la salinidad del agua y a la dificultad intrínseca para la realización de tareas de mantenimiento subacuático.

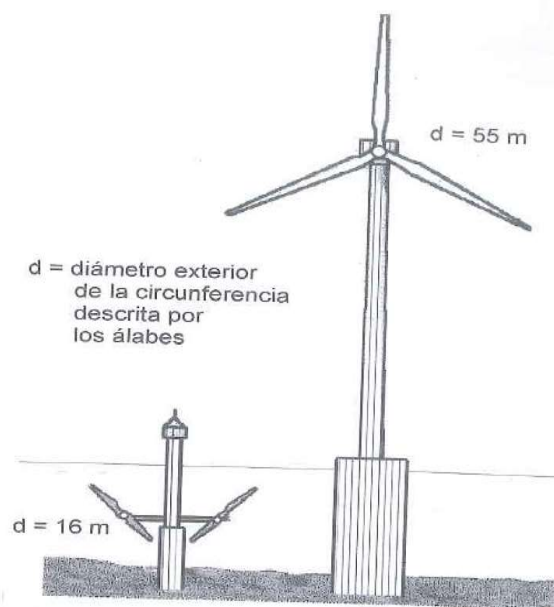


Figura 4.26. Comparativa de las turbinas eólica y marina a igualdad de potencias (Fuente: pfernandezdiez).

5.8 Costes

La explotación de la energía del oleaje, como ocurre con muchas otras tecnologías renovables, precisa de altos costes de inversión. Los altos costes de capital se deben a la necesidad de construir grandes estructuras para captar una cantidad significativa de energía. Por otro lado, los costes de operación son relativamente bajos en los dispositivos costeros (bastantes más altos en los aparatos alejados de la costa), ya que no existen costes de combustibles, y los costes de operación, reparación y mantenimiento anuales solo representan entre un 3 a un 8 por ciento de los costes de inversión.

La tecnología de la energía del oleaje, como ocurre con la mayoría de las otras tecnologías renovables, solo es rentable si los costes de capital por kW instalado es menor de 1600€.

Una consecuencia de los altos costes de capital es que se obtienen altos periodos de payback.

El coste de la energía obtenida con los aparatos captadores de la energía de las olas es altamente dependiente del interés. Se estima que los aparatos instalados en la costa tengan un coste de la unidad energética generada entre 0,09€/kWh y 0,14€/kWh. Los costes de los aparatos instalados fuera de la costa presentan una mayor dispersión, pero se estima que se encuentren en el rango comprendido entre 0,18€/kWh y 0,49€/kWh. Esta claro que estos costes variarán de un país a otro, e incluso dentro de un mismo país, dependiendo del potencial del oleaje. La viabilidad económica de la explotación de la energía del oleaje será por tanto diferente de un sitio a otro. Se esta observando que los costes de la electricidad obtenida con aparatos captadores de la energía del oleaje, y en particular los OWC ubicados en la línea de costa, se están aproximando cada vez más a los costes de la electricidad obtenida mediante el empleo de plantas convencionales de carbón.

5.9 Impacto ambiental

Los sistemas de aprovechamiento de la energía de las olas deben de resolver una serie de problemas antes de que sean ampliamente usados. De todas formas, hay que señalar que muchos de ellos solo afectan a lo dispositivos ubicados en las costa.

Entre los posibles impactos negativos pueden señalarse los siguientes:

- Impacto visual. El impacto visual depende del tipo de aparato y de su distancia de la línea de costa. En general, un sistema de boya flotante o una plataforma situada mar a dentro o un sistema sumergido, probablemente no presente mucho impacto visual. Cuando un área depende del turismo, la obstrucción visual es crítica.

- **Ruido.** Los sistemas de conversión de la energía de las olas producen ruido, aunque los niveles suelen ser menores que los ruidos de un barco. Cuando operan a plena carga, no se espera que sean más ruidosos que el viento o las olas, además, estos sistemas pueden ser contruidos con un buen material aislador de ruidos. El ruido generado puede viajar largas distancias debajo del agua y pueden afectar a ciertos animales, tales como las ballenas, las focas, etc. Se precisan más investigaciones para determinar si existen impactos en la vida de los mamíferos debido al ruido de estos aparatos.
- **Molestias y destrucción de la vida marina.** Los aparatos de captación de la energía de las olas pueden tener una variedad de efectos en el comportamiento del oleaje. Esto podría influir en las áreas de línea de costa y en las plantas y animales que viven en ella. Los sistemas ubicados en tierra requieren importantes modificaciones que afectan al impacto ambiental. Los impactos potenciales incluyen las molestias o destrucción de vida marina (incluyendo cambios en la distribución y tipos de vida marina cerca de la costa). La instalación de las estructuras soporte y colocación de cables pueden interrumpir temporalmente la vida marina. Sin embargo, la ecología, probablemente, se recuperará. Los efectos de los aparatos alejados de la costa, probablemente, son pequeños (aunque grandes aparatos podrían tener efectos notables) Al absorber la energía de las olas, estos aparatos crean aguas en calma a su abrigo produciendo áreas válidas para actividades marinas, comerciales o recreativas. Las estructuras marinas en el océano proporcionan superficies apropiadas para que se desarrollen variedad de algas e invertebrados, que podrán colonizar los dispositivos. Por tanto, desde el punto de vista de la conservación de estos dispositivos, es necesario tomar medidas correctoras (inyección directa de bióxidos, utilización de productos antiincrustaciones, chorros a presión que desprendan a estos organismos de la estructuras, etc.) que eviten la destrucción de los mismos. Sin embargo, a menos que sean adecuadamente aplicados, estas medidas antiincrustaciones pueden tener un impacto adverso sobre la vida marina.
- **Erosión de la costa.** Los dispositivos de captación de la energía de las olas concentran la energía de estas en un área antes de su captación (Por ejemplo, los sistemas denominados TAPCHAN). Estos tipos de aparatos concentradores pueden originar un incremento de la erosión de la costa. Una reducción de la acción del oleaje en zonas de la línea de costa puede incrementar el depósito de sedimentos.
- **Conflictos con la navegación.** Una vez instalados, los sistemas de captación de la energía del oleaje podrían ser un peligroso obstáculo para cualquier embarcación que no pueda verlos o detectarlos por radar. Para la mayoría de los aparatos, esto podría superarse con técnicas convencionales (por ejemplo, luces, pinturas, reflectores, etc.)

- Interferencia con la pesca comercial y deportiva.
- Interferencia con otras actividades recreativas. Los sistemas de captación de la energía de las olas, si no están adecuadamente situados, pueden interferir con otros usos de las áreas de costa tales como surfing, paseos en barco, y usos de la playa.

Por otro lado esta fuente de energía presenta una serie de ventajas, entre las que se pueden señalar:

- Se trata de un recurso renovable y sostenible.
- Es un recurso abundante.
- Se reduce la dependencia de los combustibles fósiles.
- No contamina.
- Es relativamente consistente (más que la mayoría de las fuentes renovables)
- Elevada flexibilidad para su instalación (en tierra, cerca de la costa, mar a dentro)
- Se trata de una energía muy concentrada.
- Disipa la energía de las olas/protege la línea de costa.
- La economía local se desarrolla.
- Tiene múltiples aplicaciones (Generación de electricidad, Producción de hidrogeno por electrolisis, desalinización de agua por osmosis inversa, etc.)