# V.- TÉCNICAS QUE APROVECHAN LA ENERGÍA DE LAS OLAS (I)

pfernandezdiez.es

## V.1.- ANTECEDENTES

Los convertidores OWCs son dispositivos que transforman la energía del oleaje en energía útil; tienen que ser capaces de resistir los embates del mar y de funcionar eficientemente para las amplias gamas de frecuencia y amplitud de las olas.

Los primeros testimonios sobre la utilización de la energía de las olas se encuentran en China, en donde en el siglo XII empiezan a operar molinos por acción del oleaje. Al principio de este siglo, el francés Bouchaux-Pacei suministra electricidad a su casa en Royan, mediante un sistema neumático, parecido a las actuales columnas oscilantes. En esta misma época se prueban sistemas mecánicos en California, y en 1920 se ensaya un motor de péndulo en Japón. Desde 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 1958, se proyecta una central de 20 MW en la isla Mauricio, que no se llegó a construir, consistente en una rampa fija sobre un arrecife, a través de la cual subía el agua a un embalse situado a 3 m por encima del nivel del mar.

Los franceses construyeron en Argelia, en la década de 1940, dos plantas piloto con canal convergente; en 1975 se construye un sistema similar en Puerto Rico, con el fin de alimentar con agua un puerto deportivo.

Uno de los pioneros en el campo del aprovechamiento de la energía de las olas fue el japonés Yoshio Masuda, que empezó sus investigaciones en 1945 y ensayó en el mar, 1947, el primer prototipo de un 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 u.u.

En los años 70 se construye en Japón una plataforma flotante, de 80 m de largo y 12 m de ancho,

llamada Kaimei, que alberga 11 cámaras para ensayos de turbinas de aire.

La investigación a gran escala del aprovechamiento de la energía de las olas se inicia a partir de 1974 en varios centros del Reino Unido, estudiándose sofisticados sistemas para grandes aprovechamientos, actividad que se abandona casi totalmente en 1982, por falta de recursos económicos. A mediados de los ochenta entran en servicio varias plantas piloto de distintos tipos en Europa y Japón.

## IV.2.- GENERADORES DE LA ENERGÍA DEL OLEAJE OWCs

Pocas son las instalaciones que se han ensayado en el mar a escala natural, por lo que falta experiencia operativa con prototipos. En general, a medida que aumenta la distancia a la costa la densidad de energía es mayor, pero la supervivencia está más comprometida y existe una mayor complicación para el transporte de la energía generada, por lo que hay que encontrar un compromiso entre la supervivencia del 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, realizándose el aprovechamiento de la energía de las olas en base a algunas de las siguientes metodologías:

***Conversión primaria.-*** Consiste en la extracción de la energía de las olas mediante sistemas mecánicos o neumáticos, convirtiendo el movimiento de las olas (oleaje), en el movimiento de un cuerpo o en un flujo de aire. La energía del oleaje se puede aprovechar para mover flotadores en sentido vertical y en rotación.

En aguas poco profundas se pueden aprovechar los movimientos horizontales del oleaje mediante flotadores o estructuras fijas. La energía de la ondulación del movimiento de las partículas de una ola de agua, se puede extraer mediante dispositivos tipo noria.

La oscilación del agua a causa del oleaje, dentro de una estructura semisumergida, se puede aprovechar por medios mecánicos o neumáticos, así como la variación de la presión causada por el oleaje, por debajo de la superficie del agua.

En resonadores flotantes, como las boyas de navegación, se pueden combinar los efectos de resonancia en el tubo, con el movimiento vertical del flotador, dando como resultado un rendimiento energético mucho mas favorable.

En dispositivos fijos, que tienen una abertura inferior en el tubo orientada en la dirección de propagación de la ola, la energía que se aprovecha utilizando la presión total de la ola es, aproximadamente, el doble que en el caso anterior, en el que sólo se aprovechaba la presión estática.

***Conversión secundaria.-*** Consiste en la conversión de movimientos mecánicos o neumáticos en

energía utilizable, generalmente electricidad. Los medios utilizados para ello son turbinas neumáticas e hidráulicas, dispositivos de transmisión mecánica, y de inducción magnética; a veces, el sistema se diseña exclusivamente para la desalinización del agua.

## IV.3.- CARACTERÍSTICAS DE LOS OWCs

Las características de los OWCs se pueden valorar según los siguientes criterios:

*a)* ***Por su posición relativa a la costa,*** *OWCs en la costa, cerca del litoral o en altamar*

*b)* ***Por su capacidad de producción energética****, relacionada con el punto anterior; pueden ser grandes, medianos o pequeños aprovechamientos*

*c)* ***Por su posición relativa 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: OWCs aislados de dimensiones reducidas, que aprovechan el efecto antena (concentración y convergencia del oleaje)*

*d)* ***Por su posición relativa al agua,*** *OWCs fijos o flotantes, semisumergidos o sumergidos.*

*e)* ***Según otros criterios****, teniendo en cuenta la simetría del OWC, la capacidad de almacenamiento de energía, la capacidad de control, la supervivencia en tormentas, el impacto medio ambiental, la complejidad de la tecnología, materiales, eficiencia, mantenimiento, posibilidad de construcción modular, etc.*

La investigación actual de los OWCs está basada en los siguientes sistemas:

Columna oscilante, Péndulo, Tapchan, Boyas mecánicas, Duck, Sea Clam, Cilindro Bristol, Raft, Rompeolas sumergido, etc.

***TÉCNICAS DE UTILIZACIÓN ENERGÉTICA DEL OLEAJE***.- Las técnicas de utilización energética del oleaje aprovechan estos fenómenos básicos que se producen en las olas, y son:

- ***Empuje de la ola***.- En aguas poco profundas la velocidad horizontal de las olas no varía con la profundidad; la energía de las olas se puede absorber mediante un obstáculo que transmite la energía a un pistón; es un sistema poco usado, Fig V.1.

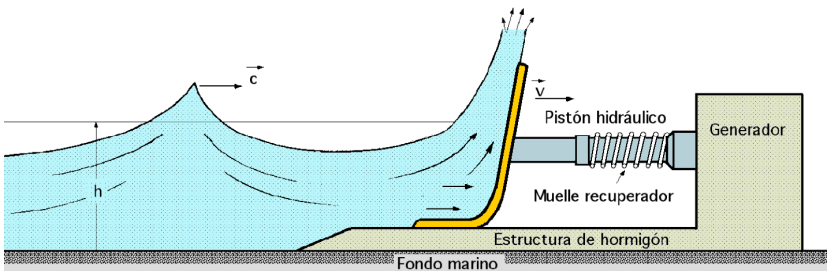



*Fig V.1.- Aprovechamiento del empuje de la ola*

- ***Variación de la altura de la superficie de la ola***.- Situando estructuras flotantes que se mueven con las olas, sintonizadas de manera que puedan captar su energía. Se dispone de un gran número de dispositivos para capturar la energía, de forma similar a la de un receptor de ondas de radio, ya que se basan en que cualquier proceso que pueda generar olas, también sirve para extraer su energía, Fig V.2. Su pequeño tamaño resulta ventajoso y permite su fabricación en serie. La mayoría de estos aparatos utilizan el efecto de bombeo que proporciona un flotador. Sus inconvenientes derivan principalmente de la fiabilidad de los caudales y de la interconexión eléctrica.

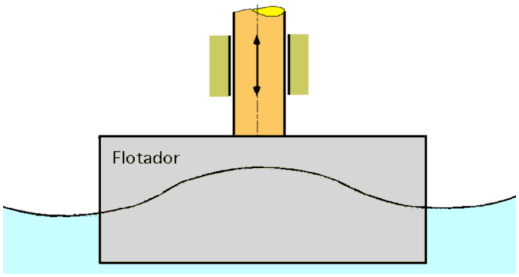



*Fig V.2.- Aprovechamiento de la variación de la altura de la superficie de la ola*

Se les puede considerar aparatos de segunda generación.

- ***Variación de la presión bajo la superficie de la ola***.- Son los sistema de columna de agua oscilante; consisten en una cámara abierta al mar, que encierra un volumen de aire que se comprime y expande por la oscilación del agua inducida por el oleaje, Fig V.3; el aire circula través de una turbina que puede ser bidireccional. Se les puede considerar aparatos de primera generación.

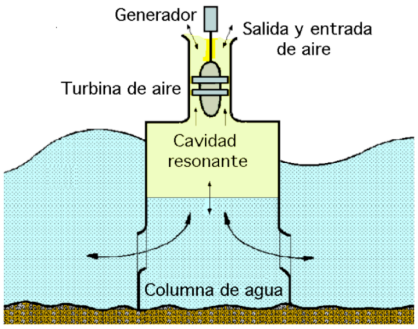



*Fig V.3.- Cavidad o columna resonante*

*Los sistemas activos* son aquellos en los que los elementos del dispositivo, al moverse a impulsos del oleaje, generan energía aprovechando el movimiento relativo entre sus partes fijas y móviles.

*Los sistemas pasivos* son aquellos en los que la estructura permanece inmóvil, generándose energía directamente, a partir del propio movimiento de las partículas de agua.

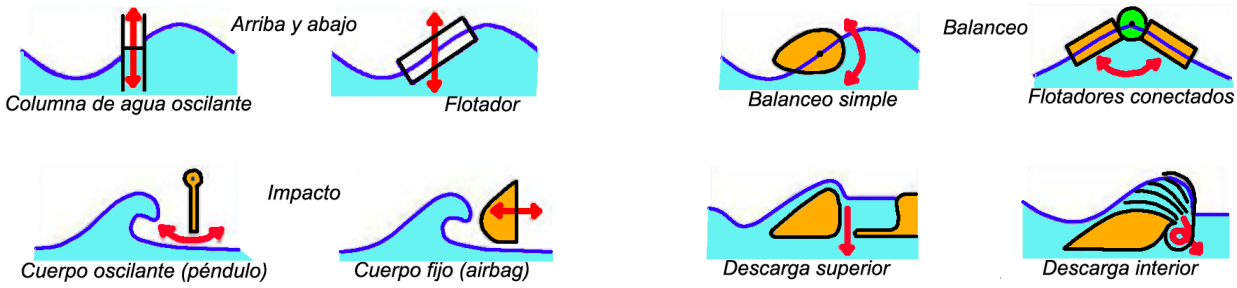



*Fig V.4.- Tipos de movimientos provocados por las olas*

## V.4.- 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:

***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.

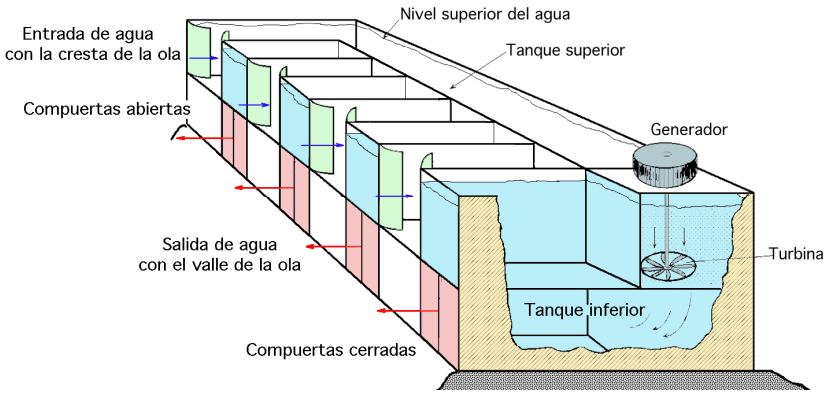



*Fig V.5.- OWC Rectificador Russel*

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, Fig V.5.

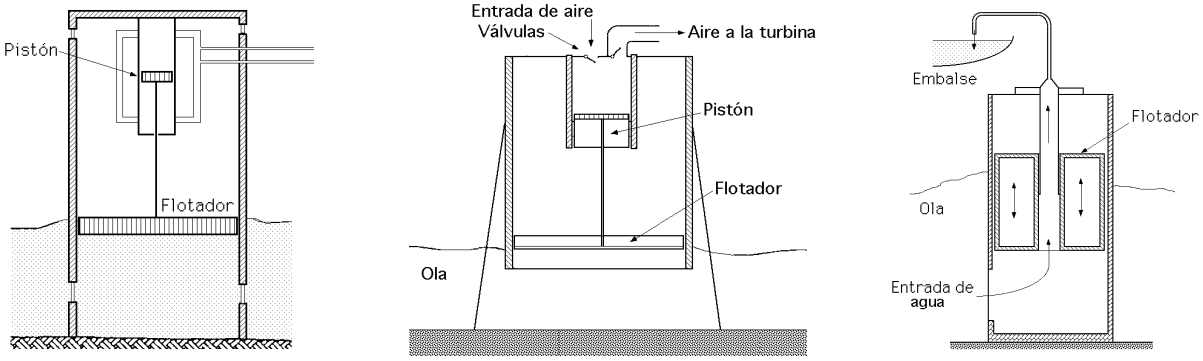



*Fig V.6.- OWCs mecánicos para bombeo de aceite, aire y agua, respectivamente*

***OWCs Mecánicos (Sistemas de bombeo)***.- 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 V.6.

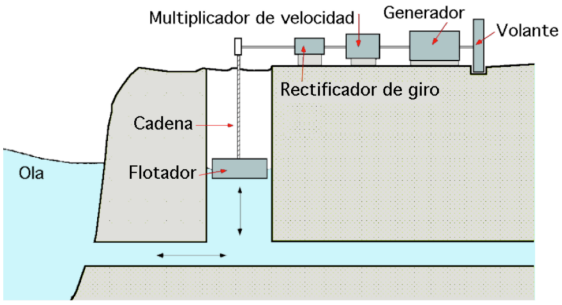



*Fig V.7.- OWC Mecánico de Unión Fenosa*

***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), Fig V.7, aprove-

chando 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.

***OWC Péndulo.-*** El péndulo es un dispositivo apto para ser instalado en un rompeolas. 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, Fig V.8. En el interior de la cámara, de 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, estimándose la eficiencia primaria de éste dispositivo (olas-aceite) en un promedio del 35%, y la eficiencia total en un 20%; para olas regulares, de período igual al período natural del péndulo la eficiencia puede llegar al 100%.

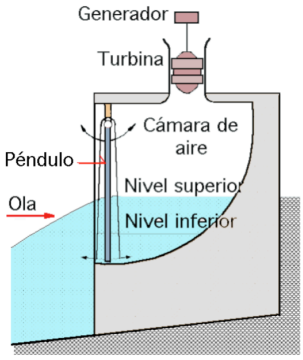


*Fig V.8.- Péndulo*

En la planta piloto de Muroran, Hokkaido, (Japón) se han observado eficiencias del orden del 50%; las características de esta planta piloto son:

*Cajón de altura h = 8 m, con 2 cámaras*

*Cámara: anchura = 2,3 m; longitud = 7,5 m*

*Péndulo: altura h = 7,4 m; anchura b = 2,0 m*

*Oscilación de funcionamiento: $\alpha$ =14°; oscilación maximal: $\alpha$ =30°*

*Potencia: N = 5 kW, para alturas de ola $H_s$ = 1,5 m y período: $T_s$ = 4 seg*

*Potencia máxima: N = 15 kW*

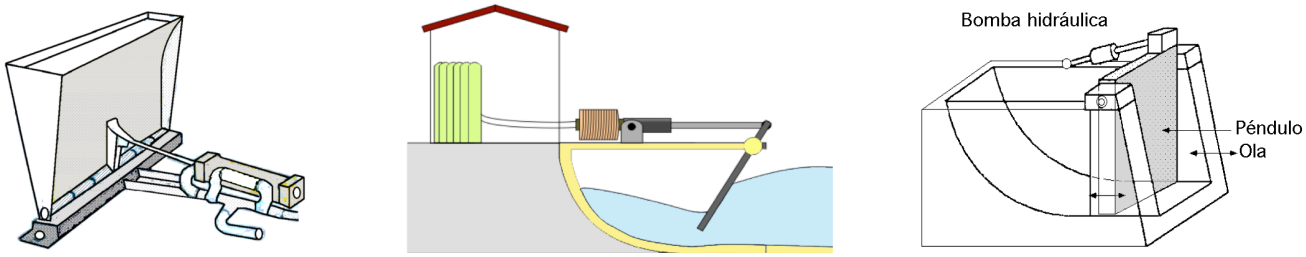


*Fig V.9.- Péndulo articulado en su parte inferior, péndulo de palanca en superficie y péndulo articulado en su parte superior*

Otras variantes del Péndulo consisten en un cajón y una placa vertical, articuladas en su extremo superior o inferior, que proporcionan un pequeño giro, o un efecto palanca, Fig V.9.

El eje de la articulación está unido a un motor hidráulico que acciona un generador.

Las dimensiones de la cámara son: anchura = 5 m; longitud = 6,15 m; altura = 4,6 m

***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, Fig V.10, 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.

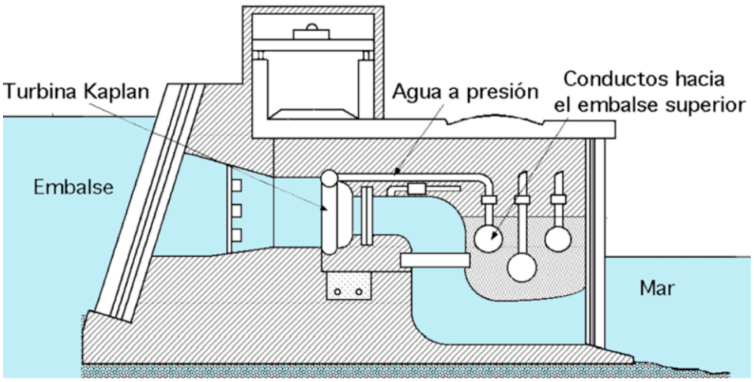



*Fig V.10.- Instalación Chapman, Toftestallen*

La capacidad del embalse es de 8500 $m^3$ y alimenta una turbina hélice de 0,35 MW. La longitud total del canal es de 170 m. La forma de la embocadura se ha conseguido mediante voladura de la roca existente, y la parte estrecha, que corresponde a la mitad de la longitud total, se ha construido de hormigón; funcionó durante 6 años, habiendo sido sometida a reparaciones posteriores.

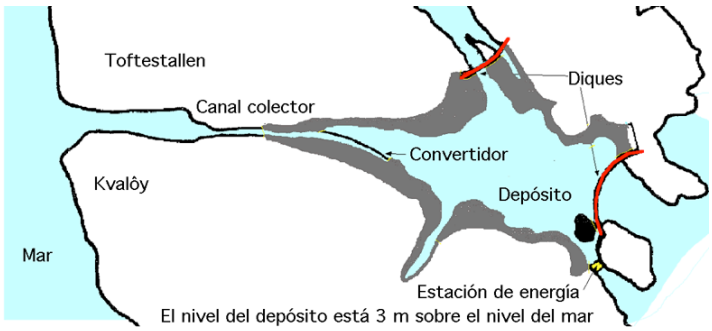



*Fig V.10a.- Situación del Chapman en Toftestallen, Noruega*

En Java (Indonesia), se ha desarrollado otro proyecto de 1,1 MW de las siguientes características:

*Superficie del embalse: 7000 $m^2$ ; Salto máximo: 4 m*

*Colector: ancho 124 m; longitud 126 m*

*Convertidor: anchura máxima 7 m; longitud 60 m*

*Energía anual: 6,1 GWh*

Para una potencia media anual del oleaje de 17 kW/m, la energía anual de incidencia es:

$$124\ (m) \times 17\ (kW/m) \times 8760\ (horas) = 18{,}5\ GWh$$

La eficiencia global anual se estima en un 33%. La potencia $N$ de un aprovechamiento hidroeléctrico del agua almacenada con un salto $H$ y un caudal $Q$ es: $N\,(kW) = 8\ Q\ (m^3/seg) \times H\ (m)$

*Para una potencia nominal de 1,1 MW el caudal sería,* $\begin{cases} Q = 34\ m^3/seg \text{ para un salto } H = 4\ m \\ Q = 46\ m^3/seg \text{ para un salto } H = 3\ m \end{cases}$

Suponiendo se admite una variación en el salto de 1 metro, el embalse garantiza la generación eléctrica a potencia nominal durante tres minutos, sin que haya aportaciones al embalse. Para el almacenamiento de la energía durante períodos mayores sería necesario un embalse más amplio, u otro adicional a mayor altura, utilizando una turbobomba en vez de una turbina hidráulica convencional. En King Island (estrecho de Bass, Australia), se ha construido un prototipo de 1 MW.

## IV.5.- SISTEMAS DE BOMBEO

***OWC Bomba de manguera***.- La bomba de manguera, desarrollada en Suecia en los años 80, aprovecha las características elásticas de una manguera de elastómeros, provista de válvulas rectificadoras, que cuando 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 V.11.

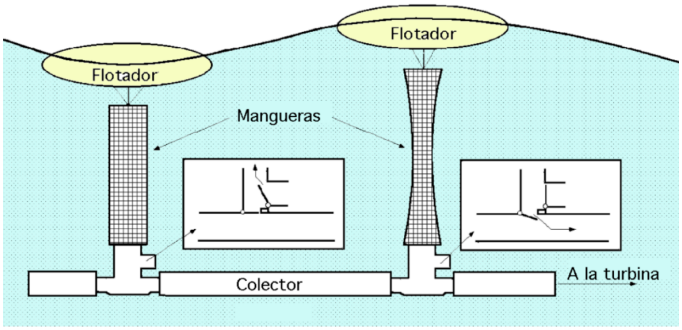



*Fig V.11.- Bomba de manguera*

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.

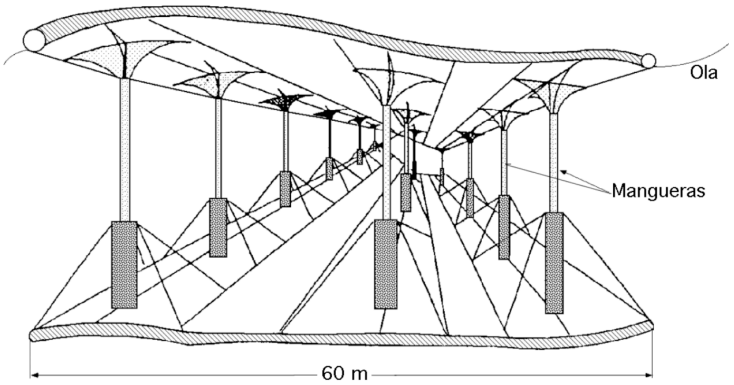



*Fig V.12.- Sistema de mangueras Lilypad*

El sistema Lilypad, Fig V.12, es un dispositivo flotante de grandes dimensiones, que utiliza un sistema de mangueras en serie, conectadas en sus extremos a membranas deformables:

- *Unas flotantes o ligeramente sumergidas*
- *Otras sumergidas fuera de la influencia del oleaje*

***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 rectifica-

doras a la entrada del agua generando un flujo de agua que se aprovecha en una turbina hidráulica.

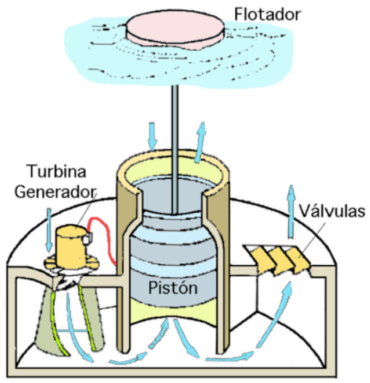



*Fig V.13*
*Bomba de pistón de Hanstholm*

Se construyó un prototipo a 3 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, Fig V.13. 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 enviada 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, un pistón de 55 Tm, y una estructura de hormigón en el fondo de 3000 Tm, generaría 350 MW.

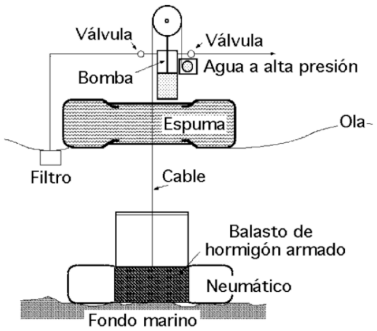



*Fig V.14*
*Bomba de pistón montada sobre boya*

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 $m^3$ 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, Fig V.14.

***OWC Bomba McCabe.-*** Este dispositivo fue ideado en 1980 y en agosto de 1996 se construyó en la costa de Kilbaha, Irlanda, un prototipo de 40 m de largo, Fig V.15; actualmente se está construyendo un nuevo dispositivo.

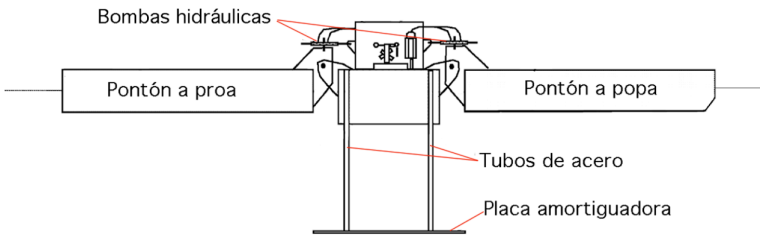



*Fig V.15.- Bomba de McCabe*

Consiste en tres pontones de acero rectangulares, unidos mediante bisagras, que se alinean perpendicularmente a la dirección de las olas incidentes, provocando un movimiento alternativo por la acción de éstas. Se pensó para presurizar agua de mar y mediante ósmosis inversa producir agua potable. Otro análisis ha demostrado su posible uso para comprimir aceite a presión para su utilización en un motor hidráulico unido a un generador eléctrico; esto requeriría el uso de un acumulador para absorber cualquier fluctuación de la energía.

## V.6.- SISTEMAS HIDRÁULICOS

***OWC Frog***.- Este sistema consta de un flotador en forma de remo en posición vertical, conectado rígidamente a un casco sumergido y anclado al fondo del mar, como una boya, Fig V.16. El casco contiene una masa, que actúa como pistón dentro de un cilindro, que puede moverse sobre un eje en la dirección de las olas, produciéndose un flujo de aceite a alta presión, para su utilización como fluido en una turbina hidráulica.

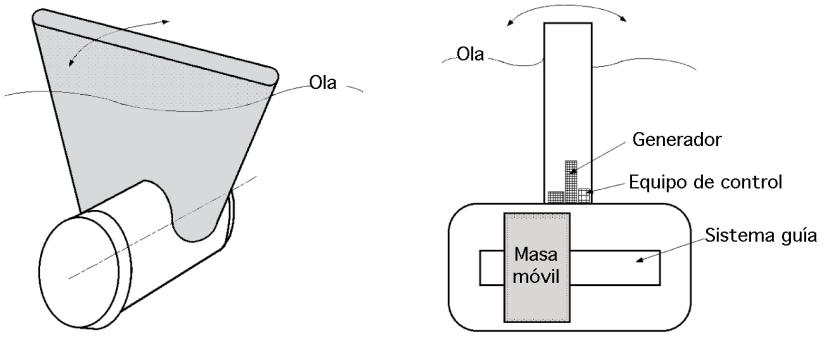



*Fig V.16.- Sistema Frog*

El casco, metálico, tiene 23 m de altura y pesa 1.625 Tm, de las que 1.250 Tm corresponden a la masa de reacción; el Frog, poco desarrollado, se caracteriza por una alta eficiencia en conversión primaria, hecho comprobado en pruebas con olas regulares.

***OWC Duck o Pato Salter***.- Se puede considerar como un totalizador activo para el aprovechamiento de las olas a gran escala en altamar, Fig V.17; 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.

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. El módulo de una supuesta central podría estar formado por 54 cilindros flotantes de hormigón, de 14 m de diámetro y 90 m de longitud, de 11.000 Tm cada uno, anclados a 100 m de profundidad. Sobre cada uno de los cilindros irían montados dos cascos, los ducks, que podrían rotar alrededor de los cilindros en respuesta a las olas.

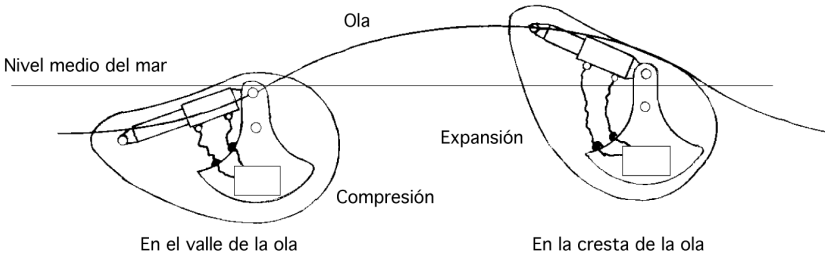



*Fig V.17.- Sistema de Pato Salter*

Una planta de 2 GW estaría conformada por 8 módulos con un total de 864 Ducks, y una longitud de 38,9 km; cada Duck estaría provisto, en su interior, del equipo mecánico y eléctrico propio para la generación de electricidad. La conversión secundaria se realizaría por un sistema hidráulico de aceite.

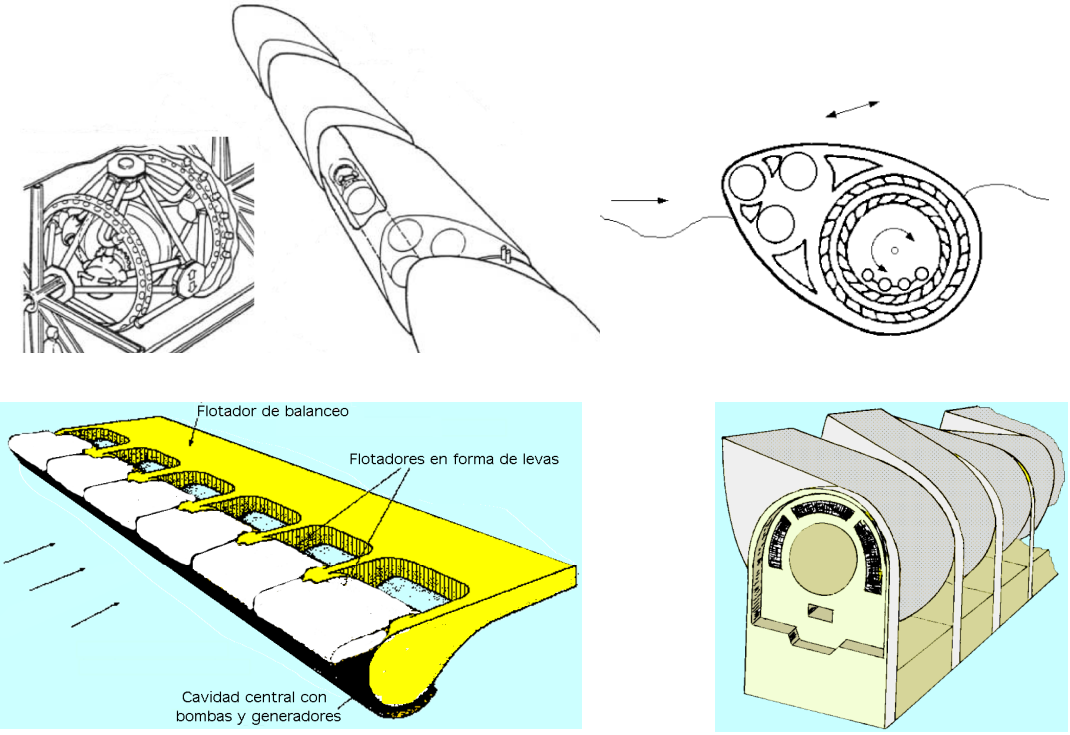



*Fig V.18.- Diversos esquemas de pato Salter*

Una de las características del Duck sería una alta eficiencia en la conversión primaria, alcanzando casi el 100% en condiciones óptimas. Gran parte de la tecnología de conversión es nueva y necesita investigarse aún mucho más; su aplicación real queda para un futuro lejano.

***OWC Cilindro Bristol***.- El cilindro, desarrollado por la universidad de Bristol, es otro concepto para grandes aprovechamientos. Una planta que funcionase con este sistema constaría de 276 módulos o cilindros; cada cilindro mediría 100 m de longitud y 16 m de diámetro; su parte superior estaría situada a 6 m de la superficie del agua, y anclada a 40 m de profundidad, por lo que el cilindro totalmente sumergido, no tiene su estructura sometida a fuerzas excesivas durante las tormentas, Fig V.19. En la estructura de anclaje están incorporadas bombas hidráulicas, que permiten un desplazamiento vertical.

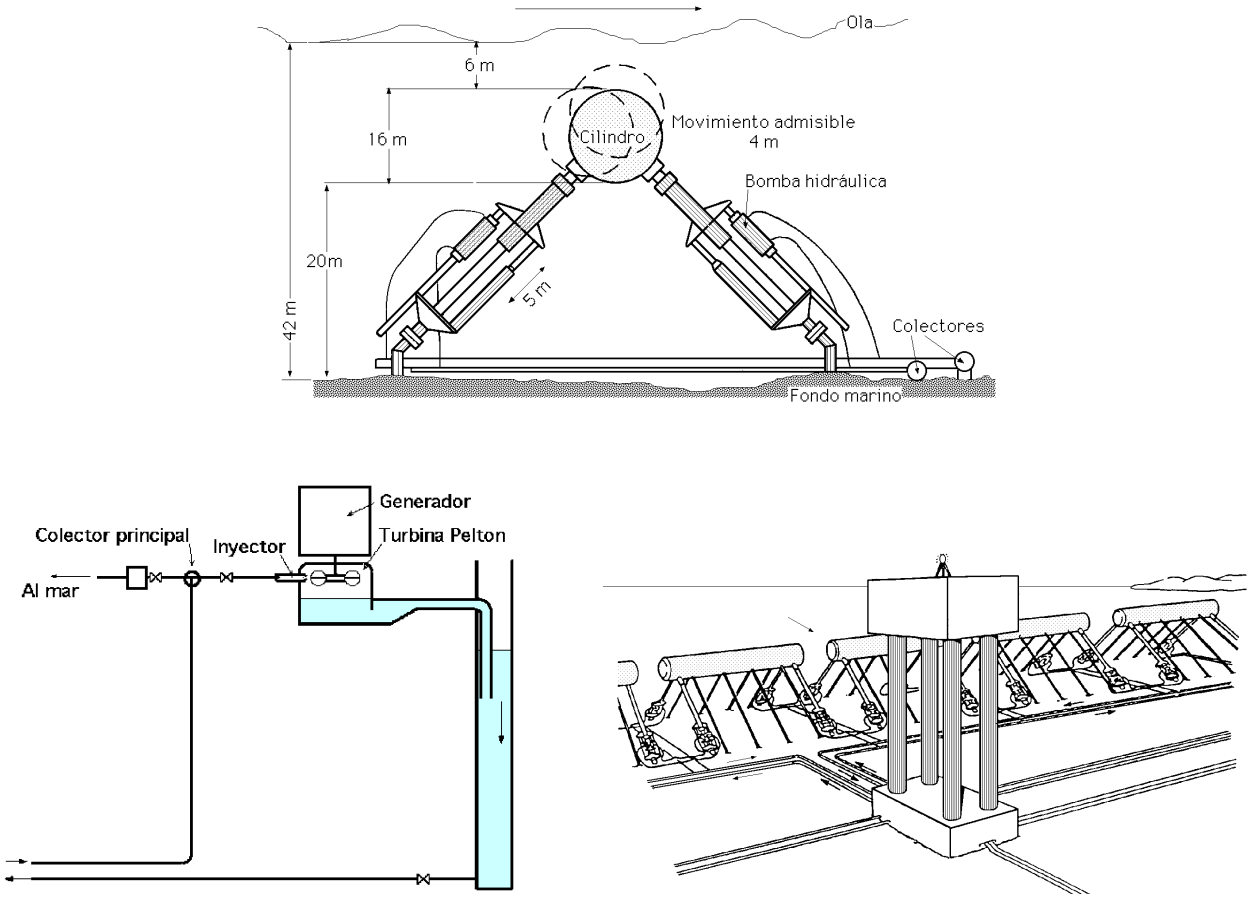



*Fig V.19.- Cilindro Bristol*

Expuesto al oleaje, el cilindro describe un movimiento circular, en respuesta al movimiento orbital de las partículas de agua dentro de la ola.

El medio de bombeo, agua del mar, sería transportado por tuberías de 1,2 m a seis plataformas por encima del nivel del mar, cada una equipada con 3 turbinas Pelton de 120 MW. La potencia nominal de la instalación sería 2 GW, habiéndose demostrado que la extracción podría alcanzar el 100% con una adecuada combinación de movimientos.

***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) citado, colocado en las articulaciones que unen los flotadores (movimiento alternativo), Fig V.20, accionando el fluido a presión una turbina. Las balsas ascienden y descienden impulsando un fluido hasta un motor que mueve un generador por medio de un sistema hidráulico instalado en cada articulación.

El número óptimo de flotadores es 3 y el tamaño óptimo del sistema 100 m x 50 m, para conseguir potencias de 1÷2,5 MW. El oleaje produciría una rotación en las articulaciones que se podría aprovechar para accionar bombas hidráulicas.

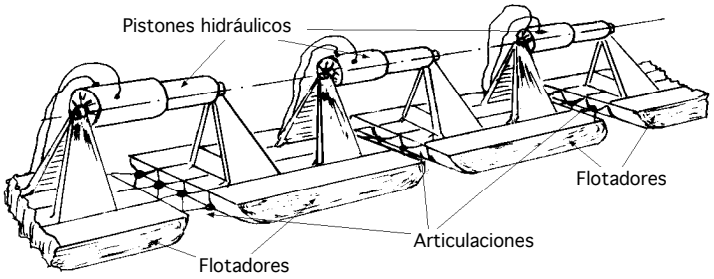



*Fig V.20.- Balsa Cockerell*

Su eficiencia teórica puede alcanzar el 90%. En ensayos con prototipos se han encontrado eficiencias del orden del 40% al 50%. Dadas sus gigantescas dimensiones, y las inmensas fuerzas que actúan sobre el anclaje, hacen que el sistema Raft no resulte competitivo.

***OWC Pelamis.-*** Es una estructura semisumergida articulada, compuesta por módulos cilíndricos unidos por bisagras 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 140 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 VI.21.- Pelamis*

El Pelamis ha concluido y cumplido por completo con todos los aspectos del programa de I+D que se le plantearon; es técnicamente correcto y, una vez que el desarrollo y las fases de demostración han sido completadas satisfactoriamente, se puede afirmar, que es económicamente factible.

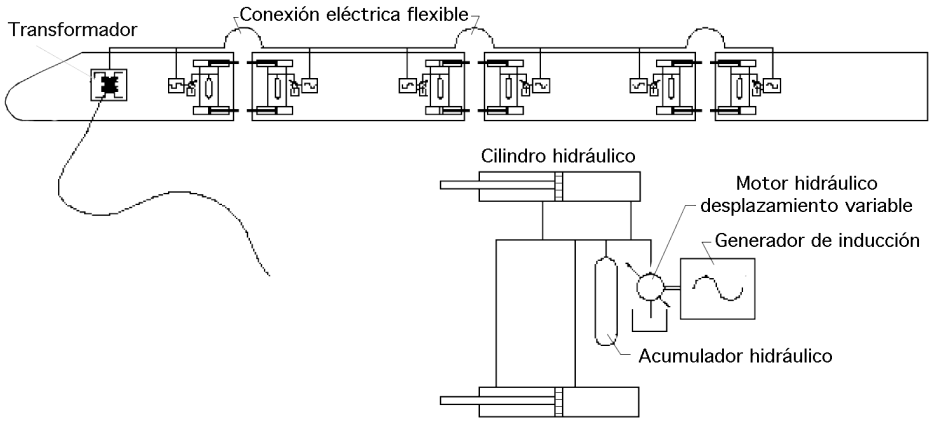



*Fig V.22.- Sistema de conversión de energía del Pelamis*

El primer parque, llamado Okeanós, se planificó en la costa portuguesa cerca de la ciudad de Póvoa de Varzin; constaba de 3 unidades P-750 con potencia unitaria de 750 kW y total 2,25 MW. El 23 de septiembre de 2008 se inauguró la primera fase de este parque de olas, y se conectó a la red eléctrica; en marzo de 2009 debido a dificultades técnicas (el mantenimiento es más difícil de lo planificado) y financieras (crisis económica) se cerró el proyecto.

***OWC Rompeolas sumergido.-*** Se han propuesto rompeolas sumergidos, Fig V.24, 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.

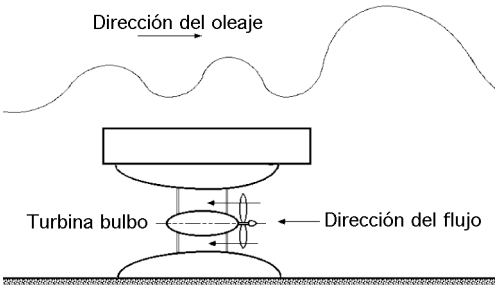
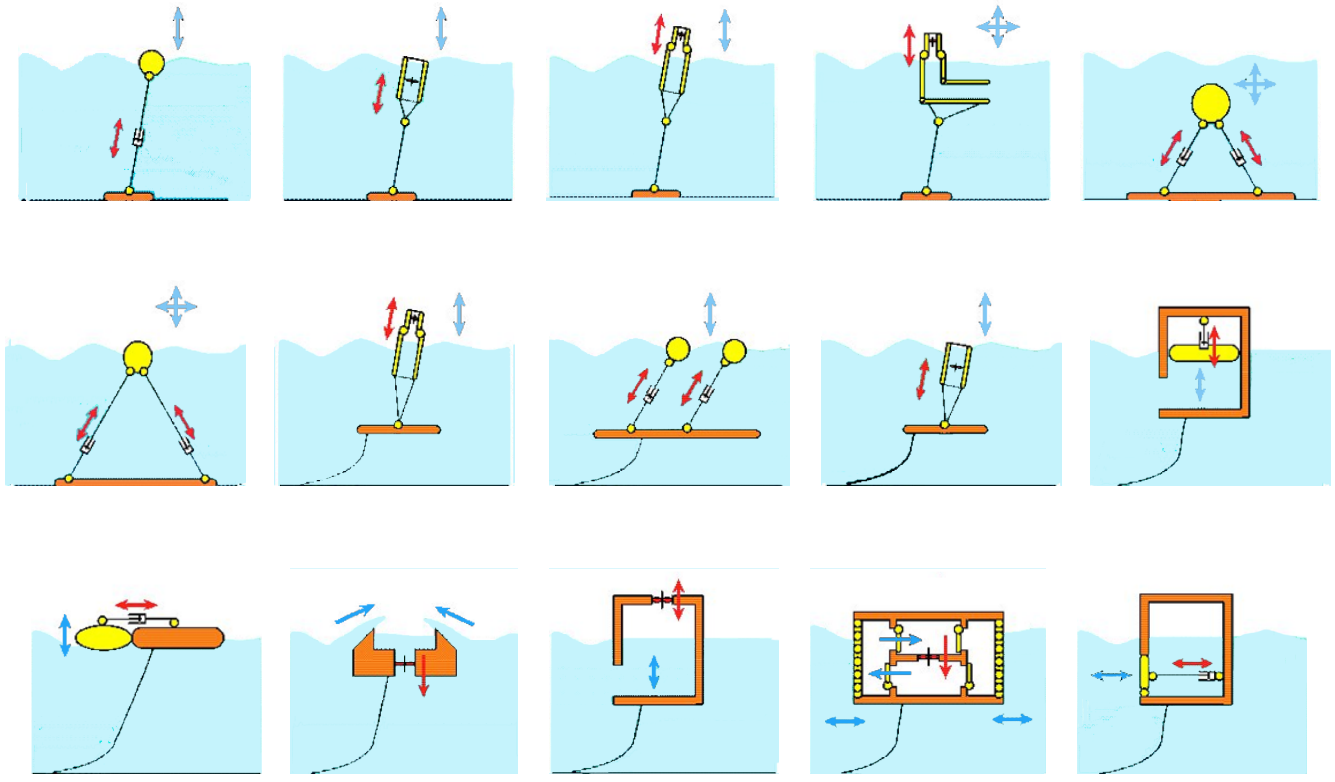



*Fig V.22.- Rompeolas sumergido con turbina Bulbo*



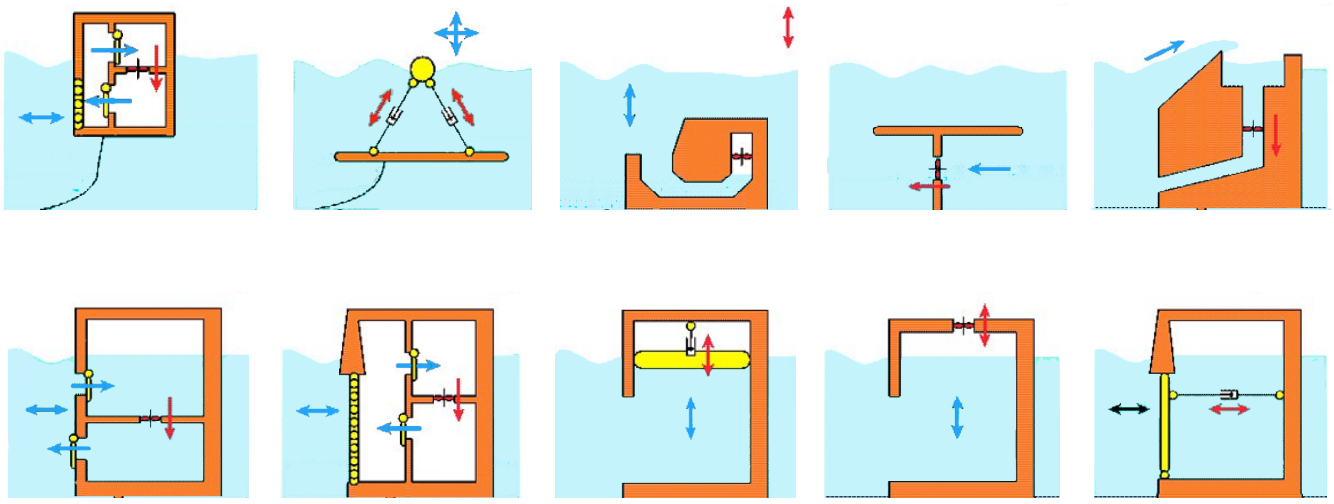


*Fig V.23.- Esquemas del estado actual del aprovechamiento de la energía de las olas*