

INTRODUCCION

La energía renovable, también llamada energía alternativa o blanda, engloba una serie de fuentes energéticas que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo. Estas fuentes serían una alternativa a otras tradicionales y producirían un impacto ambiental mínimo, pero que en sentido estricto ni son renovables, como es el caso de la geotermia, ni se utilizan de forma blanda. Las energías renovables comprenden: la energía solar, la hidroeléctrica (se genera haciendo pasar una corriente de agua a través de una turbina), la eólica (derivada de la solar, ya que se produce por un calentamiento diferencial del aire y de las irregularidades del relieve terrestre), la geotérmica (producida por el gradiente térmico entre la temperatura del centro de la Tierra y la de la superficie), la hidráulica (derivada de la evaporación del agua) y la procedente de la biomasa (se genera a partir del tratamiento de la materia orgánica).

El consumo cada vez más elevado de energía, el agotamiento progresivo de las reservas energéticas convencionales, junto al deterioro ambiental que provocan, han impuesto la necesidad de ahorrar energía y de encontrar alternativas a las fuentes energéticas convencionales.

BIOMASA

La formación de la biomasa

El modelo básico de captación y acumulación de la energía solar es el que llevan a cabo las especies vegetales verdes, única fuente energética renovable que conlleva asimismo un



almacenamiento en forma de energía de alta calidad: la energía química. Este proceso ha mantenido la vida en la Tierra hasta nuestros días en forma de materia orgánica, que resulta ser energía solar almacenada y se denomina "energía de la biomasa".

La formación de materia viva o "biomasa" a partir de la luz solar se lleva a cabo por medio del proceso denominado "fotosíntesis", por el cual los vegetales que contienen clorofila transforman productos minerales sin valor energético, dióxido de carbono y agua, en materiales orgánicos de alta energía. Los productos que fabrican para sí las plantas (azúcares, proteínas, grasas, etc.) y el oxígeno que simultáneamente eliminan sirven, a su vez, directa e indirectamente, de alimentos constituyentes o energéticos a todos los demás seres que habitan el planeta.

Aunque el rendimiento real del proceso de conversión biológica de la energía solar es bajo (alrededor de un 1%), la gran superficie de distribución de las plantas sobre el planeta permite estimar su potencial como unas 5 veces el potencial eólico, aunque su aprovechamiento real presenta ciertas limitaciones: dispersión, difícil recolección y dificultades de transporte. A pesar de todo, mediante el desarrollo de una adecuada tecnología parece evidente que podría utilizarse el potencial energético de la biomasa para cubrir un considerable porcentaje de la demanda energética actual.

Fuentes de biomasa para fines energéticos

Se puede definir la biomasa como el conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis o bien producidos en la cadena biológica, pudiéndose distinguir así dos grandes tipos:

- Biomasa vegetal
- Biomasa animal

La utilización por el hombre y por los animales de sólo una parte de la biomasa a su disposición genera una "biomasa residual", mientras que lo que hoy día se conoce como combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) no es otra cosa que "biomasa fósil". La obtención de energía útil a partir de la biomasa puede conseguirse indirectamente, mediante su transformación en productos industriales que sustituyen a otros, costosos en energía fósil, o directamente, utilizándola como combustible. En este último caso, se



presentan dos posibilidades:

Utilizar como

- Fuente de biomasa los residuos, lo que ofrece unas perspectivas universales e inmediatas de aprovechamiento
- Utilizar como fuente de biomasa los llamados "cultivos energéticos", es decir, plantaciones destinadas exclusivamente a producir energía, solución que, por diversos motivos, sólo podrá alcanzar una importancia significativa a medio o largo plazo

Los residuos son el resultado del desarrollo de la civilización actual, y están creando un problema por su magnitud y sus consecuencias. Como la mayor parte de ellos son de carácter orgánico (biomasa residual), se puede suponer que presentan un enorme potencial para la producción de energía. El tratamiento de residuos es una actividad costosa, pero su posible aprovechamiento con fines energéticos ha demostrado tener considerables ventajas, por lo que podría convertirse en una actividad de interés económico y social, debido a los beneficios que generaría.

Aunque se siguen varios criterios para clasificar los residuos, en su aspecto de biomasa se consideran tres grandes sectores que producen residuos distintos:

- Residuos agrarios
- Residuos industriales
- Residuos urbanos

–Los residuos agrarios son una consecuencia del sector primario de la actividad humana y entre ellos se puede considerar, a su vez, tres grandes grupos:

–En general, los residuos industriales con posible consideración energética son los derivados de las industrias de conservas vegetales, producción de aceites, vinos y frutos secos, aunque localmente pudieran ser importantes industrias de otro tipo, generadoras de biomasa residual.

–Finalmente, los residuos urbanos se generan diariamente en grandes cantidades en los núcleos de población, pudiéndose considerar incluidos dentro de dos grandes grupos:



La utilización de todos estos tipos de residuos con fines energéticos será, pues, un sistema de eliminación con ventajas medioambientales y que, además, podría generar productos valiosos; de ahí el interés que presenta esta fuente de biomasa.

Por su parte, los cultivos energéticos son aquellas cosechas que se desarrollan atendiendo al valor que poseen como combustible. Esta nueva faceta agrícola se conoce como "Agroenergética" y sobre la misma existen todavía interrogantes acerca de su rentabilidad e impacto social y ecológico, debido a la falta de datos experimentales. Son diversos los cultivos que se pueden aprovechar con fines energéticos, considerándose los siguientes grupos:

- Cultivos tradicionales
- Cultivos poco frecuentes
- Cultivos acuáticos
- Cultivos de plantas productoras de combustibles líquidos

–**Los cultivos tradicionales:** son los que el hombre ha venido utilizando desde hace mucho tiempo. Todas las especies de este grupo tienen determinadas exigencias climáticas y necesidad de terrenos fértiles y agua por lo que su cultivo podría suponer un elevado grado de competencia con los cultivos alimentarios, a no ser que se utilicen con fines energéticos los excedentes de cosechas.

- Cereales
- Caña de azúcar
- Remolacha
- Mandioca
- Plantaciones forestales

–**Los cultivos poco frecuentes:** son especies silvestres con posible adaptación a áreas no aprovechables para fines alimentarios, lo que evitaría la competencia energía–alimentación. Se ha centrado la atención en especies de gran producción de biomasa en condiciones de suelo y clima desfavorables, tales como:

- Cardos
- Pataca
- Chumberas
- Helechos

–**Los cultivos acuáticos:** se contemplan a más largo plazo que los terrestres por la falta de experiencia en este campo, aunque los océanos poseen entre 5 y 10 veces más superficie potencialmente productiva de biomasa que la tierra. Hasta el momento sólo se ha abordado el estudio de las algas convencionales y las unicelulares como especies marinas, y el jacinto de agua como planta acuática de agua dulce.

–**Las plantas productoras de combustibles líquidos:** son aquéllas que producen sustancias que, con un tratamiento sencillo, pueden ser usadas como combustibles por sus propiedades parecidas a los derivados del petróleo. El cultivo de algunas de estas especies, generalmente silvestres, constituye un panorama actualmente muy interesante, pudiéndose destacar:

- Palmeras
- Ricino
- Copaiba
- Membrillo negro

No son las plantas que se han citado los únicos candidatos como productores de energía. En cada circunstancia se deberán ensayar las especies autóctonas de las que se sospeche una mayor acomodación al medio, para posteriormente iniciar una selección genética de variedades encaminadas a obtener la mayor cantidad posible de biomasa recolectable.

Procesos de transformación de la biomasa en energía

Las características de gran parte de la biomasa hacen que en la mayoría de los casos no sea adecuada como tal para reemplazar a los combustibles convencionales, por lo que es necesaria una transformación previa de la biomasa en combustibles de mayor densidad energética y física, contándose para ello con diversos procedimientos, que generan una gran variedad de productos. Los combustibles así obtenidos cuentan con las siguientes ventajas:

- Presentan escaso contenido en azufre
- No forman escorias en su combustión
- Tienen bajo contenido en cenizas
- Contribuyen a mejorar la calidad del medio ambiente

Así, proceda de residuos o de cultivos energéticos, la biomasa generalmente se transforma en calor, combustibles o electricidad, que conducen a la forma de energía útil requerida en cada caso. Algunos combustibles pueden obtenerse de la biomasa directamente por extracción (plantas productoras de hidrocarburos), pero es más frecuente someter la biomasa a distintas manipulaciones, según su naturaleza y contenido en humedad, para su transformación en combustibles. Estas transformaciones pueden dividirse en dos grupos

- **Procesos termoquímicos:** aplicación de elevadas temperaturas con exceso de oxígeno (combustión), en presencia de cantidades limitadas de oxígeno (gasificación) o en ausencia del mismo (pirólisis); los materiales más idóneos son los de bajo contenido en humedad (madera, paja, cáscaras, etc.) y se generan mezclas de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos
- **Procesos bioquímicos:** se llevan a cabo mediante diversos tipos de microorganismos, que degradan las moléculas complejas a compuestos simples de alta densidad energética; se utilizan para biomasa de alto contenido en humedad, siendo las más corrientes la fermentación alcohólica para producir etanol y la digestión anaerobia, para la producción de metano.

Cubas de fermentación

CUBAS DE FERMENTACION



Energía solar

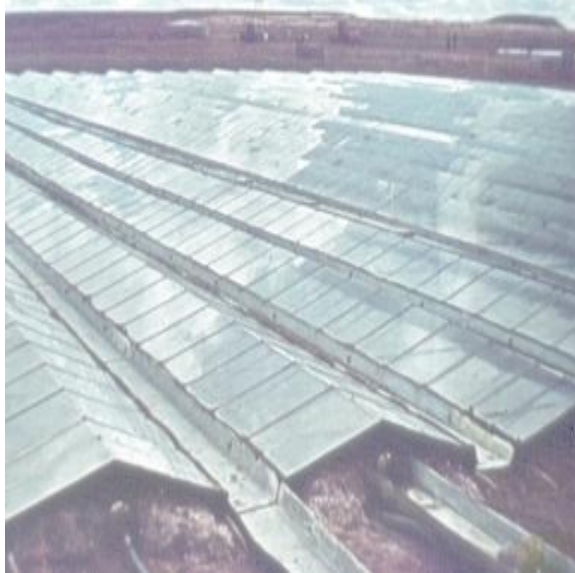
El sol como fuente de energía

El Sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso, principalmente hidrógeno, en unas condiciones tales que producen de forma espontánea e interrumpida un proceso de fusión nuclear. Este es el origen de la energía solar, que se puede considerar como una fuente inagotable de energía.

La parte de esta energía que llega a la Tierra, aunque es muy pequeña, supera en unas 10.000 veces la potencia de todas las formas de energía que emplea el hombre. Así, al exterior de la atmósfera llegan unos 1.353 W/m^2 , cifra denominada "constante solar", energía que corresponde a una radiación electromagnética formada por distintas longitudes de onda (espectro solar) agrupadas en tres bandas: ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (IR). Cada banda transporta una cantidad de energía determinada, siendo a este respecto las más importantes el visible y el IR.

Ahora bien, toda esta energía no llega a la superficie de la Tierra; al atravesar la radiación solar la atmósfera pierde intensidad, debido a diversos factores, tanto atmosféricos como geográficos. Todo ello hace que la energía que recibe la Tierra del Sol (radiación global) tenga dos componentes: la radiación directa, que no sufre cambios, y la radiación dispersa (o difusa), debida a la dispersión por parte de la atmósfera y del suelo. Con todo esto, la radiación que llega al suelo es de unos 900 W/m^2 , valor que, a escala de todo el planeta, equivale a unas 2.000 veces el consumo energético mundial.

La irregular distribución de este flujo energético hace necesario su medida experimental, para obtener datos fiables para el diseño y construcción de los sistemas de captación. Actualmente se dispone de diferentes aparatos de medida de la radiación solar, que permiten elaborar los llamados "mapas solares", muy útiles en el cálculo de instalaciones de aprovechamiento de la energía solar.



Sistemas de captación

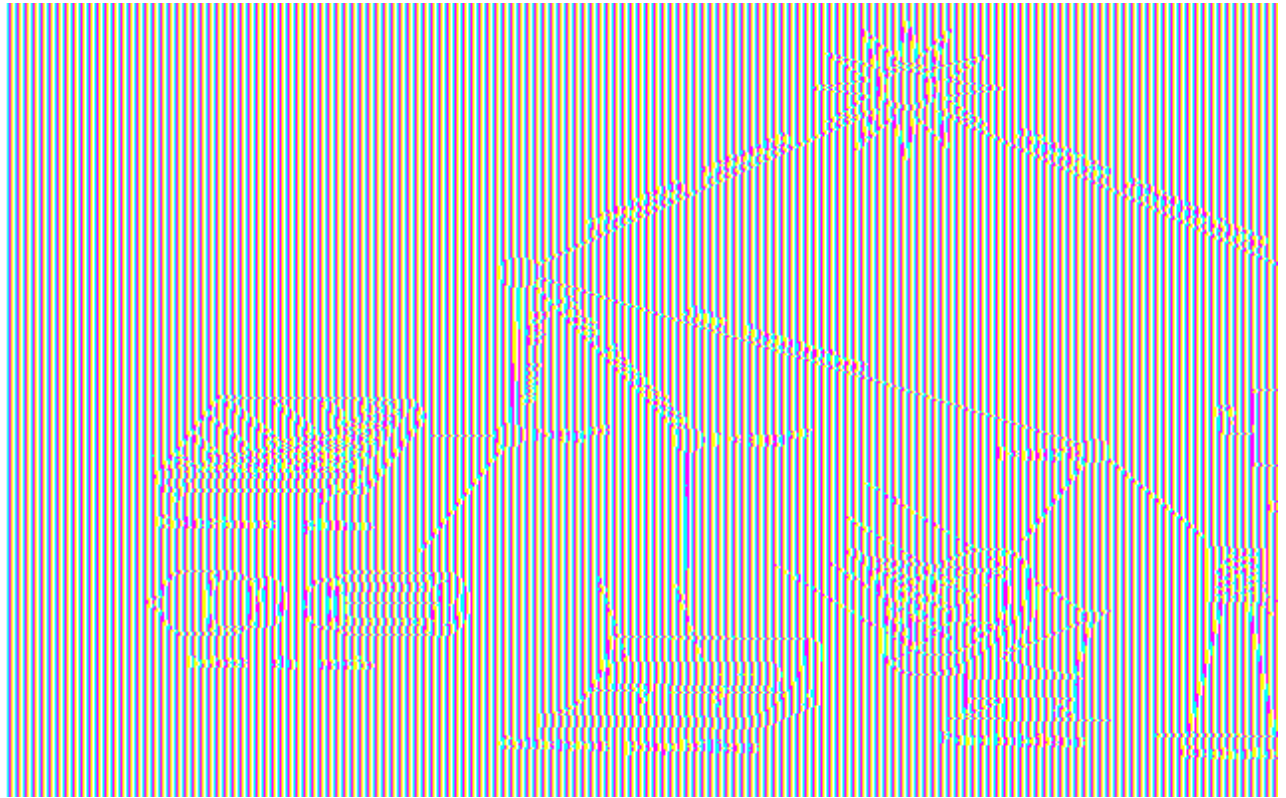
La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

- **Dispersión:** su densidad apenas alcanza 1 kW/m^2 , muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
- **Intermitencia:** hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada

Ello lleva a un replanteamiento en el aprovechamiento de la energía, totalmente distinto al clásico, lo que requiere un gran esfuerzo de desarrollo. Así pues, el primer paso para el aprovechamiento de la energía solar es su captación, aspecto dentro del que se pueden distinguir dos tipos de sistemas:

- **Pasivos:** no necesitan ningún dispositivo para captar la energía solar, cuyo aprovechamiento se logra aplicando distintos elementos arquitectónicos
- **Activos:** captan la radiación solar por medio de un elemento de determinadas características, llamado "colector"; según sea éste se puede llevar a cabo una conversión térmica (a baja, media o alta temperatura), aprovechando el calor contenido en la radiación solar, o bien una conversión eléctrica, aprovechando la energía luminosa de la radiación solar para generar directamente energía eléctrica por medio del llamado "efecto fotovoltaico"

En la figura se muestra el esquema de los distintos sistemas activos enumerados, estudiándose a continuación tanto éstos como los sistemas pasivos.



EOLICA

La energía del viento

Sólo un 2 % de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica y por diversos motivos, sólo una pequeña parte de esta energía es aprovechable. A pesar de ello, se ha calculado que el potencial energético de esta fuente de energía es unas 20 veces el actual consumo mundial de energía, lo que hace de la energía eólica una de las fuentes de energía renovables de primera magnitud.

La energía del viento es de tipo cinético (debida a su movimiento); ello hace que la potencia obtenible del mismo dependa de forma acusada de su velocidad, así como del área de la superficie captadora. Así, todas las máquinas que ha construido el hombre para obtener el mayor rendimiento posible de la energía del viento se basan en frenar el viento por medio de algún dispositivo colocado en su camino, como queda patente al hacer un breve repaso histórico del aprovechamiento de la energía eólica.

La energía del viento se ha utilizado desde tiempos antiguos y actualmente se aprovecha para la producción de electricidad. Consta de un rotor o hélice colocado a determinada altura, que se mueve por el viento y está conectado a un aerogenerador de electricidad.



Máquinas eólicas

Una máquina eólica es cualquier dispositivo accionado por el viento. Si se utiliza directamente la energía mecánica, será un aeromotor, y si se acciona un generador eléctrico, se tratará de un aerogenerador.

Los elementos de que consta una máquina eólica son los siguientes:

- Soportes
- Sistema de captación
- Sistema de orientación
- Sistema de regulación
- Sistema de transmisión
- Sistema de generación

Las máquinas eólicas se han de colocar sobre un soporte que resista el empuje del viento y que permita elevarla lo suficiente para evitar las turbulencias debidas al suelo o a los obstáculos cercanos. Se pueden distinguir dos tipos de soportes:

- Autoportantes: torres de estructura metálica, de hormigón o tubulares
- Atirantados: estructuras unidas al suelo por cables tensados que permiten, en las máquinas pequeñas, abatir la máquina para su mantenimiento o reparación

El sistema de captación o "rotor" es el elemento principal de una máquina eólica. Está compuesto por cierto número de "palas" y su misión es transformar la energía del viento en energía mecánica utilizable. Existe gran variedad de rotores, mostrándose en la Figura 3.4 algunos ejemplos de rotores, tanto de eje horizontal como de eje vertical.

Los parámetros principales de un rotor son los siguientes:

- Velocidad típica de giro: relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento, permite su clasificación en rotores lentos (velocidad típica próxima a 1) o rápidos (velocidad típica de 5 a 8)
- Rendimiento aerodinámico: también llamado "coeficiente de potencia", expresa la fracción de la energía del viento que se transforma en energía mecánica; su valor oscila entre el 20 y el 40 %, dependiendo de las siguientes características geométricas de las palas:
 - Longitud
 - Perfil, o forma del borde de ataque de la pala contra el viento
 - Calaje, o ángulo de ataque de la pala contra el viento
 - Anchura

Por otra parte, el material utilizado en las palas tiene gran importancia, ya que debe ser rígido, ligero y barato. En los últimos años se han ensayado tanto la madera, diversas aleaciones metálicas y polímeros de resinas plásticas, habiendo dado estos últimos muy buenos resultados, con una considerable reducción de los costes de la pala.

Los sistemas de orientación sólo son necesarios en las máquinas eólicas de eje horizontal y constan de un mecanismo que detecta la dirección del viento y sitúa el rotor en su misma dirección.

Para máquinas de pequeña y mediana potencia (menor de 50 Kw.), cuyo rotor está situado cara al viento, el dispositivo más adecuado suele ser una cola, superficie plana situada en el extremo de un soporte unido al cuerpo del aeromotor. También se utilizan rotores auxiliares dos pequeñas hélices tras el rotor y en dirección perpendicular al mismo, sobre las que sólo actúa el viento cuando el rotor no está orientado.

Las máquinas mayores, cuyo rotor suele estar situado detrás de la torre, utilizan para su orientación el efecto de conicidad, basado en una leve inclinación de las palas hacia atrás. Finalmente, en las grandes máquinas, se dispone de motores auxiliares, que funcionan de forma automática orientando el rotor en la dirección adecuada.

Los sistemas de regulación tienen por objeto controlar la velocidad de rotación, evitando las fluctuaciones producidas por la velocidad del viento. Los sistemas más sencillos operan sólo con vientos muy fuertes, frenando el rotor; los más elaborados adaptan la máquina a cualquier condición de viento y de potencia.

El sistema de regulación más sencillo es el de "puesta en bandera", que produce un frenado al situar el rotor paralelo al viento; el rotor es devuelto a su posición normal cuando la velocidad del viento disminuye.

El sistema de paso variable es probablemente la forma de regulación más eficaz y actúa variando el ángulo de ataque de las palas, lo que hace variar el rendimiento



aerodinámico y, en consecuencia, la potencia absorbida. Esto se lleva a cabo con ayuda de diversos mecanismos, que varían según el tamaño y características de la máquina eólica y un ejemplo de los cuales se muestra en la No sólo se puede regular la velocidad de giro de la máquina actuando sobre el rotor; también se puede actuar sobre el eje motor, realizándose el control de la potencia mediante el frenado del mismo. El freno

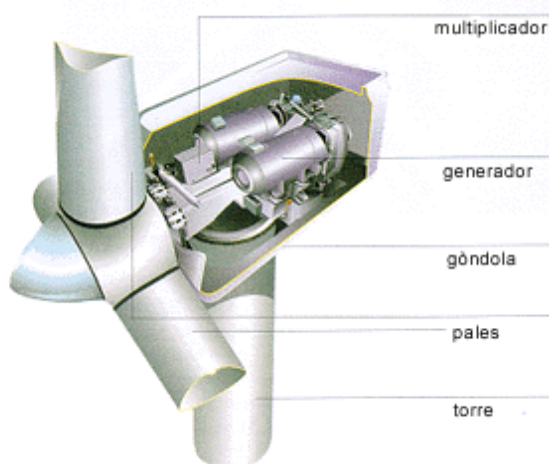
puede ser de zapatas, de disco o de tipo electromagnético y puede actuar por distintos mecanismos. Aunque este sistema tiene que realizar esfuerzos mayores, posee la ventaja de ser más sencillo y de encontrarse ya comercializado, hecho que disminuye considerablemente sus costes.

Para poder aprovechar la energía mecánica obtenida en el rotor es necesario un sistema de transmisión. La energía mecánica se puede transmitir como tal o mediante poleas, engranajes o utilizando un sistema cigüeñal–biela. Cuando se desea generar energía eléctrica es necesario primero aumentar la velocidad de giro del rotor, que suele ser inferior a las 200 r.p.m., antes de accionar el generador. Ello se logra con un multiplicador, que puede ser de diferentes tipos. Se logran así velocidades de giro de varios miles de revoluciones por minuto, que permiten accionar generadores eléctricos.

Los sistemas de generación se utilizan en las máquinas eólicas para producir energía eléctrica, forma de energía preferible a la mecánica, debido a la facilidad en su manipulación y transporte así como a la versatilidad que presentan sus aplicaciones posteriores. El sistema eléctrico de un aerogenerador está condicionado por la velocidad de operación del rotor y por el uso que se le dé a la energía obtenida. Los generadores que transforman la energía mecánica en eléctrica pueden ser dinamos o alternadores.

La dinamo es una máquina eléctrica sencilla que produce corriente continua y es capaz de proporcionar potencia a escasas revoluciones, con lo que a veces se puede prescindir de la etapa previa de multiplicación. Normalmente, la corriente eléctrica producida por una dinamo se almacena como tal en un sistema de acumulación de baterías.

Los alternadores generan corriente alterna y para una misma potencia son más ligeros, baratos y de mayor rendimiento que las dinamos, pero trabajan a elevado número de revoluciones, por lo que necesitan un multiplicador.



Diseño de instalaciones eólicas

En el diseño de una instalación eólica es necesario considerar tres factores:

- El emplazamiento
- El tamaño de la máquina
- Los costes

El **emplazamiento** elegido para instalar la máquina eólica ha de cumplir dos condiciones: el viento ha de soplar con regularidad y su velocidad ha de tener un elevado valor medio. Se hace necesario, por tanto, disponer de una información meteorológica detallada sobre la estructura y distribución de los vientos. Las mediciones estadísticas deben realizarse durante un período mínimo de tres años, para poder obtener unos

valores fiables, que una vez procesados permiten elaborar:

- Mapas eólicos: proporcionan una información de ámbito global del nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica, situando las zonas más idóneas bajo el punto de vista energético
- Distribuciones de velocidad: estudio a escala zonal de un mapa eólico, que proporciona el número de horas al año en que el viento tiene una dirección y una velocidad determinadas
- Perfiles de velocidad: variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo, obtenido por un estudio puntual

Las medidas necesarias para obtener los parámetros indicados se hacen con diversos aparatos, más o menos sofisticados, pero que están basados principalmente en el funcionamiento del anemómetro (medidor de la velocidad del viento).

En resumen, la elección del emplazamiento de una máquina eólica es un elemento determinante para su explotación, y depende de forma casi total del potencial eólico de la zona, aunque el tamaño de la máquina también suele influir en la decisión final.



El tamaño de la máquina condiciona fuertemente los problemas técnicos. En el caso de las grandes plantas eólicas, el objetivo principal es conseguir unidades tan grandes como sea posible, con el fin de reducir los costes por Kw. obtenido, pero las grandes máquinas presentan problemas estructurales que sólo los puede resolver la industria aeronáutica. Para las pequeñas aeroturbinas, el problema es diferente; el objetivo técnico principal es la reducción de su mantenimiento, ya que su aplicación suele estar dirigida a usos en zonas aisladas.

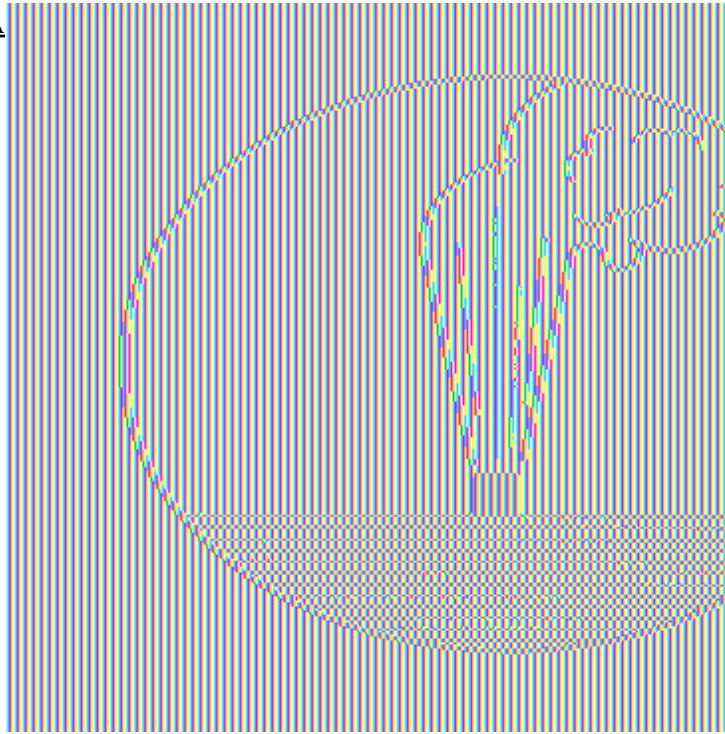
Se observa, pues, que el criterio de elección del tamaño de la máquina eólica es su coste, aunque hay que contemplar asimismo su aplicación. Así, si se desea producir energía eléctrica para distribuir a la red, es lógico diseñar una planta eólica mediana o grande, mientras que si se trata de utilizar esta energía de forma aislada, será más adecuado la construcción de una máquina pequeña, o acaso mediana.

Finalmente, el tamaño de la planta eólica determina el nivel de producción y, por tanto, influye en los costes de la instalación, dentro de los que cabe distinguir entre el coste de la planta (coste por Kw.) y el coste de la energía (coste por kW/h).

En las plantas de gran potencia el coste de la instalación presenta economía de escala: hasta ciertos límites tecnológicos, cuanto mayor sea la instalación, menor será su coste por Kw. Sin embargo, el coste de la energía depende de diferentes factores variables.

En las pequeñas máquinas eólicas, el coste de instalación es difícil de determinar, principalmente debido a que se ve muy afectado por el volumen de fabricación, y éste depende del mercado. Por su parte, el coste de la energía es muy superior al precio de la energía convencional. Sin embargo, la rentabilidad de las pequeñas máquinas puede resultar positiva si se tiene en cuenta su ámbito de aplicación, lugares aislados donde el coste de la energía de la red es muy superior al coste en los grandes centros de consumo, una vez añadidos los gastos de instalación de la línea.

GEOTERMICA



El fenómeno geotérmico



La energía geotérmica se relaciona con todo fenómeno que se refiere al calor almacenado en el interior de la Tierra, llamándose "energía geotérmica" a la energía derivada de este calor, que se produce de forma continua por la desintegración de los materiales radiactivos que existen en muy pequeñas proporciones en las rocas naturales. El calor se transmite a través del subsuelo y llega a la superficie muy lentamente, por lo que la mayor parte queda almacenado en el interior de la Tierra durante largo tiempo. De esta forma, a medida que aumenta la profundidad la temperatura de las rocas es más elevada; a la variación de la temperatura con la profundidad se le denomina "gradiente geotérmico" siendo su valor normal alrededor de los $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$. El flujo de calor, o "flujo geotérmico" que produce esta diferencia de temperaturas es muy bajo (unos $60\text{ mW}/\text{m}^2$) si se compara con el flujo de energía solar, lo que condiciona fuertemente la utilización de la energía geotérmica.

No obstante, existen zonas de la Tierra donde estos valores son muy superiores (hasta $200\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$), y será allí más fácil extraer el calor. Por ello los recursos geotérmicos mundiales sólo son aprovechables en una pequeña parte, pero lo suficientemente grande como para poder hablar de una fuente energética renovable de gran magnitud, ya que si los volúmenes de rocas calientes son suficientemente grandes, su calor puede tardar millones de años en disiparse.

Generalmente las alteraciones geotérmicas de mayor magnitud presentan unas "manifestaciones superficiales" que indican su posible existencia y que pueden ser:

- Volcanismo reciente
- Zonas de alteración hidrotermal
- Emanaciones gaseosas
- Fuentes termales y minerales
- Anomalías térmicas

Sin embargo, estas manifestaciones no representan un signo definitivo de la existencia de un gradiente geotérmico aprovechable, pero a falta de otros métodos, suelen ser el punto de partida de una prospección en busca de un campo geotérmico.

El sistema geotérmico

Para poder extraer el calor del interior de la Tierra han de darse ciertas condiciones: la existencia de zonas a elevada temperatura a profundidades asequibles y la existencia cerca de ellas de rocas porosas capaces de retener agua. Así, se define como "yacimiento geotérmico" un volumen de roca con temperatura anormalmente elevada para la profundidad a que se encuentra, susceptible de ser recorrida por una corriente de agua que pueda absorber calor y transportarlo a la superficie.

Obsérvese que esta definición no implica que el agua se encuentre en el yacimiento a priori. Por lo tanto, según las características geológicas de los yacimientos y la forma en que el calor se transporta a la superficie, aquellos pueden ser:

- Sistemas hidrotérmicos
- Sistemas geopresurizados
- Sistemas de roca seca caliente

Un sistema hidrotérmico, está formado por una fuente de calor situada a una profundidad relativamente pequeña (de 1 a 10 km), que garantiza un elevado flujo térmico por un largo período de tiempo. Por encima de ella se halla situada una roca permeable conteniendo agua (acuífero), que permite la circulación de ésta cerca de la roca caliente. Sobre el acuífero se encuentra una capa de roca impermeable y algunas fallas que delimitan el yacimiento y permiten el aporte de agua a partir de las precipitaciones atmosféricas. Así, el agua adquirirá la temperatura del sistema geotérmico y se encontrará en estado líquido, en forma de vapor, o como mezcla de líquido y vapor en equilibrio, según las condiciones de presión y temperatura del yacimiento. Los sistemas en los que predomina el vapor son fácilmente explotables y su principal aplicación es la producción de energía eléctrica en turbinas de vapor, obteniéndose agua caliente como subproducto. Los sistemas en los que predomina el agua, a mayor o menor temperatura, pueden presentar dificultades de uso si contienen muchas sales disueltas o sus propiedades son corrosivas.

Los sistemas geopresurizados: son aquellos en los que el fluido localizado en las rocas subterráneas soporta una gran presión, debido a las rocas que tiene por encima. En numerosas ocasiones la temperatura del agua de estos yacimientos es de unos 300 °C y está además saturada con grandes cantidades de gas natural. Por ello, en estas formaciones hay energía acumulada en tres formas: presión hidráulica, agua caliente y metano. De aquí que se piense que puedan ser fuentes de energía muy prometedoras en las próximas décadas, aunque de momento estos sistemas están aún muy lejos de poder ser sometidos a una explotación comercial rentable.

Los sistemas de roca seca caliente: están formados por bolsas de rocas impermeables a muy alta temperatura y, debido a ello, carecen de acuífero, por lo que es necesario aportar agua de forma artificial para poder extraer el calor, además de la necesidad de crear grandes superficies de transmisión de calor fracturando la roca. Aunque el concepto sea muy simple, todavía se han de resolver muchas cuestiones antes de considerar

un proyecto de este tipo como económicamente rentable.

Es por todo lo visto hasta aquí que se puede afirmar que la única forma de la energía geotérmica que ha sido comercialmente desarrollada hasta la fecha pertenece a la categoría de los sistemas hidrotérmicos. Ni los sistemas geopresurizados ni los de roca seca caliente parecen tener posibilidades de explotación comercial a una escala significativa en las próximas décadas.

Factores ambientales

La creencia generalizada de que los yacimientos geotérmicos representan una fuente energética no contaminante ha jugado un papel importante respecto al interés por su desarrollo. Parece, no obstante, que se han planteado algunas dudas con relación al equilibrio del medio ambiente que hasta el momento actual no tienen respuesta, debido a la falta de experiencia. Entre los posibles factores adversos cabría enumerar:

- Utilización del terreno
- Influencia sobre el suelo
- Niveles de ruido
- Contaminación del aire
- Uso y contaminación de las aguas
- Contaminación térmica y efectos climáticos
- Alteración de ecosistemas

Resulta pues evidente que un abuso indiscriminado de esta energía (igual que de todas las demás) podría afectar negativamente el actual equilibrio ecológico. Con horizontes a medio y largo plazo ello no debe suponer un freno a la utilización de la energía geotérmica como complementaria a las energías convencionales ya que, conociendo los posibles problemas de antemano, se podrán arbitrar las soluciones adecuadas para paliar su impacto sobre el medio ambiente.

HIDROELECTRICIDAD

La hidroelectricidad es la energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. La hidroelectricidad es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad. Todo ello implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos, aunque el coste de mantenimiento de una central térmica, debido al combustible, sea más caro que el de una central hidroeléctrica. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales centra la atención en estas fuentes de energía renovables.



La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la

turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. Las centrales dependen de un gran embalse de agua contenido por una presa. El caudal de agua se controla y se puede mantener casi constante. El agua se transporta por unos conductos o tuberías forzadas, controlados con válvulas y turbinas para adecuar el flujo de agua con respecto a la demanda de electricidad. El agua que entra en la turbina sale por los canales de descarga. Los generadores están situados justo encima de las turbinas y conectados con árboles verticales. El diseño de las turbinas depende del caudal de agua; las turbinas Francis se utilizan para caudales grandes y saltos medios y bajos, y las turbinas Pelton para grandes saltos y pequeños caudales.

Además de las centrales situadas en presas de contención, que dependen del embalse de grandes cantidades de agua, existen algunas centrales que se basan en la caída natural del agua, cuando el caudal es uniforme. Estas instalaciones se llaman de agua fluente. Una de ellas es la de las Cataratas del Niágara, situada en la frontera entre Estados Unidos y Canadá.

A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo. Como referencia, la presa Grand Coulee, en Estados Unidos, genera unos 6.500 Mw y es una de las más grandes.

En algunos países se han instalado centrales pequeñas, con capacidad para generar entre un kilovatio y un megavatio. En muchas regiones de China, por ejemplo, estas pequeñas presas son la principal fuente de electricidad. Otras naciones en vías de desarrollo están utilizando este sistema con buenos resultados.



Presa de Itaipú, Paraguay

En esta fotografía aérea puede observarse la presa de Itaipú, proyecto conjunto de Brasil y Paraguay sobre las aguas del río Paraná, y su central hidroeléctrica, la mayor del mundo, de la que se obtienen importantes recursos energéticos para ambos países y el conjunto regional. Con una altura de 196 m y 8 Km de largo, cuenta con 14 vertederos que actúan como cataratas artificiales.

Sistemas captadores de la energía hidráulica

La elección del dispositivo captador depende de muchos factores, algunos de los más importantes son:

- Caudal

- Desnivel
- Localización
- Condiciones del suelo
- Longitud de las conducciones
- Condiciones del agua
- Generación de energía
- Costes y mano de obra
- Materiales
- Mantenimiento

Por otra parte, las máquinas captadores de la energía del agua se pueden clasificar en dos grandes grupos, según su principio de funcionamiento: ruedas hidráulica y turbinas.

Las **ruedas hidráulicas** son dispositivos particularmente útiles para generar energía mecánica, que se extrae del eje de la rueda y se conecta mediante multiplicadores a la maquinaria que se quiera impulsar. Aunque se pueden usar para generar energía eléctrica, sus bajas velocidades de rotación hacen la transformación difícil y costosa. Sus principales ventajas son su resistencia, limpieza y posibilidad de operar con grandes fluctuaciones de la corriente de agua.

El diseño básico de una rueda hidráulica corresponde a la rueda de empuje inferior, que funciona por acción directa del agua contra las paletas. El rendimiento de esta máquina (alrededor del 10%) puede aumentarse hasta el 75%, curvando las palas y transformándola en una rueda Poncelet, muy apta para saltos de hasta 3 m y caudales de hasta 3 m³/s.

Las ruedas hidráulicas de empuje superior son accionadas por el peso del agua que cae dentro de unos cajones que recogen sucesivamente el agua de un canal superior. Este dispositivo, bastante eficaz (alrededor del 75%) es más adecuado para saltos mayores (hasta 10 m), pero puede operar con caudales de hasta 50 l/s.

La llamada turbina Pelton es una rueda hidráulica que puede desarrollar velocidades de giro suficientemente altas (alrededor de 1.000 rpm) como para poder ser utilizada en la generación de energía eléctrica, con eficacias superiores al 90%. Aunque puede operar a caudales desde los 30 l/s. necesita una altura mínima de 25 m.

La llamada turbina Michell también es una rueda hidráulica de gran velocidad. Su diseño es muy parecido al de la turbina Pelton, aunque su rendimiento es inferior (80%), pero también es más barata. Generalmente no se utiliza para generar energía eléctrica, operando a alturas inferiores a los 30 m.

Cabe mencionar que tanto la turbina Pelton como la Michell se citan normalmente como "turbinas de impulsión", debido a que desarrollan altas velocidades. Aquí se han considerado como "ruedas hidráulicas", dejando la denominación turbinas para los dispositivos basados en el principio físico de la reacción (y totalmente sumergidas en el agua), es decir, las llamadas "turbinas de reacción".

Las turbinas son máquinas en las que se aprovecha directamente la fuerza del agua, mediante la reacción que ésta produce en un dispositivo de paletas en forma de hélice. El principio de la reacción se comprende perfectamente con el "molinete hidráulico", que gira tanto más rápidamente, cuanto más alto sea el nivel del agua en el recipiente (transformación de la energía potencial en energía cinética sin necesidad de órganos intermedios).

Las turbinas tienen eficacias muy elevadas (hasta el 95%) y giran a muy altas velocidades (superiores a 1.000 rpm), lo que las hace ideales para generar energía eléctrica. Una turbina consta de tres elementos:

- Canal de admisión: conducto por donde penetra el agua

- Distribuidor: paredes perfiladas que permiten encauzar el agua hacia el elemento móvil
- Rodete: dispositivo portador de los álabes, perfilados para que absorban con la mayor eficacia posible la energía cinética del agua

Una de las turbinas más utilizadas es la turbina Francis, que se emplea en caídas medias con rendimientos de cerca del 90%. La turbina Kaplan es una modificación de la anterior y puede utilizarse incluso para pequeñas caídas de agua (hasta 20 m) con rendimientos de hasta el 95%.

MAREOMOTRIZ

De los mares se puede obtener energía de diversas maneras, de las diferencias térmicas, del oleaje, de las corrientes marítimas y de las mareas.

Estas últimas son las más utilizadas. Las mareas marítimas son producidas por la influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre la masa oceánica.

Los desniveles entre las alturas de las mareas, alcanzan varios metros. Las corrientes que se producen durante el avance y retroceso del agua, pueden aprovecharse para mover las turbinas de generadores de electricidad.

Ya hay varias Centrales Mareomotrices experimentales. La única central no experimental, es la de La Rance (Francia). A pesar de todo estas centrales presentan varias dificultades técnicas todavía y sumado a esto tienen la gran desventaja de provocar alteraciones en los ecosistemas marítimos y costeros



El avance y retroceso de la agua producidos por las mareas hace mover las turbinas de generadores eléctricos



La central mareomotriz La Rance (Francia), es la única no experimental

La energía mareomotriz

Se entiende por marea el movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones gravitatorias del Sol y de la Luna, aunque se ve asimismo influenciado por factores terrestres. Así, a pesar de que la diferencia entre los niveles más alto y más bajo ("amplitud de la marea") en mitad del océano es de apenas 1 m, en algunos puntos del globo llega a alcanzar hasta los 15 m. Por otro lado, la variación periódica de las pleamares y bajamares ("margen de la marea") es también muy diferente según el lugar geográfico. De esta forma queda patente que las mareas constituyen un fenómeno muy complejo que, aunque parezca una de las manifestaciones más potentes de la Naturaleza, sólo está provocado por fuerzas de muy pequeña magnitud.

La utilización de la energía de las mareas, o energía mareomotriz, consiste simplemente en separar un estuario del mar libre mediante un dique y aprovechar la diferencia de nivel mar-estuario. Desde la antigüedad es conocida esta técnica, que ya fue aplicada para mover los primitivos molinos de marea egipcios. Su desarrollo histórico fue parecido al de los molinos hidráulicos: en el siglo XIII ya funcionaban algunas ruedas mareomotrices en Inglaterra y en el siglo XVIII aparecen varias instalaciones para moler grano y especias tanto en Francia como en EE.UU.

A partir de los años 1920 se realizaron los primeros estudios en profundidad en Francia, URSS, Canadá y EE.UU., alcanzándose los primeros resultados prácticos en la construcción de centrales mareomotrices en Francia (1966) y la URSS (1968). Como sucedió con otras fuentes energéticas renovables aprovechadas desde la antigüedad, el interés decreció ostensiblemente al producirse la electricidad a bajo coste en las centrales térmicas, pero a raíz de las sucesivas crisis energéticas se ha vuelto a prestar una gran atención a esta fuente de energía.



La energía de las olas

Las olas que se producen en la superficie del mar son provocadas por los vientos, de los que recogen y almacenan energía. Al no ser constantes los vientos ni en velocidad ni en dirección, las olas producidas no son regulares y, por tanto, es bastante complicado determinar la energía que transportan.

Aunque se han realizado muchas evaluaciones de la potencia media o de la energía total disipada por las olas, los valores obtenidos en cada caso son muy diferentes, aunque se considera que, en zonas favorables, la disipación de potencia es de unos 45 kW/m. Así, la densidad de esta fuente de energía es pequeña, por lo que su explotación es un problema difícil. No obstante, se están desarrollando muchos sistemas de captación y transformación de la energía de las olas en energía útil, quedando patente las dificultades surgidas si se analiza la amplia gama de ideas que se han desarrollado para abordar el problema.

Los primeros intentos de aprovechar esta fuente de energía se realizaron en 1874, cuando Henning diseñó una embarcación provista de aletas que, con el movimiento de las olas, proporcionaban un movimiento de traslación. Posteriormente se construyeron varios artefactos de este tipo y de otros, pero para empezar a considerar la utilización a gran escala de la energía de las olas hay que abandonar la historia e introducirse en el presente.

Como consecuencia de la variación de la situación energética y debido al gran empuje que los países más avanzados (Gran Bretaña, EE.UU., Japón, etc.) le han dado a las investigaciones sobre la energía de las olas mediante la asignación de gran cantidad de fondos, aparecen estudios y ensayos preliminares de diversos sistemas, basados en distintos conceptos teóricos para captar la energía que disipa un frente de olas.

Convertidores de olas

La gran variación que se produce continuamente en el movimiento de las olas revela claramente los problemas que plantea el diseño de convertidores de olas. Estos sistemas deben captar energía mecánica de forma completamente aleatoria y convertirla eficientemente en otra forma de energía útil, generalmente energía eléctrica. Los sistemas que se están desarrollando, considerados bajo el punto de vista de su comportamiento dinámico, se pueden agrupar en dos categorías:

- Activos: los elementos de la estructura se mueven como respuesta a la ola y se extrae la energía utilizando el movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles
- Pasivos: la estructura se fija al fondo del mar o en la costa y se extrae la energía directamente del movimiento de las partículas de agua

Por otro lado, se pueden aprovechar tres fenómenos básicos que se producen en las olas:

- Empuje de la ola
- Variación de la altura de la superficie de la ola
- Variación de la presión bajo la superficie de la ola

La explicación del mecanismo por que cual un dispositivo capta la energía de la ola es muy simple: al llegar las olas a la estructura, sufren una modificación, mientras que a su vez, la estructura al moverse crea olas que se superponen a las anteriores; la resultante de esta composición de movimientos contiene la energía que no se ha podido captar.

Los absorbedores que han sido considerados como posibles y, por tanto, se les está dedicando una profunda atención, se clasifican en tres grandes grupos: totalizadores, atenuadores y absorbedores puntuales.

Los totalizadores se caracterizan por estar situados perpendicularmente a la dirección de la ola incidente, es decir, paralelos al frente de la ola, siendo su pretensión el captar la energía de una sola vez. Dentro de este grupo cabe destacar:

- Rectificador Russel: tanque de dos niveles entre los que fluye el agua a través de una turbina
- "Pato" Salter: la ola presiona sobre su parte baja obligándole a levantarse, lo que origina un movimiento de semirrotación
- Balsa Cockerell: tres flotadores entre los cuáles se instalan bombas de pistón que extraen la energía

Los atenuadores están formados por largas estructuras colocadas con su eje mayor paralelo a la dirección de propagación de las olas, pretendiéndose así absorber la energía de la ola de un modo progresivo. Tienen la ventaja de poder captar la energía por dos lados, siendo los esfuerzos ejercidos sobre la estructura menores, lo que implica un anclaje más sencillo. Cabe mencionar como ejemplos característicos:

- Buque Kaimei: barco equipado con columnas de agua oscilantes, que producen 2 MW
- Bolsa de Lancaster: estructura con bolsa flexibles llenas de aire que se hace pasar por una turbina

Los absorbedores puntuales son dispositivos capaces de captar no sólo la energía de la porción de la ola directamente incidente, sino también la de un entorno más o menos amplio. Suelen ser cuerpos de revolución, por lo que son indiferentes a la dirección de propagación de la ola. Cabe citar dentro de este grupo:

- Boya Masuda: cámara flotante semisumergida con una columna oscilante de agua
- Convertidor de Belfast: similar a la boya Masuda, pero mucho más avanzado

En resumen, no se pueden detallar aquí todos los sistemas convertidores de energía de las olas experimentales o en proyecto en la actualidad. No obstante, los que se han citado se consideran como los ejemplos más representativos.

Finalmente es necesario destacar que el valor comercial de la energía obtenida de las olas es fuertemente dependiente del coste de las fuentes energéticas a las que puede sustituir y de la flexibilidad o capacidad de almacenamiento del sistema. Por otra parte, un importante factor económico es la vida del sistema, que viene determinada por la resistencia de unos materiales sometidos a unas condiciones de trabajo muy duras.

De todas formas se está destinando mucho capital a esta fuente de energía en países como Gran Bretaña, EE.UU., Japón, Suecia, Finlandia y Holanda, y los expertos siguen recomendando a los países costeros que estudien la posibilidad de incluir proyectos de investigación en este campo, capaces de paliar de alguna forma sus necesidades energéticas locales.