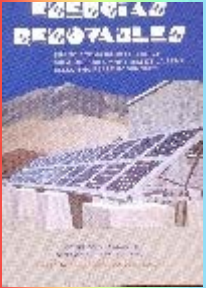


Energías Renovables

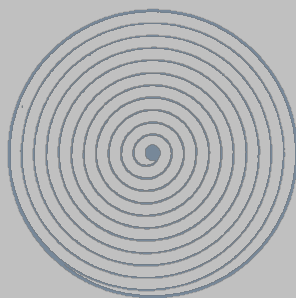


Francisco Jarabo Friedrich

Celestino Pérez Domínguez

Milagros Sanz Martínez de la Peña

La Problemática de la Energía



- [La energía: base de la civilización actual](#)
- [La situación energética en España](#)
- [Recursos energéticos renovables y no renovables](#)
- [Magnitudes energéticas](#)

La energía: base de la civilización actual

La historia del hombre se ha visto determinada por el descubrimiento y la utilización de la energía. El primer escalón lo constituyó el uso y dominio del fuego; siguieron los avances en el aprovechamiento agrícola y ganadero como fuente de energía en forma de alimentos y la aparición de los transportes con la invención de la rueda.

Hacia el año 2000 a.C. se utilizaron ya las velas para captar la energía del viento y unos miles de años después aparece la rueda hidráulica y los molinos de viento, que constituyeron posteriormente en Europa la principal fuente de energía durante la Edad Media. Es en esta época cuando comienzan a utilizarse tanto el carbón como otros tipos de energía como la magnética (brújula) y la química (pólvora).



A finales del siglo XVIII se llevan a cabo los primeros intentos de utilizar el vapor como fuente de energía, pero tienen que pasar casi cien años hasta que Watt construye la primera "máquina de vapor", que constituiría la base de la civilización mecanizada. Este invento hizo que en gran parte del mundo se adoptase el vapor para mover las máquinas, lo que produjo un abandono de los campos y de las industrias domésticas, iniciándose la llamada "Revolución Industrial".

La máquina de vapor revolucionó también el transporte, tanto marítimo (barcos a vapor) como terrestre (ferrocarril). Sin embargo, a mitad del siglo XIX, el desarrollo tecnológico no había alcanzado el punto en que se requiriesen fuentes de energía especiales. De hecho, la principal y casi única fuente energética de la época era la madera.

Ahora bien, desde que en 1859 se perfora el primer pozo de petróleo en EE.UU., comienza a producirse una gran cantidad de inventos que utilizan esta fuente de energía: el generador eléctrico, el motor de combustión interna, la luz eléctrica y el automóvil. La puesta en marcha de la primera central eléctrica significó además el comienzo de un sistema de distribución de energía de uso cotidiano: la electricidad.

Desde comienzos del siglo XX empieza a aumentar fuertemente el uso de energía. Aunque la producción de carbón comenzó a descender después de la Primera Guerra Mundial, aumentó la de petróleo, que superó a aquélla justo después de la Segunda Guerra Mundial y siguió creciendo posteriormente.

Finalmente, el hombre descubrió la energía nuclear, construyéndose el primer reactor nuclear en EE.UU. en 1942. A pesar de las esperanzas puestas en esta fuente de energía, a mitad de los años 70 ésta sólo ocupaba una pequeña parte de la producción mundial. Así, en 1973, la estructura energética era aproximadamente la que se muestra en la [Figura 1.1](#), consumiéndose en el mundo más de 6.000 toneladas equivalentes de petróleo (tep). En ese momento comenzó la llamada "crisis energética".

Se vió claramente entonces el agotamiento en un futuro no muy lejano del petróleo, por lo que los países de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo), que en 1973 controlaban las dos terceras partes del mercado de crudos, decretaron un embargo petrolífero, con el consiguiente aumento de los precios de los crudos. Posteriormente, y como consecuencia de un círculo vicioso, estos precios siguieron subiendo, produciéndose otro aumento brusco en 1979, la llamada "segunda crisis del petróleo".

Diversos factores sociales y económicos, fundamentalmente el fuerte ahorro de energía llevado a cabo en los países más industrializados, produjeron un hundimiento del mercado de crudos a principios de 1986, situándose los precios del petróleo de nuevo al mismo nivel de 1973. Todo ello ha provocado una enorme incertidumbre, por lo que es imposible predecir la evolución de los precios de petróleo en un futuro, incluso próximo. Lo que es evidente es que el consumo del petróleo ha disminuído, aunque no se ha encontrado una fuente de energía que lo sustituya. De cualquier manera, la Historia ha enseñado al hombre que cualquier sustitución de una fuente energética por otra es muy lenta.

Por otra parte, el crecimiento de la población y sus necesidades energéticas hacen imprescindible una política de ahorro de energía y la búsqueda de nuevas fuentes. Es necesario, pues, diversificar las fuentes de energía según las condiciones y posibilidades de cada país, para que cada comunidad procure encontrar su propia alternativa energética en función de sus recursos naturales. Es por ello por lo que se analizará

posteriormente de forma especial el caso de España en los diversos ámbitos energéticos.

Asimismo, el despertar de la responsabilidad en el campo energético de todos los países del mundo debe ir acompañado de una labor de clarificación de conceptos a sus habitantes. Aunque ya se ha producido una mayor sensibilización de la opinión pública frente a la necesidad de emprender labores de conservación y ahorro energético, todavía es necesario proceder a una amplia información relativa a la imprescindible adopción de tecnologías, basadas en soluciones energéticas alternativas, principalmente de aquéllas procedentes de fuentes renovables.

La situación energética en España

La evolución del consumo de energía en España se desarrolla en tres etapas claramente diferenciadas:

- Hasta el Plan de Estabilización (1959).
- Desde el Plan de Estabilización hasta 1973.
- Desde 1973 hasta la actualidad.

La primera etapa comienza con los procesos iniciales del desarrollo industrial, después de los tímidos intentos de industrialización de mediados del siglo pasado (textil y acerías), en que se produjo una acumulación de capital en algunas regiones españolas. Pero es a partir de la Primera Guerra Mundial cuando la industrialización española conoce una etapa real de desarrollo debido, fundamentalmente, a las demandas exteriores, lo que provoca un fuerte incremento del consumo energético, principalmente en forma de carbón.

En los años siguientes a la Guerra Civil, la demanda crece de forma muy lenta y se basa principalmente en el consumo de carbón nacional y en el aprovechamiento de los ríos con la masiva construcción de grandes pantanos, utilizándose además grandes cantidades de leña para consumo doméstico. El petróleo cubre solamente una pequeña parte de la demanda energética. La producción de energía eléctrica en este período se multiplica casi por cinco y su práctica totalidad es de origen hidráulico, ya que la producción de origen térmico (fuel y carbón) no sería importante hasta la década de los sesenta.



En la segunda etapa, que arranca desde el Plan de Estabilización de 1959, se produce un gran salto de la industrialización y es la época del desarrollismo a ultranza. Durante este período, la estructura energética sufre cambios espectaculares, tanto cualitativos como cuantitativos. El crecimiento en el consumo de energía fue excepcional, multiplicándose por tres el consumo interior bruto de energía primaria en el período 1959-1973; el consumo de petróleo aumentó casi siete veces, el consumo de carbón permaneció casi constante, la producción de energía hidroeléctrica se multiplicó por tres y la potencia eléctrica instalada de origen térmico por seis. El crecimiento se produce con unas tasas anuales en el período considerado del 8%, muy superiores a las tasas mundiales.

En esta segunda etapa se introduce en 1963 en España el gas natural, que en 1973 significaba tan sólo el 1,8% del consumo de energía primaria. La energía nuclear se pone en funcionamiento en 1968, representando en 1973 el 2,5% del consumo energético primario.

La tercera etapa de la evolución del consumo de energía en España abarca desde la crisis energética de 1973 hasta hoy, en que el crecimiento de energía se ha visto reducido a una tasa del 2,5% anual acumulativo, lo que contrasta fuertemente con las tasas de los períodos anteriores. Todo ello ha sido consecuencia de la crisis económica generalizada y de la caída de la producción, que tuvieron como causas fundamentales las crisis del petróleo de 1973 y 1979.

Al contemplar lo que el sector energético representa dentro de la economía española, el primer rasgo que aparece es la crucial importancia de la energía dentro de la estructura económica, lo que implica que cualquier estrangulamiento en su suministro provocaría una paralización de la actividad. El tener supeditadas más de las dos terceras partes del consumo nacional a los abastecimientos exteriores implica un riesgo muy grande, ya que éstos son muy vulnerables.

En lo referente a la producción interna, y ante la escasísima disponibilidad de hidrocarburos, se apoya en más del 85% en la producción de carbón y la hidroelectricidad que son, con mucha diferencia, los principales recursos energéticos españoles, al menos por el momento.

Asimismo, más de la mitad de la energía producida en España se consume en la industria, en su casi totalidad diseñada y construida con anterioridad al comienzo de la crisis energética, y que mantiene unos consumos excesivos y demasiado costosos en el actual contexto energético mundial. Además, las posibilidades de ahorro dentro del sector industrial no son homogéneas: hay subsectores donde el consumo de energía es mínimo y en otros, en cambio, el empleo de energía es masivo. Ello ha significado que la

crisis energética haya afectado en mayor medida a España que a otros países más industrializados, a pesar de nuestro menor consumo de energía por habitante.

La aprobación del PEN (Plan Energético Nacional) en 1979 fue el inicio de una nueva e importante etapa en la política energética española, con un plan global de actuación en el que se definían unos objetivos generales a medio y largo plazo, así como un conjunto de medidas basadas en el análisis de los mercados internacionales de materias primas, en el estudio de las tecnologías disponibles y en el examen detallado de la situación energética y económica mundial y española. Su contenido puede resumirse en los siguientes puntos:

- Reducir la dependencia del petróleo, ya que la situación de esta fuente de energía desaconseja su uso como elemento primordial del abastecimiento energético español
- Asegurar una oferta energética suficiente y diversificada que permita el máximo crecimiento posible compatible con los equilibrios externo e interno de la economía española y una mejora en el bienestar y calidad de vida de la población. En el estudio de las soluciones para conseguir este objetivo se debían considerar la máxima utilización de energías de origen nacional, entre las que se encuentran las energías renovables, y la conservación del medio ambiente.
- Moderar y racionalizar los consumos energéticos adaptándolos progresivamente a los recursos reales del país, al tiempo que se fomentaban cambios estructurales hacia sectores productivos menos consumidores de energía. Como herramienta eficaz para esta estrategia, se aplicaría una política de precios a coste real de las distintas fuentes energéticas y se disminuirían, hasta desaparecer, las subvenciones existentes.

Para la consecución de los objetivos básicos de la política energética del PEN, se diseñaron una serie de medidas que condicionaban notablemente el cumplimiento de los objetivos fijados de demanda y cobertura. Entre ellas se encontraban, de modo preferente, las relativas a la política de ahorro energético y uso racional de la energía.

La necesidad de actualizar periódicamente la estimación de la evolución y cobertura de la demanda energética aconsejó revisar el PEN en 1983, al haberse modificado sustancialmente las hipótesis de partida y logrado un progreso en la ejecución de algunos programas en curso. Sin embargo, las bases fundamentales del mismo permanecen invariables, ya que las líneas maestras de actuación en el sector energético siguen teniendo como objetivo esencial contribuir a un crecimiento económico sostenido, equilibrado y solidario. En esta línea también se aprobó en 1986 el Plan de Energías Renovables (PER), preconizando la penetración paulatina de estas fuentes en el contexto energético global.

La nueva revisión del PEN, 1991-2000, incluyó entre sus principales estrategias un Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE), que englobaba actuaciones tendentes a mejorar la eficiencia y la diversificación de combustibles en el consumo de energía, así como al desarrollo de la cogeneración y de las energías renovables. El Programa de Energías Renovables contemplado en este plan ha significado que la aportación de estas energías se haya situado en 1997 en 7,5 millones de tep, representando más de un 7% del consumo de energía primaria en España.

Recursos energéticos renovables y no renovables

Hasta aquí se ha venido hablando de distintas formas de energía. Sin embargo, es conveniente ahora establecer claramente los distintos medios energéticos que se encuentran hoy en fase de explotación o investigación y que previsiblemente acompañarán al hombre en el futuro. A este respecto es fundamental diferenciar las fuentes energéticas según su origen, ya que de él no sólo dependerá su posible duración, sino que además indicará su tecnología de aprovechamiento. Se distinguen así:

- Energías no renovables, de origen terrestre, ya que llevan almacenadas en la Tierra desde hace millones de años y, por tanto, son recursos finitos y de distribución geográfica irregular
- Energías renovables, que tienen su origen en el flujo continuo de la energía del Sol y se disipan a través de ciclos naturales

Dentro de las fuentes de energía no renovables se consideran los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural), así como el uranio, materia prima para la producción de energía nuclear de fisión. Estas fuentes energéticas son consideradas actualmente como convencionales, pero existen otras fuentes alternativas, cuyo estudio para su aprovechamiento a gran escala se ha iniciado hace pocos años: se trata de las pizarras bituminosas y las arenas asfálticas, que presentan un cierto parentesco geológico con el petróleo.

Por su parte, las fuentes de energía renovables son aquéllas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra, y que tiene su origen en el Sol, aunque en ciertos casos existe una cierta contribución de los campos gravitatorios terrestre y lunar.

Aunque casi una tercera parte de la energía procedente del Sol es reflejada por la atmósfera terrestre, las dos terceras partes restantes la atraviesan experimentando o no cambios en sus características, lo que da lugar a las distintas fuentes renovables de energía, representadas en la [Figura 1.2](#) y cuyas formas de captación y aprovechamiento serán asimismo diferentes. Estas fuentes renovables, cuyo estudio se aborda en los capítulos posteriores, son las siguientes:

- Energía solar, directa, que atraviesa la atmósfera sin experimentar cambios sensibles
- Energía eólica, o energía contenida en el viento
- Energía de la biomasa, energía química almacenada en las plantas verdes y que se extiende a todos los seres vivos y sus residuos
- Energía geotérmica, cuyo origen remoto también está en el Sol, pero actualmente contenida en el interior de la Tierra
- Energía hidráulica, contenida en las masas de agua situadas a cierta altura
- Energía del mar, que se manifiesta de tres formas distintas: mareas, diferencias de temperatura y olas

Ahora bien, el hecho de que una fuente de energía sea renovable no quiere decir que sea abundante o que su explotación resulte gratuita. Por ello se ha intentado revisar los conocimientos tecnológicos en relación con los diferentes procedimientos para captar y transformar estas fuentes en energía útil al mínimo coste posible. Debido al gran interés despertado por las mismas en función de su bajo o nulo deterioro del medio ambiente y en relación al posible agotamiento de las fuentes energéticas convencionales, se ha incrementado enormemente el estudio de sus posibilidades de utilización con vistas a encontrar en ellas una alternativa frente a los combustibles fósiles y nucleares.

Según los expertos, para que exista una alta probabilidad de éxito de las tecnologías de aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables, deben coincidir los siguientes factores:

- Conocimiento de las necesidades y posibilidades
- Demanda popular
- Integración en los sistemas energéticos actuales
- Sencillez y bajo coste de la tecnología
- Apoyo institucional, tanto educativo como económico

Todos estos factores constituyen serias barreras para el desarrollo a gran escala de las fuentes de energía renovables. La complejidad del problema requiere planes a largo plazo y una amplia cooperación internacional, abierta a todo tipo de iniciativas.

Magnitudes energéticas

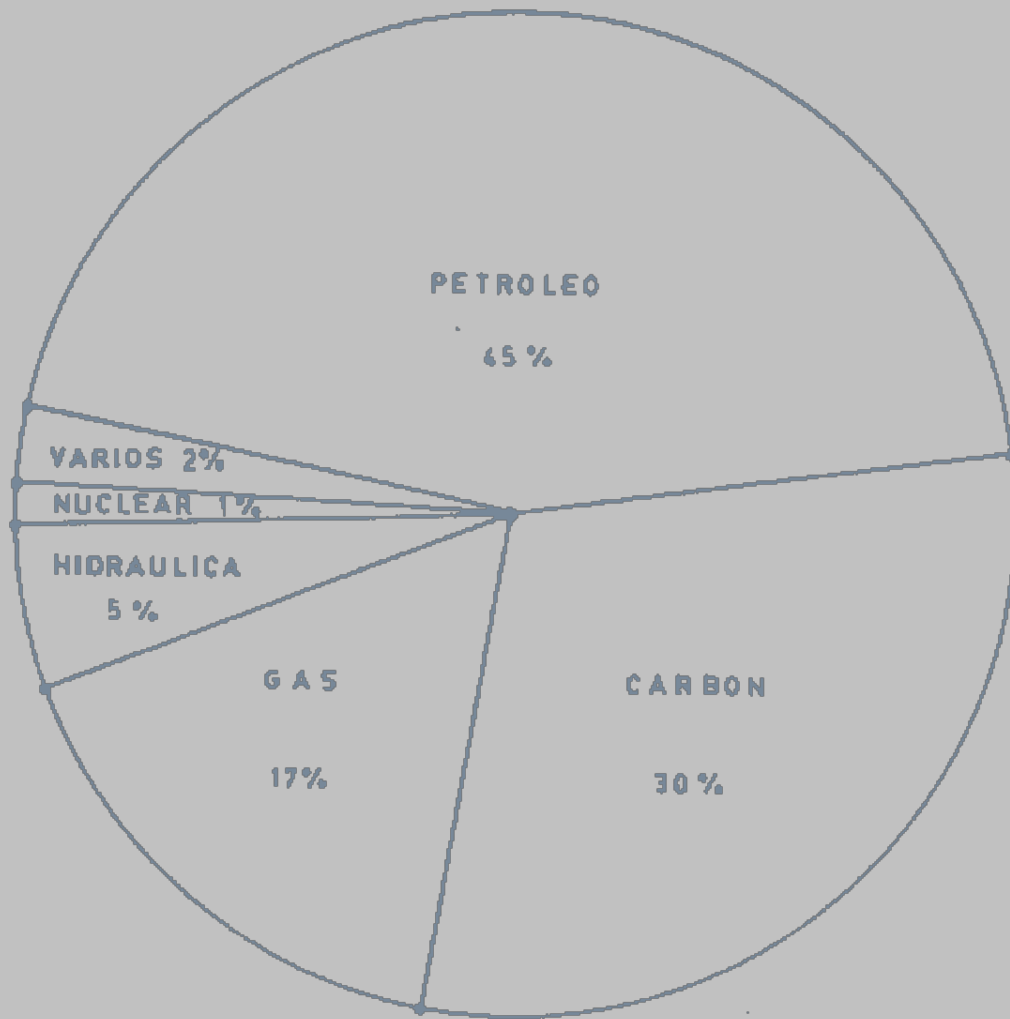
Con objeto de facilitar la comprensión de los órdenes de magnitud de las cifras de producción y consumo de energía que se van a manejar, en la [Figura 1.3](#) se ofrecen unas sencillas equivalencias energéticas.

Asimismo en la [Figura 1.4](#) se muestran los consumos de energía que normalmente se producen en el hogar, en función de la potencia del aparato considerado.

Energía



FIGURA 1.1: Estructura energética mundial en 1973



Refinería de petróleo



FIGURA 1.2: Energías renovables

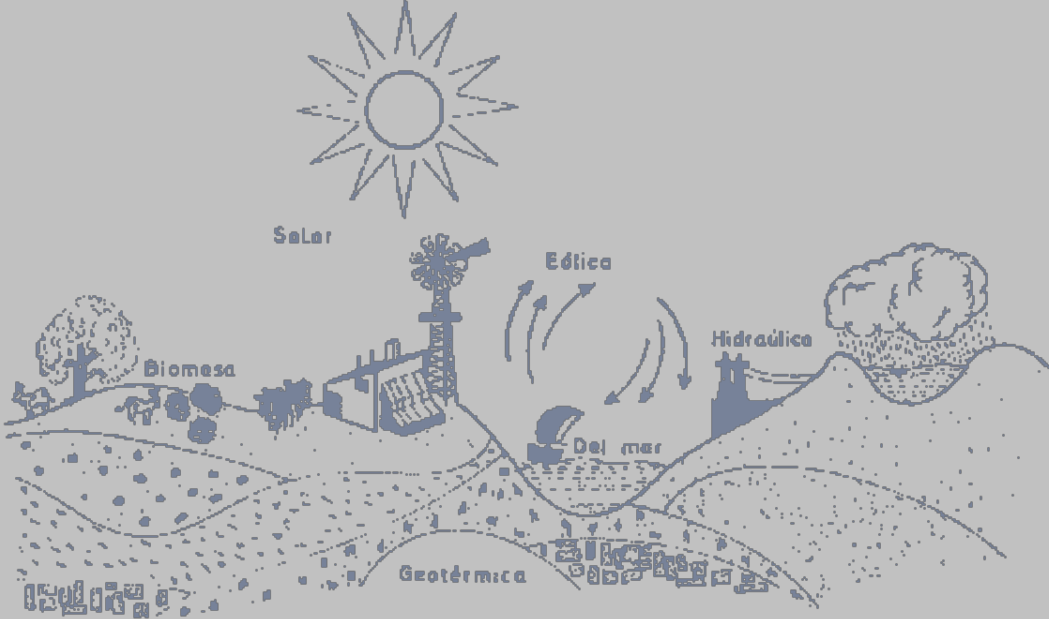


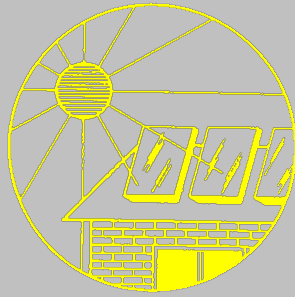
FIGURA 1.3: Algunas equivalencias energéticas

- 1 kW.h: energía que se obtiene de 10 m³ de agua, cuando éstos caen desde una altura de 40 m, y pueden proporcionar:
- 1-2 horas de calefacción en invierno
 - 2-5 horas de televisión en color
 - 1.000 litros de agua bombeados desde una profundidad de 50 m
- 1 MW.h: energía que permite mover un automóvil a lo largo de unos 1.000 km
- 1 GW.h: energía que consume una ciudad de alrededor de 100.000 habitantes en un día
- 1 TW.h: energía producida por una pequeña central nuclear a lo largo de 2 meses
-

FIGURA 1.4: Energía y potencia en el hogar

| APARATO | POTENCIA (W) | CONSUMO ANUAL NORMAL (kW.h) |
|--------------------|--------------|-----------------------------|
| Estufa eléctrica | 8.000 | 600 |
| Frigorífico | 100 | 600 |
| Lavadora | 3.000 | 500 |
| Lavavajillas | 1.500 | 300 |
| TV B/N | 200 | 100 |
| TV color | 300 | 200 |
| Plancha | 1.000 | 25 |
| Máquina de afeitar | 15 | 0,5 |
| Bombilla | 60 | 50 |
| Tubo fluorescente | 40 | 30 |
| Tostadora | 1.000 | 20 |
| Radio | 50 | 50 |

La Energía Solar



- [El sol como fuente de energía](#)
- [Historia de las aplicaciones de la energía solar](#)
- [Sistemas de captación](#)
 - [Utilización pasiva de la energía solar](#)
 - [Conversión térmica de baja temperatura](#)
 - [Subsistema colector](#)
 - [Subsistema de almacenamiento](#)
 - [Subsistema de distribución](#)
 - [Conversión térmica a temperaturas medias](#)
 - [Conversión térmica a altas temperaturas](#)
 - [Conversión eléctrica: sistemas fotovoltaicos](#)
- [La energía solar en España](#)

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 ininterrumpida 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.

Historia de las aplicaciones de la energía solar

La idea de utilizar el calor solar es muy antigua, pero el bajo nivel térmico de que disponía el hombre le impidió usarla de forma efectiva durante mucho tiempo. No obstante, cuenta una leyenda que en el siglo III a.C., Arquímedes utilizó espejos solares para incendiar la flota enemiga que atacaba su ciudad. No se registra ninguna otra utilización de la energía solar hasta el siglo XVIII, cuando comenzó a experimentarse con hornos solares.

En el siglo XIX la conversión de la energía solar en otras formas de energía giró alrededor de la generación de vapor para alimentar máquinas de vapor, aunque también adquirió cierto interés la destilación de agua para su potabilización.

En los inicios del siglo XX aumenta el interés por esta fuente de energía, registrándose numerosas patentes para calentadores solares de agua domésticos durante los años 30 y 40. Después de la Segunda Guerra Mundial la energía solar adquiere gran relieve, alcanzando su máximo apogeo en EE.UU. durante la década de los 50. Por entonces se desarrollaron desde cocinas solares a máquinas de vapor, y algunos dispositivos eléctricos que utilizaban las entonces nuevas células solares. Este interés decrece bruscamente en la siguiente década, justo hasta 1973, momento en el cual casi todos los países del mundo se han puesto de nuevo a trabajar en las distintas ramas de la tecnología solar, tanto a gran escala como de aplicaciones domésticas.



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 2.1](#) se muestra el esquema de los distintos sistemas activos enumerados, estudiándose a continuación tanto éstos como los sistemas pasivos.

Sistemas de captación

[Utilización pasiva de la energía solar](#) | [Conversión térmica de baja temperatura](#) | [Conversión térmica a temperaturas medias](#) | [Conversión térmica a altas temperaturas](#) | [Conversión eléctrica: sistemas fotovoltaicos](#)

Utilización pasiva de la energía solar

Un diseño pasivo es un sistema que capta la energía solar, la almacena y la distribuye de forma natural, sin mediación de elementos mecánicos. Sus principios están basados en las características de los materiales empleados y en la utilización de fenómenos naturales de circulación del aire. Los elementos básicos usados por la arquitectura solar pasiva son:

- **Acristalamiento:** capta la energía solar y retiene el calor igual que un invernadero
- **Masa térmica:** constituida por los elementos estructurales del edificio o por algún material acumulador específico (agua, tierra, piedras), tiene como misión almacenar la energía captada

Las aplicaciones más importantes de los sistemas solares pasivos son la calefacción y la refrigeración. Para producir calefacción, los distintos tipos de utilización pasiva se muestran en la [Figura 2.2](#); la refrigeración surge más bien como una necesidad de utilizar los sistemas de calefacción de forma continuada durante todo el año, y sus técnicas más usuales se muestran en la [Figura 2.3](#).

La integración de colectores de aire, la utilización de paredes internas como muros acumuladores de calor y la aplicación de ventiladores, aumentan la eficacia de los sistemas pasivos, y se les conoce como "híbridos", ya que utilizan ciertos sistemas mecánicos activos.

En los últimos años se han mejorado mucho los sistemas pasivos para actividades agrícolas (invernaderos, secaderos, establos), que permiten un considerable ahorro energético en las diferentes tareas agrícolas implicadas.

Sistemas de captación

[Utilización pasiva de la energía solar](#) | [Conversión térmica de baja temperatura](#) | [Conversión térmica a temperaturas medias](#) | [Conversión térmica a altas temperaturas](#) | [Conversión eléctrica: sistemas fotovoltaicos](#)

Conversión térmica de baja temperatura



Esta tecnología comprende el calentamiento de agua por debajo de su punto de ebullición. El conjunto de elementos para el suministro de agua caliente se conoce como "sistema solar activo de baja temperatura", distinguiéndose dentro del mismo cuatro subsistemas:

- **Subsistema colector:** capta la energía solar y está constituido por los colectores llamados también "placas solares", "captadores" o "paneles"
- **Subsistema de almacenamiento:** está constituido por depósitos que almacenan el agua caliente procedente de los paneles
- **Subsistema de distribución:** es una instalación de tuberías y accesorios, que permite transportar el agua caliente desde el colector hasta los depósitos de almacenamiento y desde aquí a los puntos de consumo. A continuación se estudiarán por separado los subsistemas citados, ya que la conversión solar térmica a baja temperatura es, sin duda, la más difundida y desarrollada, lo que la hace una de las tecnologías solares con más futuro a corto plazo.

Subsistema colector

Tiene como misión captar y transferir el calor y está constituido por los paneles solares, compuestos generalmente por los siguientes elementos ([Figura 2.4](#)):

- Superficie captadora de la radiación solar
- Circuito por donde circula el fluido que transfiere el calor captado
- Cubierta transparente
- Aislamiento térmico
- Caja protectora que acopla el conjunto al resto de la instalación



La placa captadora es el elemento principal que recoge la radiación solar y transmite el calor que ésta transporta. Está construida de material metálico negro, o plástico cuando la temperatura es inferior a 50 °C. Se orienta hacia el Sur con una inclinación igual a la latitud geográfica del lugar.

Esta placa debe absorber la máxima radiación posible para convertirla en energía térmica con el mayor rendimiento y transferir la mayor cantidad posible de calor al fluido portador. Para mejorar estas placas se emplean los llamados "recubrimientos selectivos", productos de máxima absorción de radiación y mínima emisión.

El circuito por donde circula el fluido que transporta el calor puede ser:

- Pasivo o por circulación natural (termosifón)
- Activo o por circulación forzada (bombeo)

A su vez, el circuito puede ser también:

- Abierto: utiliza agua de la red general, que se hace pasar por el colector; este sistema presenta problemas de corrosión e incrustaciones
- Cerrado: emplea agua tratada en un circuito que cede el calor al agua de consumo en un intercambiador de calor

La [Figura 2.5](#) muestra como ejemplo un equipo de captación-acumulación de energía solar en circuito cerrado con bombeo, uno de los sistemas más usados en la actualidad.

El rendimiento del colector aumenta utilizando una cubierta transparente que protege la placa colectora y produce un efecto invernadero al atrapar el calor incidente. Estas cubiertas son de vidrio, plásticos o combinaciones de estos materiales; la elección del material y del número de cubiertas suele depender del coste y del aumento del rendimiento obtenido.

El aislamiento térmico reduce las pérdidas de calor, utilizándose como tal lana de vidrio o corcho sintético.

La caja protege todos los elementos del colector y permite ensamblar sus diferentes componentes, solándose presentar en variados aspectos y materiales. Sus superficies se suelen tratar con pinturas resistentes al ambiente en que va a ser instalada.

Finalmente, para mejorar el rendimiento de los colectores de placa plana se puede eliminar el aire del espacio situado entre la superficie absorbente y la cubierta transparente. A este tipo de colector se le conoce con el nombre de "colector de vacío", cuyo coste es más del doble del de los convencionales, pero que permite obtener temperaturas muy próximas a los 100 °C.

Subsistema de almacenamiento

Está formado por los depósitos que acumulan el agua caliente procedente de los paneles y es imprescindible su instalación, debido a que la variación en la intensidad de la radiación solar no coincide con la variación en la demanda de energía por parte del consumidor.

La capacidad de estos depósitos oscila entre los 50 y los 100 litros de agua por cada metro cuadrado de superficie captadora, aunque en cada caso el tamaño adecuado viene dado por factores técnicos y económicos. Los depósitos suelen ser de acero, protegidos contra la corrosión por diversos tratamientos, o de otros materiales, pero en cualquier caso han de estar aislados para evitar las pérdidas de calor.

Subsistema de distribución

Está constituido por las redes de tuberías y los accesorios correspondientes, que permitirán el transporte del fluido portador de calor desde los colectores al sistema de almacenamiento, y desde éste a los puntos de consumo. La elección de los diferentes elementos depende del uso de la instalación y de la temperatura de los fluidos; en cualquier caso, deben estar aislados para evitar pérdidas de calor.

Un elemento importante de este subsistema son las bombas, que provocan la circulación del fluido a través de los circuitos, siendo asimismo necesario instalar vasos de expansión para evitar la rotura de las tuberías. Otros elementos del circuito distribuidor son las válvulas, purgadores, filtros y otros varios, empleados en las instalaciones convencionales de fontanería.

El subsistema de distribución se complementa con diferentes elementos de medida (termómetros, manómetros) y control (válvulas automáticas), que permiten su funcionamiento automático. Asimismo, es de destacar que los equipos solares de baja temperatura no garantizan la totalidad de las necesidades energéticas, por lo que necesitan de un equipo convencional de apoyo (calentadores eléctricos o a gas, etc.) que suplan la carencia de energía solar, fundamentalmente debidas a las condiciones climatológicas.

Sistemas de captación

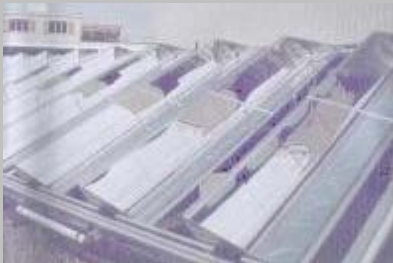
[Utilización pasiva de la energía solar](#) | [Conversión térmica de baja temperatura](#) | [Conversión térmica a temperaturas medias](#) | [Conversión térmica a altas temperaturas](#) | [Conversión eléctrica: sistemas fotovoltaicos](#)

Conversión térmica a temperaturas medias

Para obtener temperaturas superiores a los 100 °C se debe concentrar la radiación solar, para lo que se pueden utilizar lentes o espejos. Canalizando la radiación hacia un punto o una superficie llamado "foco", éste eleva su temperatura muy por encima de la alcanzada en los colectores planos.

Aunque la superficie que recibe los rayos concentrados puede tener cualquier forma dependiendo de la técnica usada, en la actualidad la solución más favorable para una concentración de tipo medio (temperaturas menores de 300 °C) es el "colector cilindro-parabólico". Este colector, representado esquemáticamente en la [Figura 2.6](#), consiste en un espejo cilindro-parabólico que refleja la radiación recibida sobre un tubo de vidrio dispuesto en la línea focal. Dentro del tubo de vidrio están el absorbedor y el fluido portador del calor.

Para que se puedan concentrar los rayos solares, estos colectores se montan igual que los planos, es decir, mirando al Sur y con una inclinación igual a la latitud del lugar. Además necesitan un dispositivo que vaya haciendo girar los espejos a lo largo del día, sincronizado con el movimiento aparente del Sol.



Los colectores cilindro-parabólicos, aparte de poder operar a temperaturas superiores a las de los planos, tienen la ventaja de requerir depósitos de acumulación más pequeños y de tener menores superficies de absorción y menores pérdidas de calor. No obstante, son más caros.

Aunque los colectores cilindro-parabólicos son aplicables en la misma gama de necesidades que los paneles planos, al poder desarrollar temperaturas considerablemente superiores tienen interesantes posibilidades de utilización industrial. Así, se están usando asociaciones de un cierto número de estos colectores en las llamadas "granjas solares", pudiendo ser utilizados para la producción de calor o electricidad. La energía así obtenida se aplica a procesos térmicos industriales, desalinización de agua de mar, refrigeración y climatización.

Sistemas de captación

[Utilización pasiva de la energía solar](#) | [Conversión térmica de baja temperatura](#) | [Conversión térmica a temperaturas medias](#) |

[Conversión térmica a altas temperaturas](#) | [Conversión eléctrica sistemas fotovoltaicos](#)

Conversión térmica a altas temperaturas

Para conversiones térmicas superiores a los 300 °C, encaminadas a la producción de energía eléctrica a gran escala, es necesario concentrar la radiación solar mediante grandes paraboloides o un gran número de espejos enfocados hacia un mismo punto. El sistema más extendido es de receptor central, formado por un campo de espejos orientables, llamados "heliostatos", que concentran la radiación solar sobre una caldera situada en lo alto de una torre, según se muestra en la [Figura 2.7](#).

El calor captado en el absorbedor es cedido a un fluido portador circulando en circuito cerrado y que, debido a las altas temperaturas que ha de soportar (superiores a 500 °C) suele ser sodio fundido o vapor de agua a presión. Este fluido primario caliente se hace pasar a un sistema de almacenamiento, para luego ser utilizado en un sistema de generación de vapor, que se alimenta a una turbina. Esta actúa sobre un alternador, que permite obtener energía eléctrica.

La tecnología de las centrales solares se encuentra actualmente en fase de pleno desarrollo. Las instalaciones existentes se pueden considerar sólo como plantas de experimentación que permiten obtener, de momento, una rentabilidad en forma de innovación tecnológica. Por lo tanto, estas centrales están aún muy lejos de resolver el problema energético, aunque se pueden considerar válidas como un modesto complemento de las centrales térmicas convencionales.



Sistemas de captación

[Utilización pasiva de la energía solar](#) | [Conversión térmica de baja temperatura](#) | [Conversión térmica a temperaturas medias](#) | [Conversión térmica a altas temperaturas](#) | **Conversión eléctrica: sistemas fotovoltaicos**

Conversión eléctrica: sistemas fotovoltaicos

La conversión de la energía solar en energía eléctrica está basada casi por completo en el denominado "efecto fotovoltaico", o producción de una corriente eléctrica en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa.

Los semiconductores son sustancias, como el silicio, de conductividad eléctrica intermedia entre un aislante y un conductor y, según sus características, se clasifican en dos tipos: "tipo p" y "tipo n". Estas características se consiguen añadiendo impurezas que afectan a las propiedades eléctricas del semiconductor, proceso que se llama "dopado". Añadiendo al silicio impurezas de fósforo se consigue un semiconductor tipo n, mientras que añadiendo boro, se consigue un semiconductor tipo p. El alto grado de pureza necesario para la obtención de semiconductores será el motivo principal de su elevado coste.

Un disco monocristalino de silicio dopado en su superficie expuesta al Sol hasta hacerla de tipo n y en su parte inferior de tipo p, constituye una "célula solar fotovoltaica", completada por unos contactos eléctricos adecuados para hacer circular la corriente eléctrica por el circuito exterior, según se muestra en la [Figura 2.8](#). Generalmente, conectando 36 de ellas y montándolas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie, se obtiene un "módulo fotovoltaico", capaz de proporcionar una corriente continua de 18 V con una iluminación de 1 kW/m².

Una serie de módulos montados sobre un soporte mecánico constituyen un "panel fotovoltaico"; según se conecten dichos módulos en serie o en paralelo, puede conseguirse casi cualquier valor de tensión y de intensidad de corriente.

En la mayoría de las aplicaciones, el panel se conecta a una batería, para disponer de energía eléctrica almacenada, aunque también puede estar conectado en paralelo con la red, para emplear la energía de la misma cuando falte el Sol.

Entre los sectores de aplicación de la energía solar fotovoltaica cabe destacar cuatro, claramente diferenciados:

- Aplicaciones remotas: lugares donde sólo se prevé un pequeño consumo de electricidad (repetidores de radio y televisión, radiofaros, balizas, etc.), y en los que es necesario una acumulación a base de baterías
- Usos rurales: instalaciones aisladas de la red general que no suelen requerir acumulación (riego, molienda, descascarillado, etc.)
- Autogeneración: centros de consumo conectados a la red, utilizando la energía solar como base y la de la red como complemento
- Grandes centrales: generación masiva de electricidad, sólo posible en condiciones favorables de evolución de la tecnología fotovoltaica, el coste de las fuentes energéticas convencionales y las condiciones climáticas

Es necesario destacar finalmente que los costes de las células fotovoltaicas siguen siendo altos en la actualidad, debido principalmente a la complejidad de la fabricación de las mismas. A pesar de todo, su coste se ha reducido a alrededor de la cuarta parte del que tenían antes del comienzo de la crisis energética, en 1973. Es por ello que se siguen realizando importantes investigaciones respecto a la reducción de costes de las células, centrados en dos facetas fundamentales:

- Utilización de nuevos materiales: existen semiconductores con propiedades fotovoltaicas, cuyo coste de producción es mucho más bajo que el del silicio
- Aumento de la radiación incidente: existen dos opciones al respecto; o utilizar células bifaciales, capaces de recibir la radiación solar por ambas caras, o utilizar concentración óptica por medio de lentes



Es de esperar, por tanto, que alrededor del final de la década de los años 90, no sólo se desarrollen las nuevas técnicas indicadas, sino que el mercado crezca lo suficiente como para que la energía solar fotovoltaica sea competitiva en todos los campos de aplicación antes mencionados.

La energía solar en España

España es un país privilegiado para el desarrollo de las tecnologías y aplicaciones de la energía solar, tanto por sus condiciones geográficas y climatológicas (con una media anual de insolación superior a las 2.500 horas y una radiación media de 688 kcal/h.m²), como por contar ya con un nivel industrial adecuado para el desarrollo de estas tecnologías.

Han pasado muchos años desde que el ingeniero agrónomo Félix Sancho patentara en 1921 un aparato destinado a calentar por captación solar agua para baños y usos industriales, adelantándose casi 60 años a su tiempo. El primer aparato construido según su proyecto se instaló en su casa familiar del Puerto de Santa María, y a esta instalación siguieron otras muchas que, desgraciadamente, más tarde fueron olvidadas.

La energía solar fue resucitada en España a raíz de la crisis energética mundial, cuando a finales de 1974 se creó el Centro de Estudios de la Energía con el fin de actuar ordenadamente en el campo de las energías alternativas. Para familiarizar al gran público con el aprovechamiento de la energía solar y demostrar su conveniencia y rentabilidad, así como para promocionar la fabricación de estos sistemas, dicho organismo puso en marcha un programa de demostración del aprovechamiento de la energía solar a baja temperatura (orientado a la producción de agua caliente sanitaria) que permitiera, además, adquirir una experiencia en cuanto a su funcionamiento operativo.

En una primera fase, este programa se aplicó a cuatro centros asistenciales u hospitalarios situados en las provincias de Málaga, Murcia, Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife, provincias éstas que se encuentran entre las que reciben una mayor cantidad de radiación solar. En una segunda fase, se aplicó también a la industria, instalándose diversas plantas de colectores cilindro-parabólicos con objeto de producir vapor de proceso, entre ellas la planta piloto de desalinización de agua de mar en Arinaga (Las Palmas), que fue abandonada al poco tiempo de su puesta en funcionamiento.

Pero este programa no sólo ha promovido en España la utilización de esta fuente de energía, sino que también ha posibilitado la creación de una industria nacional en este sector. Con ello se han ampliado las posibilidades económicas de una actividad que, con un elevado grado de tecnología nacional, ha ido creando y manteniendo un cierto número de puestos de trabajo, si bien la evolución histórica del sector ha demostrado que su desarrollo es complejo, ya que el mercado de la energía solar es especialmente sensible a numerosos factores, tanto técnicos como económicos.

La energía solar térmica se comenzó a desarrollar de forma significativa en España a finales de los años setenta. A partir de esos años se produjeron crecimientos relativos muy elevados, hasta el año 1982, en que el mercado se estabilizó en torno a la instalación de los 30.000 m²/año. En 1985 había instalada una superficie total de cerca de 200.000 m². En este año desaparecieron las subvenciones fijas a particulares, que fueron sustituidas por subvenciones a empresas o entidades diversas para el fomento de inversiones en conservación de energía o fuentes alternativas de energía, acción encaminada a conseguir los objetivos del PEN de 1983, correspondiendo su instrumentación al IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), en colaboración con las Comunidades Autónomas. Estas subvenciones no podrán ser superiores al 40% de la inversión del proyecto, pero son compatibles con cualquier otra concedida por las Comunidades Autónomas en ejercicio de sus competencias y con cargo a sus propios medios.

En 1986 los precios energéticos sufrieron un fuerte descenso y la demanda solar térmica se estabilizó en un nivel aproximado de 10.000 m²/año, habiéndose contabilizado en 1997 una superficie total instalada de alrededor de 350.000 m².

En lo concerniente a la generación de electricidad a partir de sistemas solares de altas temperaturas, España se encuentra entre el grupo de países que figuran a la cabeza en esta materia, ya que desde principios de los años ochenta funcionan en la Plataforma Solar de Almería:

- Central de colectores distribuidos de 500 kW, patrocinada por la Agencia Internacional de la Energía (AIE).
- Central de torre SSPS, de 0,5 MW, también en colaboración con la AIE, con 93 heliostatos y una torre de 40 m de altura.



- Central CESA-1, totalmente española, de 1,2 MW, con 300 heliostatos y una torre de 80 m de altura.

Finalmente, respecto a la energía solar fotovoltaica, hay que mencionar que en España existe una experiencia razonable en el sector, ya que es uno de los países donde el mercado de instalaciones fotovoltaicas se ha desarrollado de un modo sólido, a impulsos de las iniciativas pública y privada. La composición actual del mercado fotovoltaico se divide casi en la misma proporción entre las aplicaciones conectadas a la red y las aplicaciones aisladas. La potencia instalada anualmente ha ido creciendo paulatinamente. De los 170 kWp que había instalados en 1986 se ha pasado a más de 7.000 kWp totales en 1997. Las instalaciones existentes en España han demostrado contar con suficiente fiabilidad y, en general, se mantienen en excelente estado de funcionamiento, lo que ha dado lugar a un alto nivel de satisfacción de los usuarios de la energía fotovoltaica. Además, el nivel de preparación de los profesionales del sector es muy alto, proporcionándole al usuario final diseños muy adecuados en cuanto a dimensionado, características de los equipos y adaptación a las aplicaciones.

De todo lo anterior puede deducirse que en España ha prendido con fuerza en la sociedad la actividad en energía solar y que la lógica respuesta del mercado puede ayudar a una instalación efectiva de esta energía en nuestro país, adquiriendo una tecnología lo suficientemente sólida como para contemplar con optimismo una implantación internacional importante.



Desalinización por energía solar



FIGURA 2.2: Algunos sistemas pasivos para calefacción

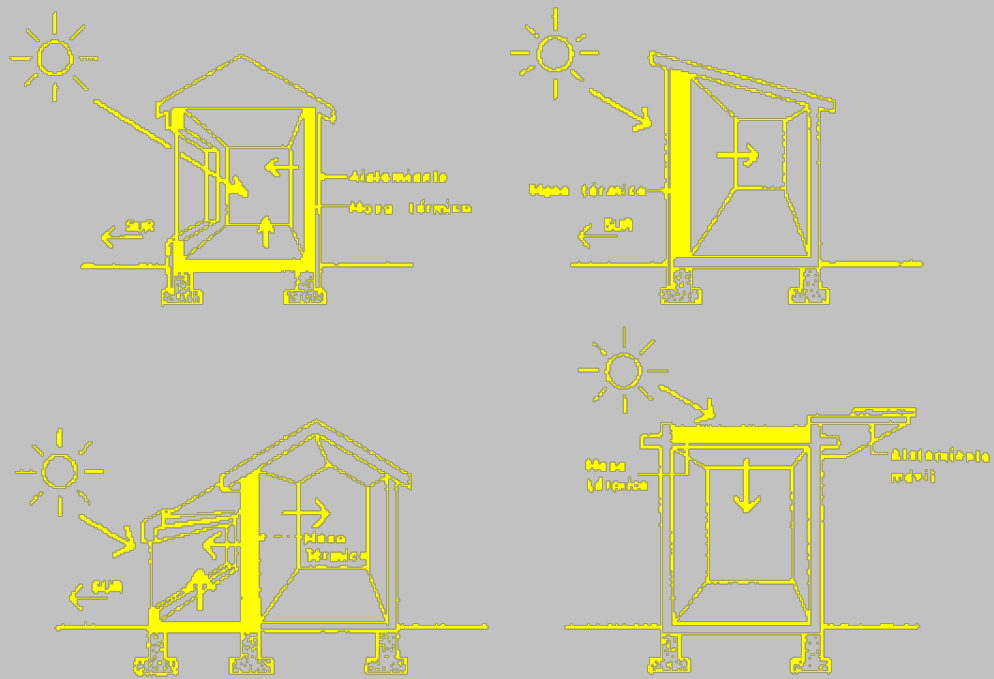
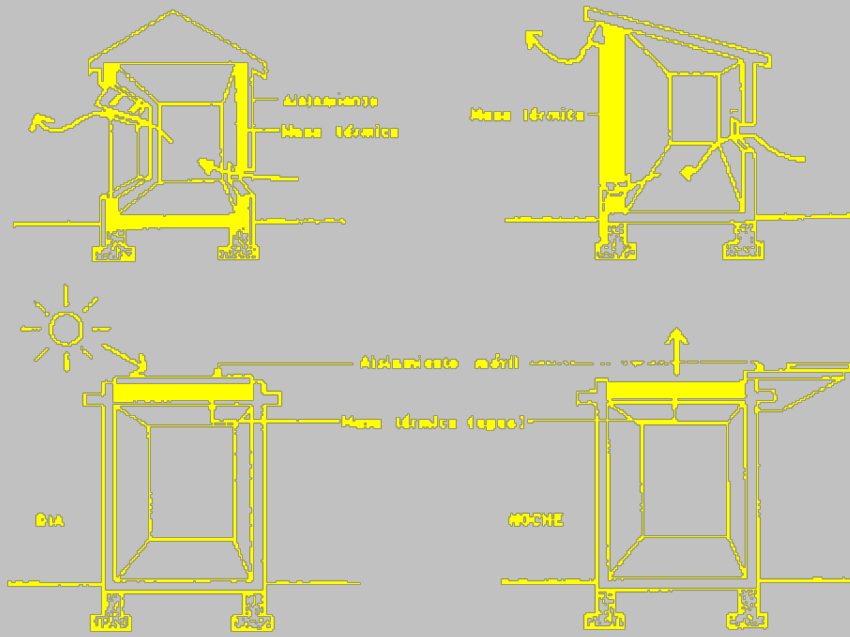


FIGURA 2.3: Algunos sistemas pasivos para refrigeración



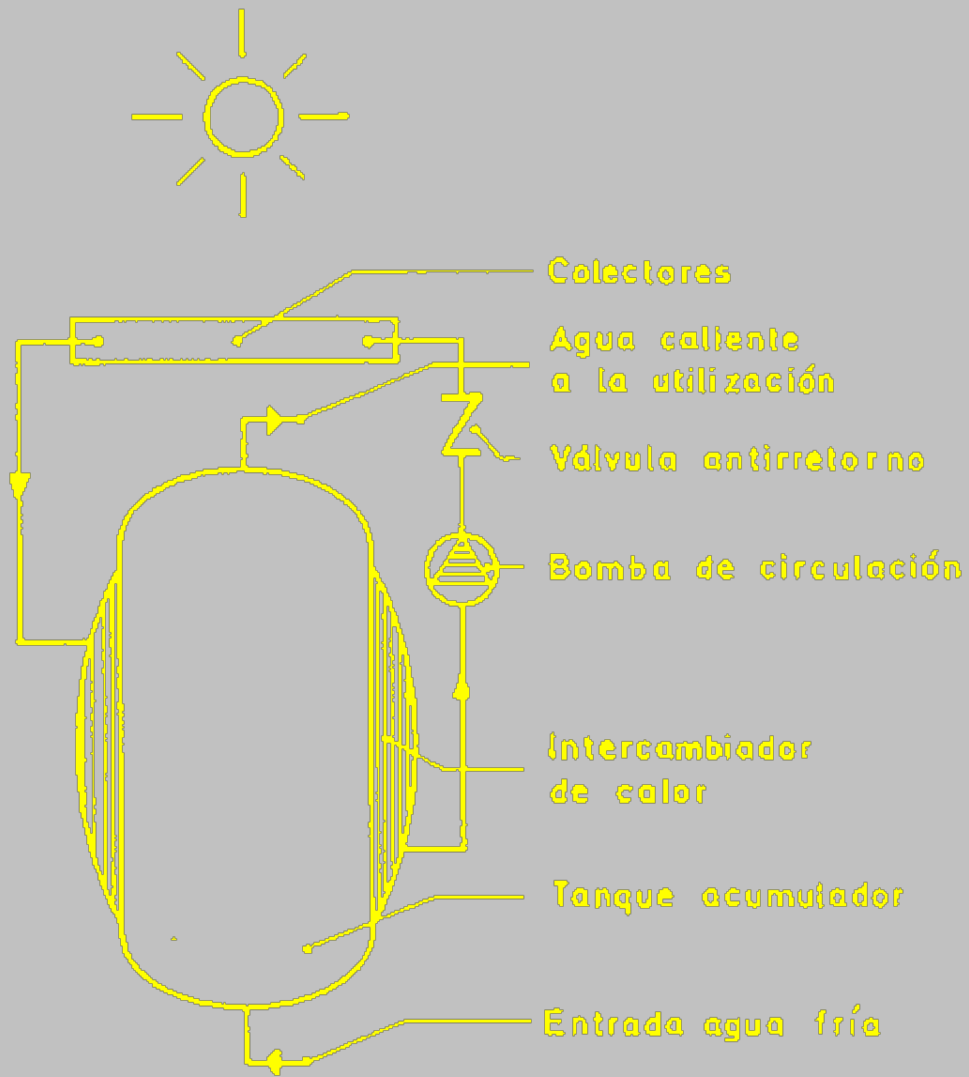
Utilización de los paneles solares



Placa captadora de un panel solar



FIGURA 2.5: Equipo solar de circuito cerrado con bombeo



Colectores cilindro-parabólicos



Heliostatos



FIGURA 2.7: Centrales solares de torre: a) Torre central b) Campo Norte



Aplicación fotovoltaica



Plataforma solar de Almería



Enlace telefónico de Montaña Rajada (Tenerife)



La Energía Eólica



- [El origen del viento](#)
- [La energía del viento](#)
- [Breve historia del aprovechamiento eólico](#)
- [Máquinas eólicas](#)
- [Diseño de instalaciones eólicas](#)
- [Aplicaciones de la energía eólica](#)
- [Posibilidades para las aplicaciones eólicas en España](#)

El origen del viento

El viento se puede definir como una corriente de aire resultante de las diferencias de presión en la atmósfera provocadas, en la mayoría de los casos, por variaciones de temperatura, debidas a las diferencias de la radiación solar en los distintos puntos de la Tierra. La circulación de las masas de aire se debe a la acción resultante de las fuerzas de rozamiento, de presión, gravitacional y de rotación de la Tierra, que inducen dos tipos de circulación del aire en la atmósfera:



- Circulación planetaria: debida a la incidencia de los rayos solares sobre la Tierra y a la rotación de ésta, varía según la zona y la época del año
- Circulación a pequeña escala: viene determinada por la orografía del terreno, como las montañas y la presencia del mar

En definitiva, se puede considerar que las variables que definen el régimen de vientos en un punto determinado son:

- Situación geográfica
- Características climáticas
- Estructura topográfica
- Irregularidades del terreno
- Altura sobre el nivel del suelo

siendo su estudio de gran importancia a la hora de acometer el diseño de un dispositivo que sea capaz de aprovechar la energía que contiene el viento.

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 construído 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.

Breve historia del aprovechamiento eólico

La primera máquina eólica conocida por la historia aparece en el año 1700 a.C. en Babilonia, usándose para bombear agua, aunque parece que en la antigua Persia se utilizaban ya molinos de eje vertical para moler grano.

Hasta el siglo X no es posible encontrar documentos que mencionen los molinos de viento como práctica generalizada, pero a partir del siglo XI, aparecen en la zona mediterránea molinos con rotores a vela (Figura 3.1), que derivan en los típicos molinos manchegos y mallorquines, probablemente por influencias llegadas de Europa, cuya característica era el rotor de cuatro aspas de entramado de madera recubierto de tela (Figura 3.2).



Aunque la evolución en la historia de los molinos de viento transcurre de forma continua, a finales de la Edad Media las innovaciones y las aplicaciones de las máquinas eólicas se producen con rapidez. Entre la segunda mitad del siglo XVIII y la segunda mitad del XIX, los molinos de viento europeos alcanzan su más alto nivel de perfeccionamiento, dentro de las limitaciones de la tecnología artesanal. Los sistemas de orientación y regulación se ven completados por mecanismos internos, convirtiendo los molinos de viento en factorías mecanizadas con un alto grado de automatización.

En la segunda mitad del siglo XIX aparece una nueva generación de máquinas eólicas, con una concepción de diseño diferente: el "multipala americano" (Figura 3.3) abrió el camino hacia mejoras en el rendimiento de estas máquinas, que no se produjo realmente hasta principios del siglo XX, cuando se aplicaron al diseño de los rotores las teorías aerodinámicas para usos aeronáuticos.

A lo largo del siglo XX, las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento fueron declinando, a medida que se hacía más popular el uso del petróleo. Sin embargo, la crisis energética ha iniciado de nuevo un período en el campo del aprovechamiento eólico, habiéndose elaborado innumerables programas de estudio que han centrado su interés en dos grandes aspectos:

- Elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos
- Cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia

Paralelamente se ha pretendido crear incentivos que motiven a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas máquinas de funcionamiento autónomo, que permitan cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas.

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

El estudio de cada uno de estos elementos permitirá conocer las bases para el diseño y la construcción de estas máquinas.

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 ([Figura 3.4-a](#)) como de eje vertical ([Figura 3.4-b](#)).



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 ([Figura 3.5](#)), superficie plana situada en el extremo de un soporte unido al cuerpo del aeromotor. También se utilizan rotores auxiliares ([Figura 3.6](#)), 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 ([Figura 3.7](#)), 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" ([Figura 3.8](#)), 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 [Figura 3.9](#).

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 cig(eñal-biela. Cuando se desea generar energía eléctrica es necesario primero aumentar la velocidad de giro del rotor, que suele ser inferior a las 200 rpm, 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.

Aplicaciones de la energía eólica

Las aplicaciones de la energía eólica se pueden clasificar, según su ámbito, como aplicaciones centralizadas, caracterizadas por la producción de energía eléctrica en cantidades relativamente importantes, vertidas directamente a la red de distribución, o aplicaciones autónomas, dentro de las que cabe distinguir el uso directo de la energía mecánica o su conversión en energía térmica o eléctrica.

En el marco de las aplicaciones centralizadas, en las que siempre será necesario que la potencia base de la red la proporcione una fuente de energía más estable, cabe destacar dos grandes tipos de instalaciones eólicas:

- Aerogeneradores de gran potencia: se están llevando a cabo experiencias con aerogeneradores en el rango de potencias de los MW con grandes esperanzas, ya que la potencia que se podría instalar sería muy grande
- Parques eólicos: se trata de centrales eólicas formadas por agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia (alrededor de 100 kW) conectados entre sí, que vierten su energía conjuntamente a la red; la generalización de estas instalaciones contribuiría a una importante producción de electricidad de origen eólico en el futuro

Por su parte, las aplicaciones autónomas de máquinas eólicas de pequeña potencia pueden ser rentables en muchos casos, según las condiciones eólicas y las características concretas de las diferentes alternativas que se comparen. Las posibilidades que existen en este ámbito se pueden dividir en tres grupos, según el tipo de energía utilizada en cada caso:

- Energía mecánica: aplicación inmediata en el bombeo de agua por medio de bombas de pistón, de tornillo helicoidal o centrífugas
- Energía térmica: obtenible a partir de la energía mecánica bien por calentamiento de agua por rozamiento mecánico, o bien por compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor
- Energía eléctrica: aplicación más frecuente, pero que obliga a su almacenamiento o a la interconexión del sistema de generación autónomo con la red de distribución eléctrica



En resumen, las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos:

- Bombeo de agua y riego
- Acondicionamiento y refrigeración de almacenes
- Refrigeración de productos agrarios
- Secado de cosechas
- Calentamiento de agua
- Acondicionamiento de naves de cría de ganado
- Alumbrado y usos eléctricos diversos



Asimismo resulta de interés el empleo de aerogeneradores para repetidores de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos de las redes eléctricas. En estos casos hay que prever normalmente un sistema de acumulación por baterías para hacer frente a las posibles calmas.

Posibilidades para las aplicaciones eólicas en España

En España, los trabajos en el campo de la energía eólica han comenzado en años muy recientes. Así, en el año 1979, el Centro de Estudios de la Energía promovió una serie de estudios encaminados a la construcción de una planta experimental de 100 kW. El proyecto se inició con un estudio previo de los recursos eólicos realizado en el Instituto de Técnica Aeroespacial (INTA). Como consecuencia de estos trabajos previos, se decidió construir la planta experimental en Punta de Tarifa (Cádiz), pasándose en 1983 a la segunda fase del proyecto, consistente en las pruebas de la máquina.



Desde esa fecha hasta contar en 1992 con el mayor parque eólico de Europa se ha recorrido un difícil camino: de los 0,5 MW instalados en 1986 se pasó a los 45 MW en 1992, año en que se instalaron 38 MW. Ello supuso el paso definitivo para la consideración de la energía eólica como un tipo plenamente en fase comercial, con unos niveles de fiabilidad en el suministro similares a los de cualquier otra área energética. Desde entonces, la energía eólica en España está creciendo a un ritmo superior a la media de la unión Europea. De hecho, a finales de 1996 habían instalados 210 MW eólicos y, de cumplirse las previsiones de los proyectos en ejecución, sólo en 1997 se habrían instalado otros 320 MW.

Todo ello no sólo se explica por ser el potencial eólico español claramente uno de los más importantes de Europa, sino que las inversiones realizadas en los últimos años han logrado crear una infraestructura empresarial de fabricantes (aerogeneradores, palas, torres, generadores, transformadores), suministradores (equipos eléctricos, de regulación y de control), empresas de construcción mecánica, instaladores e ingenierías, que han permitido esta fuerte expansión actual.

Antiguo molino de gofio



Molino holandés



FIGURA 3.1: Molino mediterráneo sobre trípode

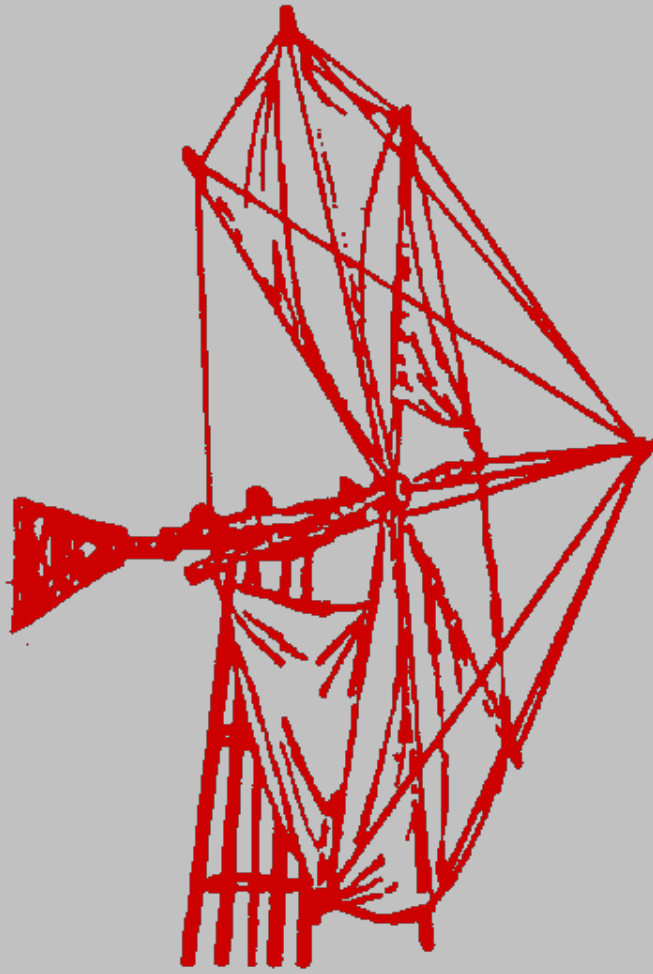


FIGURA 3.2: Molino europeo

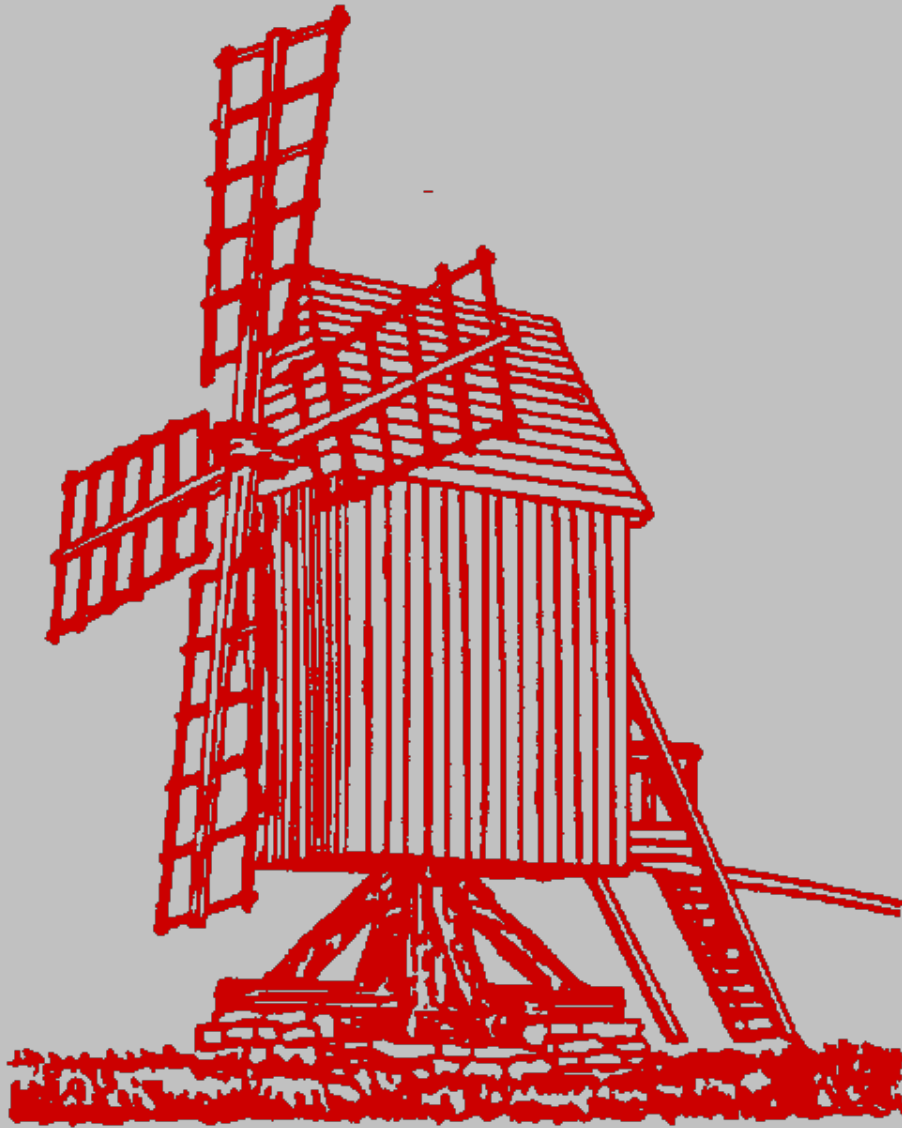
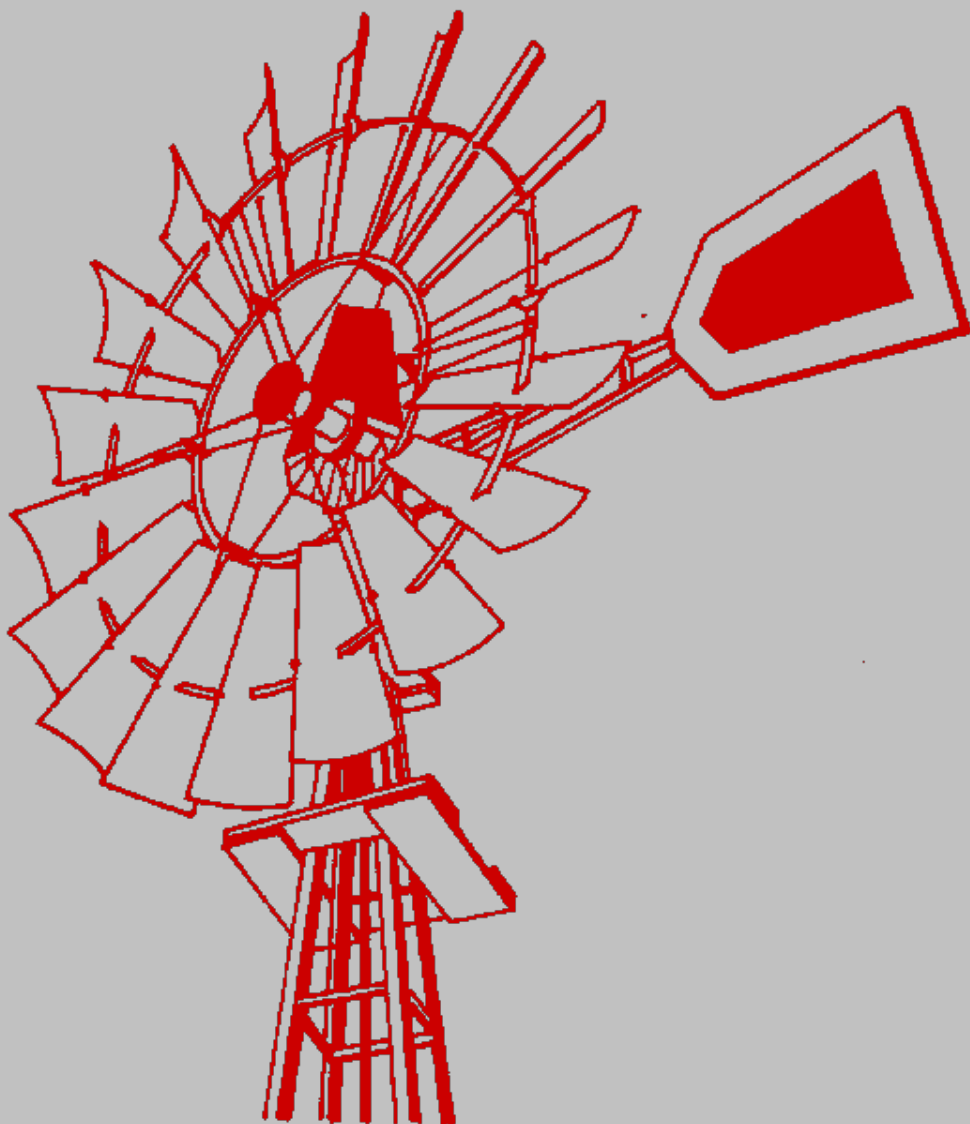


FIGURA 3.3: Multipala americano



Fonte: <http://www.terra.com.br>

Aerogenerador de eje horizontal



FIGURA 3.4-a: Rotores de eje horizontal

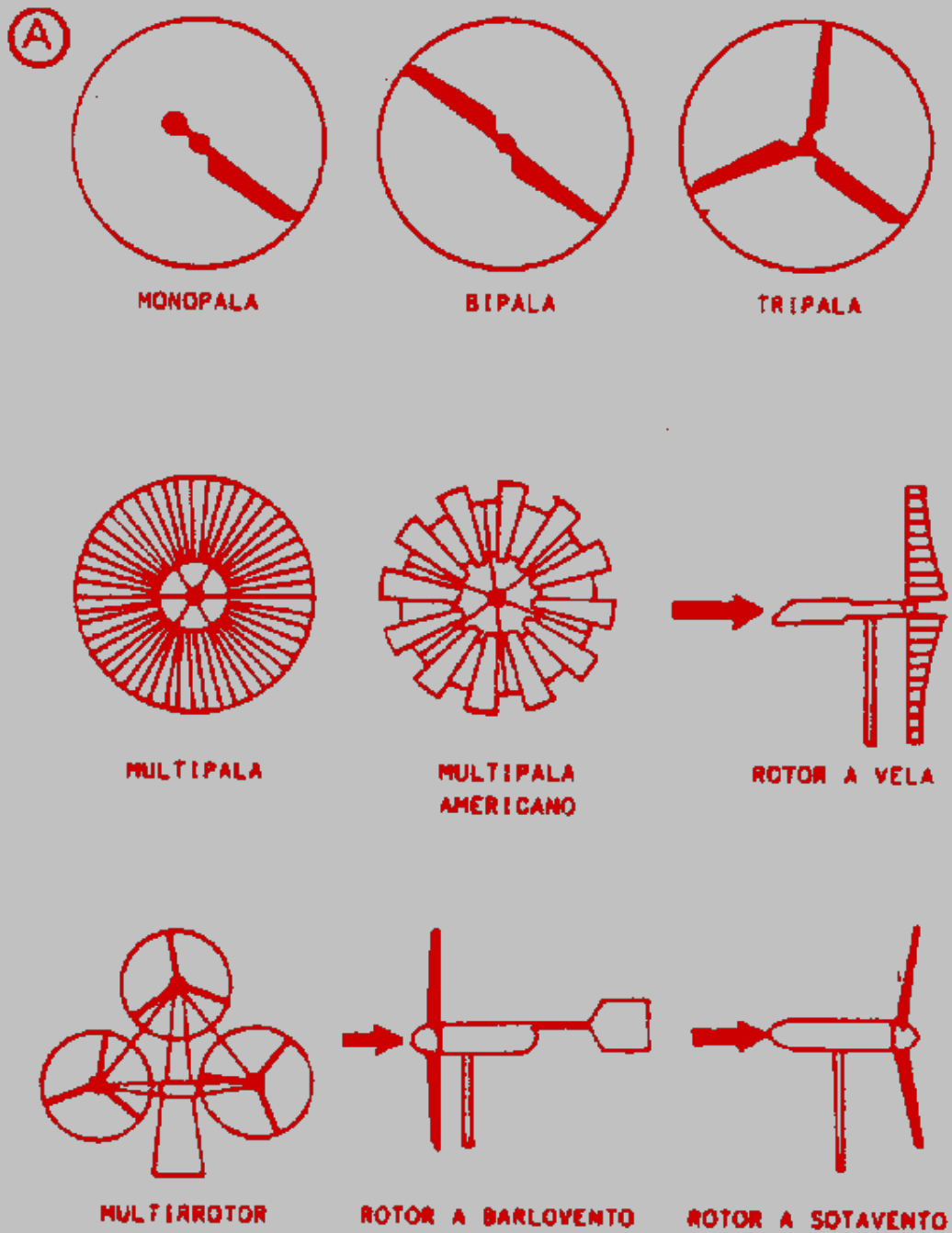


FIGURA 3.4-b: Rotores de eje vertical

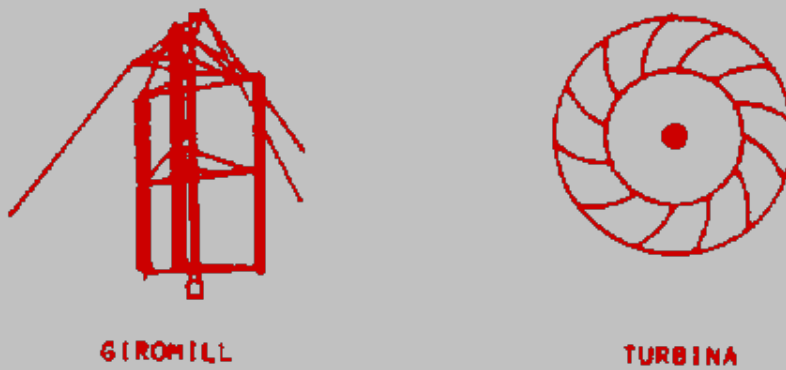
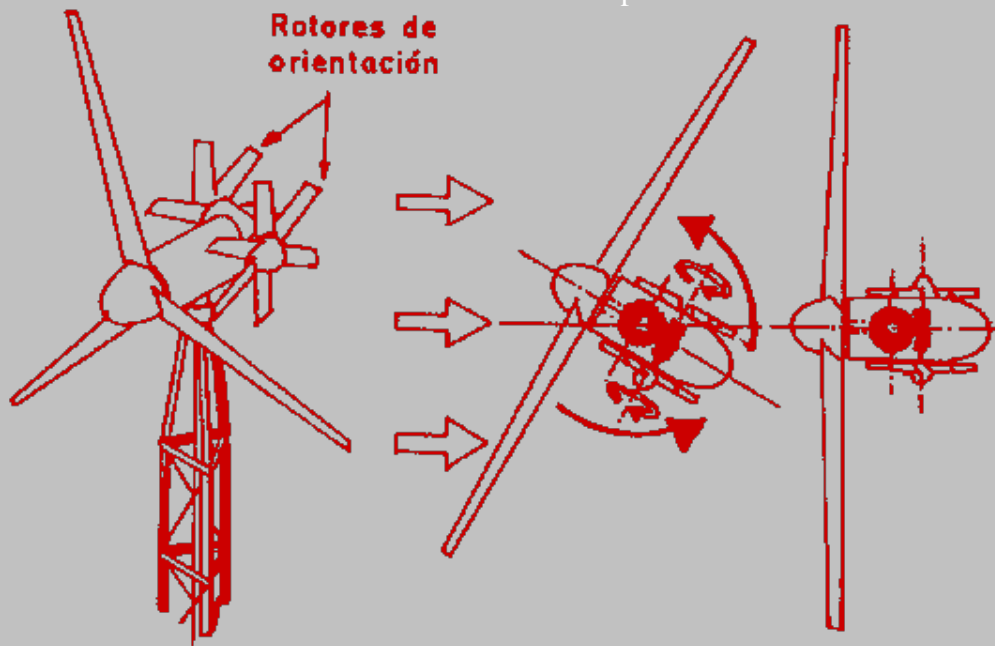


FIGURA 3.6: Sistema de orientación por rotores auxiliares



Aerogenerador de eje vertical



FIGURA 3.7: Sistema de orientación por efecto de conicidad

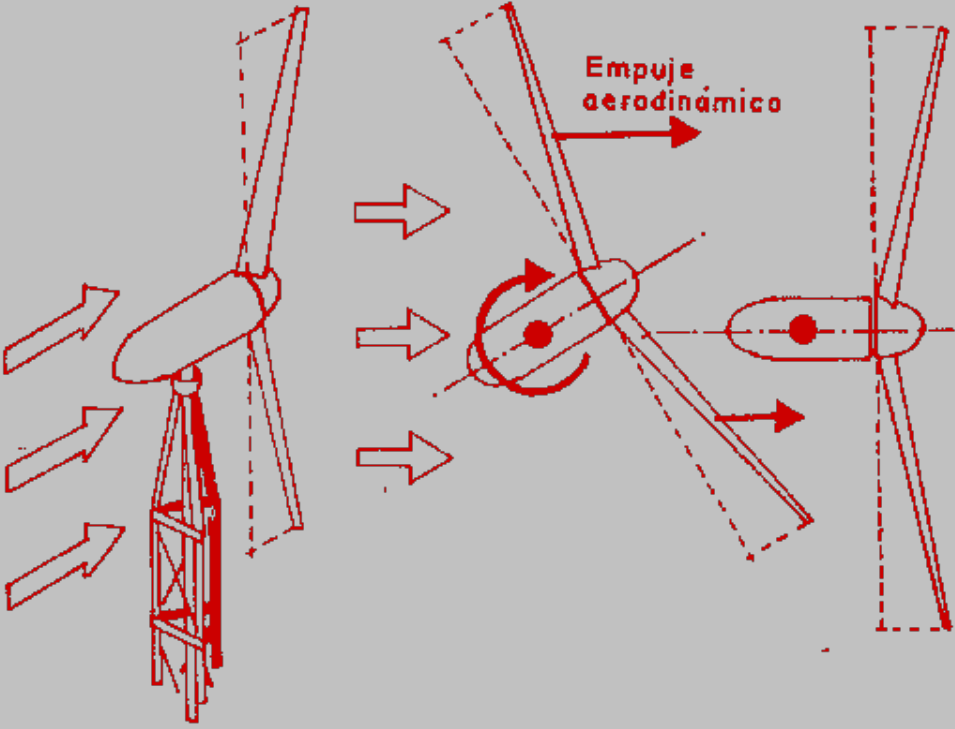


FIGURA 3.8: Sistema de regulación por puesta en bandera

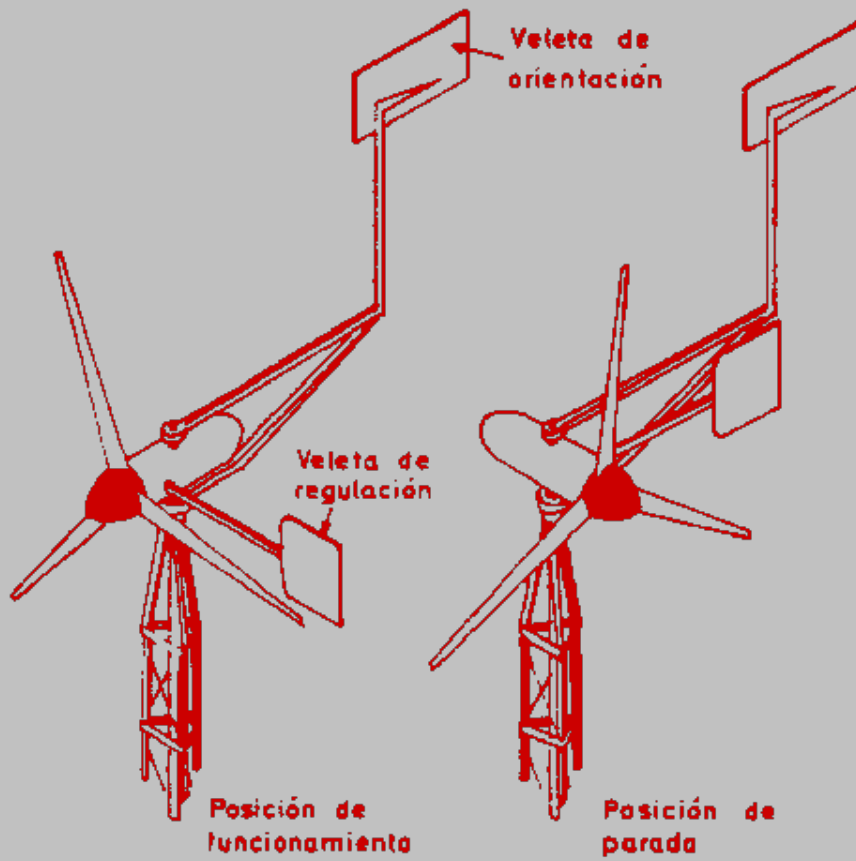
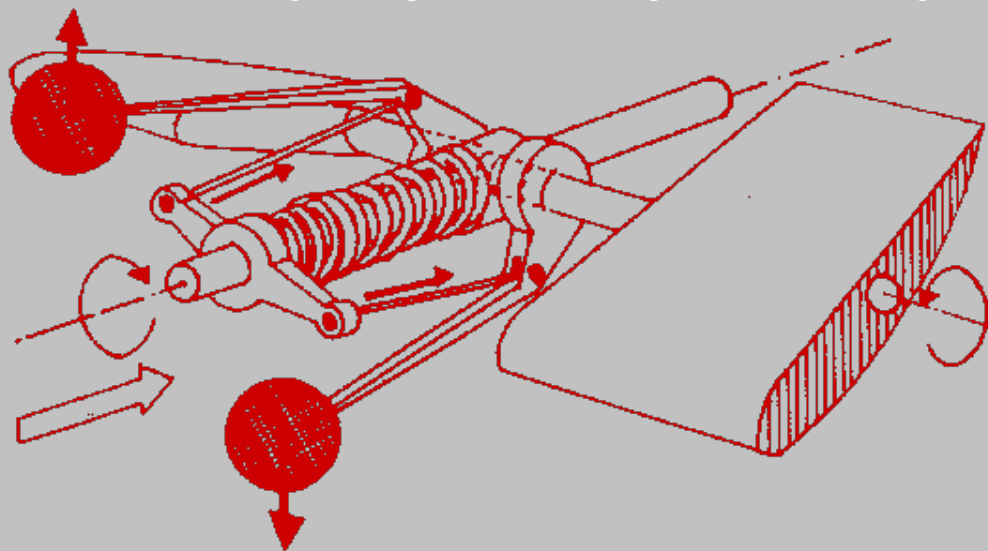


FIGURA 3.9: Sistema de regulación por masas centrífugas (variación del ángulo de ataque)



Aerogenerador de gran potencia



Aerogenerador de media potencia



Aplicaciones descentralizadas de la energía eólica



Aplicaciones agrícolas de la energía eólica



Aerogenerador en La Laguna (Tenerife)



La Energía de la Biomasa



- [La formación de la biomasa](#)
- [Fuentes de biomasa para fines energéticos](#)
- [Procesos de transformación de la biomasa en energía](#)
 - [Extracción de hidrocarburos](#)
 - [Combustión](#)
 - [Gasificación](#)
 - [Pirólisis](#)
 - [Fermentación alcohólica](#)
 - [Digestión anaerobia](#)
- [Proyectos españoles sobre 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 relación entre estos tipos de biomasa se muestra en el esquema de la [Figura 4.1](#).

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:

- Residuos agrícolas: fracción de las plantas cultivadas que es preciso separar para obtener el fruto o para facilitar el cultivo; destacan las pajas de cereales, los residuos de poda de frutales y viñedo y los tallos de cultivos textiles y de oleaginosas
- Residuos forestales: constituídos por ramas, cortezas, virutas, serrín, hojas, tocones y raíces que se originan en la elaboración de madera o en la limpieza de los montes
- Residuos ganaderos: deyecciones de los animales estabulados en las explotaciones ganaderas

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:

- Residuos sólidos urbanos: materiales generados en los procesos de consumo humano que son destinados al abandono; constituyen la biomasa residual más aprovechable ya que está concentrada,

es imprescindible su recogida y es necesario su transporte

- Aguas residuales urbanas: líquidos procedentes de la actividad humana, cuya fracción sólida contiene una apreciable cantidad de biomasa residual; su depuración genera unos fangos que poseen una alta carga contaminante, que es necesario reducir

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, tanto para la producción de alimentos como para la obtención de productos de interés industrial. 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. Cabe destacar, entre otros:

- 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
- Patata
- Chumberas
- Agaves
- 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
- Euforbias
- Ricino
- Jojoba

- 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.

Actualmente sólo se obtienen pequeñas cantidades de energía procedentes de esta fuente de biomasa; el conocer su rentabilidad económica y energética debe ser objeto de investigación para que se pueda llevar a cabo esta actividad de forma masiva en un futuro no muy lejano.

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 ([Figura 4.2](#)):

- 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 los más corrientes la fermentación alcohólica para producir etanol y la digestión anaerobia, para la producción de metano

Extracción de hidrocarburos

Numerosas especies vegetales producen en su metabolismo hidrocarburos o compuestos afines, de elevado poder calorífico. Estos se pueden extraer de forma directa según se muestra en el esquema general de la [Figura 4.3](#), aunque según la especie vegetal puede variar el tratamiento previo, los disolventes utilizados a lo largo del proceso (y que hay que reciclar) y, por supuesto, las diferentes fracciones obtenidas al final de cada operación.

Procesos de transformación de la biomasa en energía

[Extracción de hidrocarburos](#) | [Combustión](#) | [Gasificación](#) | [Pirólisis](#) | [Fermentación alcohólica](#) | [Digestión anaerobia](#)

Combustión

La combustión directa u oxidación completa para dar dióxido de carbono, agua, cenizas y calor (único componente energético útil del proceso), es el sistema más elemental para la recuperación energética de la biomasa. Los factores más importantes a considerar en este proceso son:

- Exceso de oxígeno: 20 - 40% superior al teórico
- Temperatura de combustión: 600 - 1.300 °C
- Características del combustible:
 - Físicas: densidad, tamaño y humedad (la menor posible)
 - Químicas: bajo contenido en azufre
 - Térmicas: dependen de las físicas y las químicas

La combustión se realiza normalmente en sistemas que constan de las siguientes unidades ([Figura 4.4](#)):

- Horno
- Equipo de recuperación de calor (caldera)
- Sistema de utilización de la energía (conducción de vapor, turbogenerador)

La energía obtenida puede destinarse a la producción de calor (en forma de agua o de aire caliente) para el uso doméstico o industrial y a la producción de electricidad. La eficacia térmica de la combustión es elevada, siendo el rendimiento global del proceso del 30%. Este método se utiliza en la actualidad en las industrias azucarera, papelera y de derivados de la madera, siendo cada vez más importante su aplicación a las basuras urbanas.

Es necesario destacar finalmente la combustión en el ámbito doméstico, utilizada desde hace ya muchos años y actualmente de nuevo en gran auge. Los modernos diseños de estufas de leña proporcionan un mejor aprovechamiento del calor y una emisión de humos mucho menor que los sistemas convencionales.



Gasificación

Bajo este nombre se engloban los procesos de combustión en condiciones de defecto de oxígeno, con producción de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y metano, en proporciones diversas según la composición de la materia prima y las condiciones del proceso. La temperatura de operación oscila entre 700 y 1.500 °C y el oxígeno se limita entre un 10 y un 50% del teóricamente necesario para una combustión completa.



Según se utilice aire u oxígeno puro, se desarrollan dos procesos de gasificación sustancialmente distintos, en cuanto a la posible utilización de los productos obtenidos ([Figura 4.5](#)). Así, se obtiene gas de gasógeno o "gas pobre" mediante una gasificación con aire de biomasa seca, gas que ha de utilizarse en unidades de combustión para obtener electricidad y vapor. Por otro lado, cuando se opera en un gasificador con oxígeno y vapor de agua, se obtiene gas de síntesis. La importancia de este gas radica en que se puede transformar en combustibles líquidos (metanol y gasolinas), por lo que se están haciendo grandes esfuerzos tendentes a mejorar el proceso de gasificación con oxígeno.

Pirólisis

Consiste en la descomposición de la biomasa por la acción del calor (a unos 450 °C) en ausencia de oxígeno, proceso en el que la naturaleza y la composición de los productos finales dependen de las propiedades de la biomasa tratada, de la temperatura y presión de operación y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirólisis. Así, los productos obtenidos se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- Gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos
- Líquidos hidrocarbonados
- Residuos sólidos carbonosos

Las materias primas que se estudian actualmente para someterlas a este proceso son los subproductos agrícolas y forestales y los residuos sólidos urbanos; precisamente, las mejores perspectivas de tratamiento de los residuos sólidos urbanos se encuentran en el campo de la pirólisis, orientándose las directrices de tratamiento respecto a la obtención de productos hacia los líquidos y los sólidos.

Para obtener combustibles líquidos y carbón se requiere una alimentación seca que se somete a un tratamiento como el indicado en el esquema de la [Figura 4.6](#). Con objeto de mejorar los rendimientos en combustibles líquidos se están estudiando los procesos llamados de "licuefacción", que son variantes de la pirólisis con adición de un gas reductor (monóxido de carbono, hidrógeno o gas de síntesis) a temperaturas entre 300 y 500 °C y a alta presión.

En definitiva, la pirólisis parece ser un buen método para la obtención de energía a partir de biomasa seca y, quizás, el mejor para convertir los residuos sólidos urbanos en compuestos de interés económico. Aún queda un largo camino por recorrer, pero las investigaciones en marcha permiten contemplar un futuro muy interesante en la aplicación de la pirólisis como procedimiento para convertir la biomasa en energía útil.

Fermentación alcohólica

Las plantas almacenan la energía solar captada en forma de hidratos de carbono simples (azúcares) o complejos (almidón o celulosa), a partir de los cuáles se puede obtener alcohol por fermentación, siguiendo diferentes etapas en función del tipo de biomasa de partida. Estas etapas son las siguientes ([Figura 4.7](#)):

- Pretratamiento de la biomasa: transformación de la materia prima para favorecer la fermentación por medio de trituración, molienda o pulverización
- Hidrólisis: transformación, en medio acuoso, de las moléculas complejas en azúcares sencillos por medio de enzimas (hidrólisis enzimática) o mediante el uso de reactivos químicos (hidrólisis química)
- Fermentación alcohólica: conversión de los azúcares en etanol por la acción de microorganismos (levaduras) durante 2 a 3 días bajo condiciones controladas:
 - Temperatura: 27 - 32 °C
 - Acidez: pH entre 4 y 5
 - Concentración de azúcares: inferior al 22%
 - Concentración final de etanol: inferior al 14%
- Separación y purificación del etanol: destilación de la masa fermentada para obtener etanol comercial del 96% o destilación adicional con un disolvente (benceno) para obtener etanol absoluto (99,5%)



De todas las etapas indicadas, los procesos de destilación son los de mayor coste, debido a su consumo de energía.

El etanol obtenido tiene numerosas aplicaciones industriales como disolvente y como combustible. En este aspecto se ha estudiado el etanol como sustitutivo de la gasolina, habiéndose determinado las siguientes propiedades relativas:

- Poder calorífico menor: menor potencia y mayor consumo
- Calidad antidetonante mayor (mayor índice de octano): mayor aceleración y velocidad punta
- Calor de vaporización mayor: dificultades en el arranque pero mayor rendimiento
- Punto de ebullición constante: problemas de arranque

Estas características muestran que el etanol y la gasolina no son combustibles intercambiables. Sin embargo, se pueden hacer las siguientes modificaciones en un motor de gasolina que ha de trabajar con etanol:

- Aumento de la relación de compresión
- Recalibrado del carburador
- Calentamiento del aire de entrada al carburador
- Modificación del sistema de encendido
- Uso de bujías especiales

En estas condiciones se consigue un 15% de incremento de potencia y menos emisiones de monóxido de carbono, pero a costa de un consumo alrededor de un 20% superior.

También se puede usar etanol absoluto (ya que el agua causaría problemas de miscibilidad) para añadirlo a la gasolina, mezcla conocida como "gasohol" (10% de etanol). Ello permite reducir la adición de compuestos de plomo y evitar tratamientos adicionales para mejorar la calidad de la gasolina, pudiéndose utilizar esta mezcla en un motor convencional.

El que no exista suficiente producción de etanol, unido a la necesidad de motores especiales aconsejaría, de momento, el uso de gasohol para ahorrar energía convencional mediante el uso de energía de la biomasa. Sin embargo, el futuro en este campo es alentador, principalmente si se consigue mejorar la economía del proceso.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.



La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.

Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas ([Figura 4.8](#)) durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 °C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas

El proceso, cuyo esquema se muestra en la [Figura 4.9](#), se lleva a cabo en recipientes estancos llamados "digestores", que deben permitir la carga y descarga de materiales y poseer un dispositivo para recoger el gas producido. Las características principales de un digestor son las siguientes:

- Tamaño: determinado por tres variables interdependientes:
 - Concentración de sólidos degradables
 - Velocidad de alimentación de sólidos
 - Tiempo de permanencia de los sólidos en el digestor
- Tipo: existen diversos tipos de digestores, algunos de los más representativos se muestran en la [Figura 4.10](#)



El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir al gas ciudad con

ventaja, utilizándose en las siguientes aplicaciones:

- Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- Combustión en calderas de vapor para calefacción
- Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación.

Proyectos españoles sobre biomasa

La biomasa, en su forma residual, es la fuente renovable cuantitativamente más importante en España (casi el 52% del consumo de energías renovables). El abastecimiento energético con biomasa ha jugado históricamente un importante papel. La diversidad de recursos, sus múltiples aplicaciones, la dispersión geográfica de su utilización y el hecho de que, en general, su distribución no pasa por las redes comerciales tradicionales, ha dificultado enormemente la cuantificación de su aporte al abastecimiento energético. La identificación del consumo de biomasa ha supuesto la realización periódica de importantes trabajos estadísticos, el último de los cuáles ha permitido conocer con un alto grado de fiabilidad la situación en 1996.

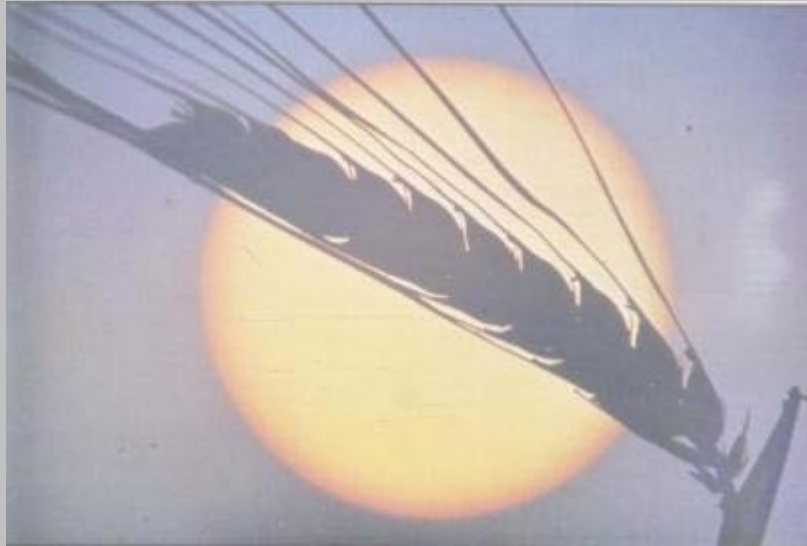


Cabe destacar que las dos terceras partes de los residuos forestales se utilizan en el ámbito doméstico, principalmente en forma de briquetas combustibles (residuos forestales prensados). Por otra parte, el interés en el consumo en los diferentes sectores industriales se encuentra directamente relacionado con el precio del combustible al que sustituye.

En cuanto a los residuos sólidos urbanos, su aprovechamiento energético se basa en modernas plantas incineradoras, cuya utilización no ha de tener una repercusión negativa respecto al aumento del reciclado y a las políticas tendentes a disminuir la cantidad de residuos, ya que son complementarias cuando se diseña una estrategia de tratamiento integral de los residuos.

Respecto al aprovechamiento de los cultivos energéticos, los proyectos existentes no pasan de ser meros estudios piloto de algunas especies autóctonas, por lo que no cabe esperar avances significativos en este campo durante los próximos años.

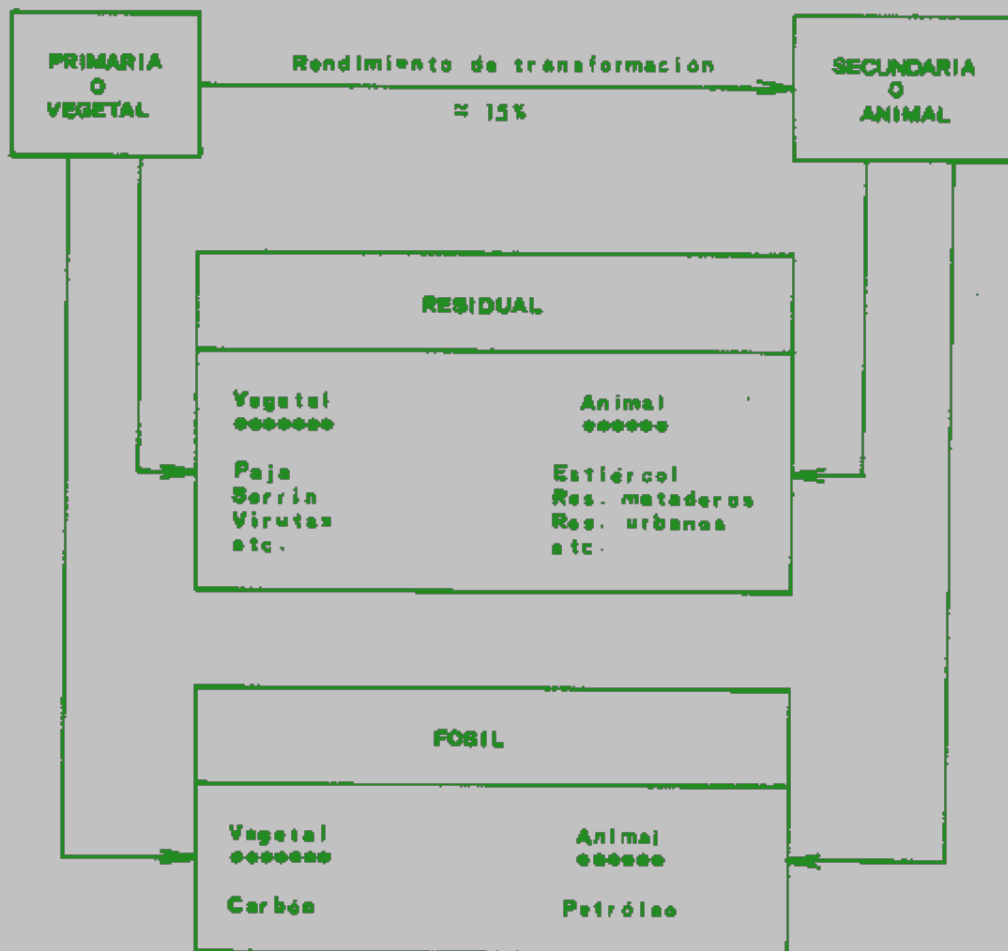
Biomasa y energía solar



Residuos urbanos



FIGURA 4.1: Tipos de residuos



Cultivos energéticos: jacintos de agua



FIGURA 4.2: Procesos de transformación de biomasa en energía

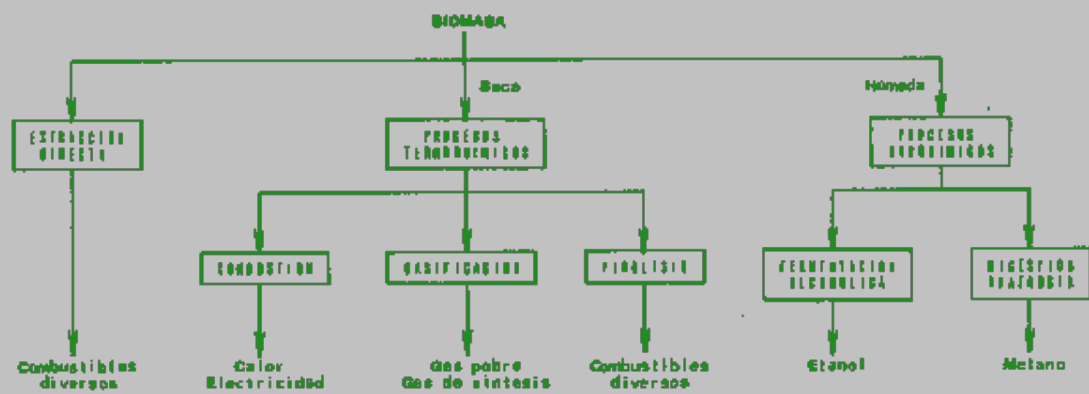
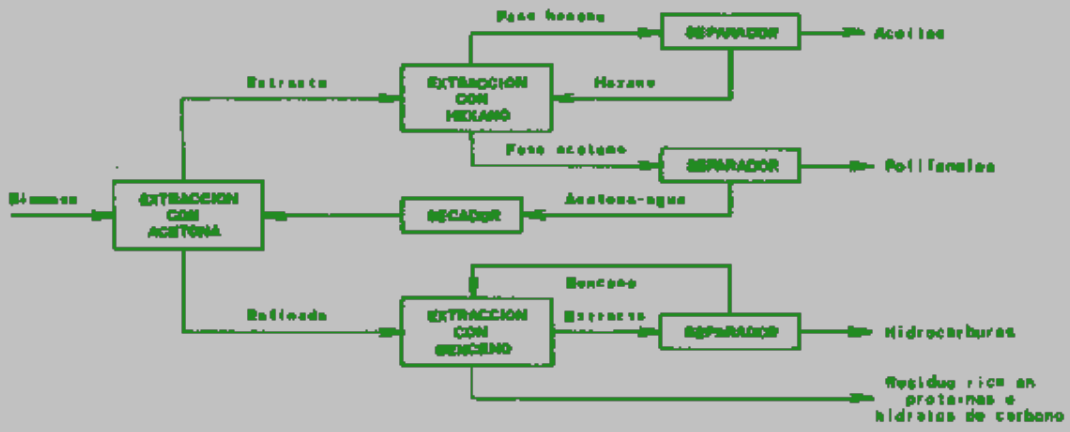


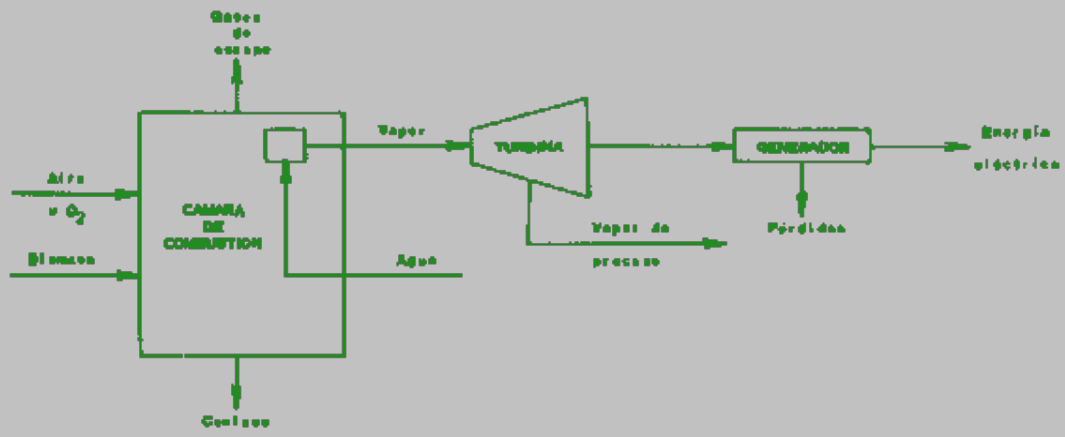
FIGURA 4.3: Proceso de extracción de hidrocarburos



Estufa de leña



FIGURA 4.4: Esquema del proceso de combustión



Unidad de gasificación



FIGURA 4.5: Procesos de gasificación

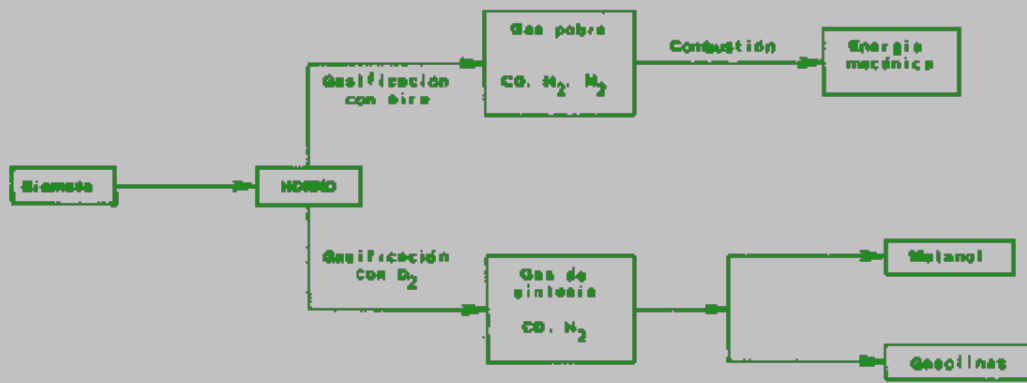
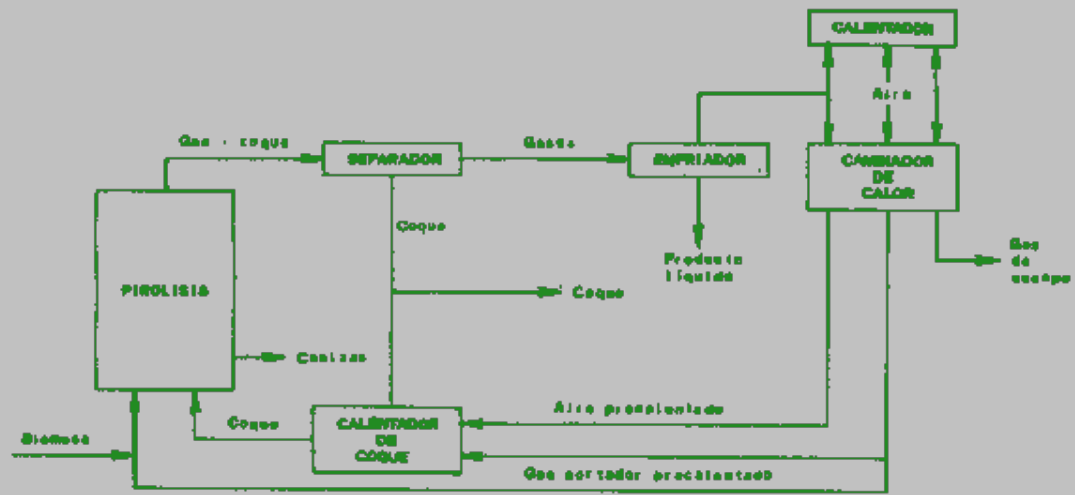


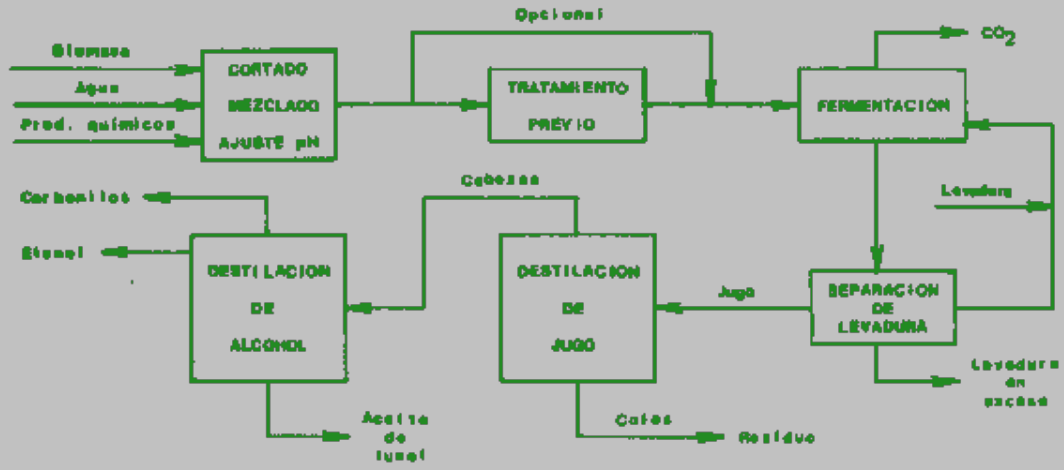
FIGURA 4.6: Esquema del proceso de pirólisis



Cubas de fermentación



FIGURA 4.7: Esquema global del proceso de obtención de etanol



Planta de digestión anaerobia



Generador eléctrico de biogás



FIGURA 4.9: Esquema del proceso de digestión anaerobia

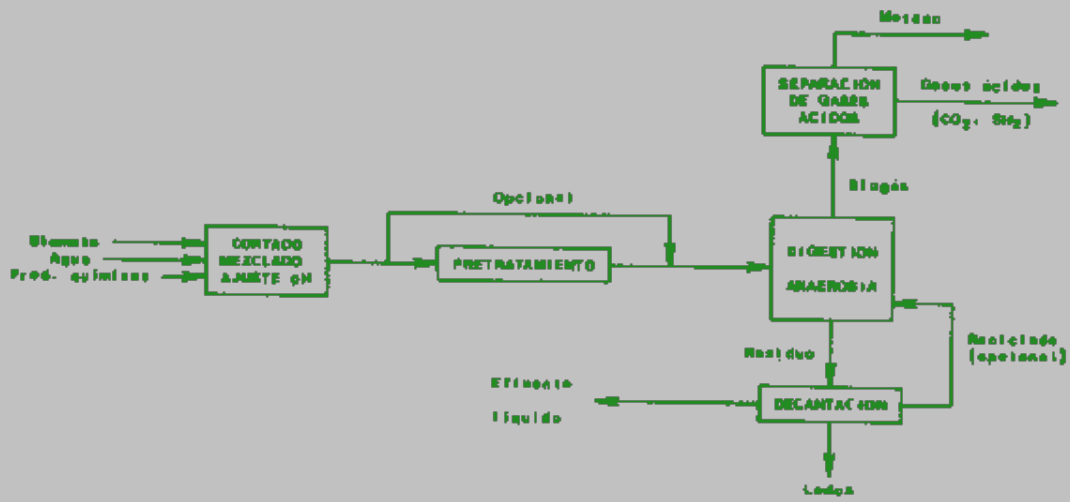
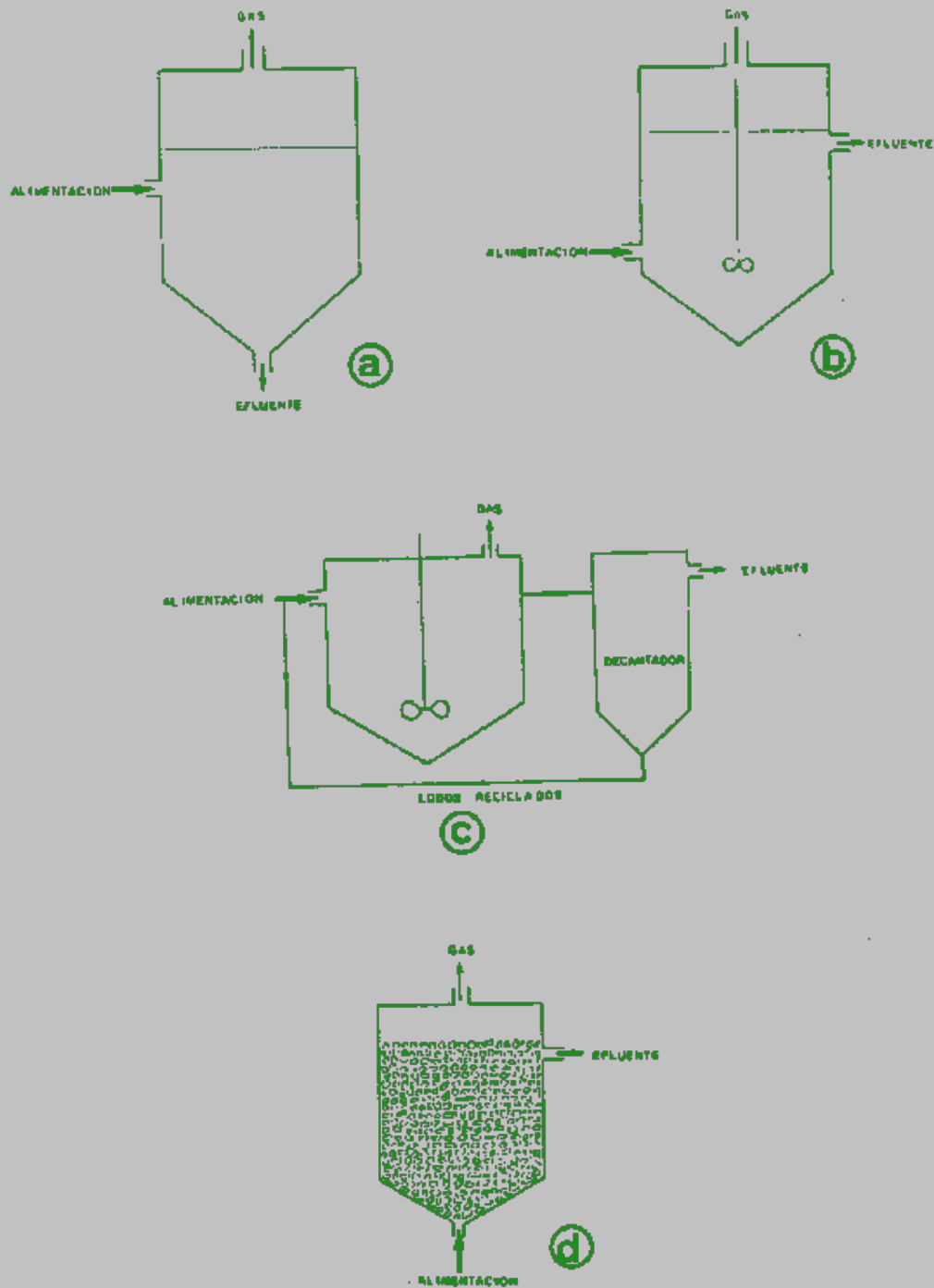


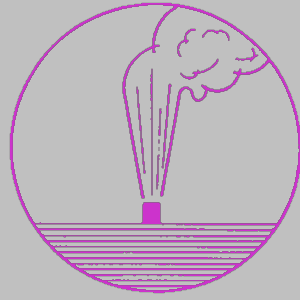
FIGURA 4.10: Tipos de digestores: a) Discontinuo convencional b) De mezcla completa c) De contacto d) De filtro anaerobio



Biomasa residual combustible



La Energía Geotérmica



- [El fenómeno geotérmico](#)
- [El desarrollo geotérmico mundial](#)
- [El sistema geotérmico](#)
- [Explotación y utilización de yacimientos geotérmicos](#)
- [Factores ambientales](#)
- [Las posibilidades geotérmicas españolas](#)

El fenómeno geotérmico

Se entiende como "geotermia" 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 °C/km. El flujo de calor, o "flujo geotérmico" que produce esta diferencia de temperaturas es muy bajo (unos 60 mW/m²) 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 °C/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 desarrollo geotérmico mundial

Las aguas termales se han utilizado a lo largo de la historia en diversas tareas domésticas, pero sólo desde comienzos del siglo XX los fluidos geotérmicos han sido destinados a otros usos más sofisticados. Ya durante el siglo XIX se extraían productos químicos de las emanaciones gaseosas en Larderello (Italia), hasta que en 1904 se realizó el primer intento para utilizar el vapor geotérmico en la generación de energía eléctrica. Actualmente, estas instalaciones generan 3.000 millones de MW.h/año de electricidad y son la base de una importante industria química de extracción de ácido bórico, amoníaco y helio.

En Islandia se utilizó por primera vez agua caliente geotérmica en 1925 y actualmente es el país con mayor aprovechamiento de calefacción geotérmica del mundo, extendiéndose su uso tanto en el ámbito doméstico como en el agrícola e industrial, al 80 % de la población. Otros países donde la energía geotérmica ha adquirido gran importancia son Nueva Zelanda, México, El Salvador, así como en algunas zonas de California (EE.UU.). Obsérvese que todas estas zonas coinciden con la localización de los cinturones sísmicos y áreas de volcanismo reciente, según muestra el mapa de la [Figura 5.1](#).



Puede afirmarse finalmente que el interés mundial por la energía geotérmica partió de la "Conferencia de Nuevas Fuentes de Energía" de la ONU (Roma, 1961). Así, en la actualidad existen en funcionamiento diversas plantas de producción de energía eléctrica geotérmica, con una potencia total de unos 6.000 MW, estimándose además que los usos térmicos de esta fuente de energía son unas cinco veces superiores.

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, aquéllos pueden ser:

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

Un **sistema hidrotérmico** (Figura 5.2) 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 aquéllos 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.

Explotación y utilización de yacimientos geotérmicos

Antes de proceder a la explotación de un yacimiento geotérmico es necesario conocer:

- Profundidad y espesor del acuífero
- Calidad, caudal y temperatura del fluido
- Permeabilidad y porosidad de las rocas

Una vez conocidos estos factores, la explotación se realiza mediante sondeos análogos a los petrolíferos. Sin embargo, para no agotar el agua se suele reinyectar ésta al acuífero mediante otro pozo. Asimismo es necesario evitar la corrosión que suele producir el fluido geotérmico utilizando materiales no atacables lo que hace que, en general, este tipo de explotación precise de una inversión inicial muy elevada.

La energía geotérmica puede ser utilizada en dos campos, definidos por la temperatura que alcanza el fluido geotérmico: alta y baja temperatura. El límite práctico entre ambos no está claramente fijado, pero se puede situar entre 130 y 150 °C.

Los yacimientos de alta temperatura se utilizan en la producción de energía eléctrica, cuyo coste suele ser casi la mitad que el de la electricidad producida en una central térmica convencional. Ahora bien, al ser la calidad de la energía geotérmica inferior a la de los combustibles convencionales, el rendimiento de conversión es muy pobre. Así, con un fluido a 300 °C enfriado hasta una temperatura ambiente de 20 °C, el rendimiento real del proceso no supera el 30 %.

El diseño de las centrales geotérmicas de producción de energía eléctrica depende, pues, de las siguientes variables:

- Caudal del pozo
- Temperatura del yacimiento
- Composición del fluido (líquido-vapor)
- Temperatura del agua de refrigeración
- Contenido en sustancias extrañas

Según las características del fluido geotérmico se han desarrollado varias opciones básicas para la conversión de la energía geotérmica en energía eléctrica:

- Conversión directa ([Figura 5.3](#)): sólo utilizable para yacimientos de vapor seco
- Expansión súbita o "flash" ([Figura 5.4](#)): utilizada en yacimientos con predominio de la fase líquida, puede ser también de dos etapas de expansión
- Proceso de ciclo binario ([Figura 5.5](#)): utiliza en la turbina un fluido secundario calentado por el fluido geotérmico y se aplica a yacimientos con agua conteniendo gran cantidad de sales
- Proceso de flujo total ([Figura 5.6](#)): aprovecha las fases líquida y vapor mediante válvulas de expansión y turbinas especiales, aunque aún no se utiliza comercialmente

Por su parte, la mayor abundancia de los yacimientos de baja temperatura ha obligado a desarrollar nuevos procesos que permitan el aprovechamiento del agua caliente de los mismos, cuya temperatura no suele ser superior a los 100 °C. Así, los tres campos en los que la geotermia de baja temperatura puede encontrar aplicación son:

- Calefacción urbana
- Calefacción industrial
- Calefacción agrícola

A su vez, una instalación de este tipo consta básicamente de los siguientes componentes, esquematizados en la [Figura 5.7](#):

- Dos pozos, uno de producción y otro de inyección
- Dos bombas, una de extracción del fluido caliente y otra de reinyección de los efluentes fríos
- Un intercambiador de calor al pie del pozo de producción

- Una conducción conectada al intercambiador para el transporte del agua calentada por el fluido geotérmico hasta el consumidor

Finalmente, los principales obstáculos que se oponen a la geotermia de baja temperatura son básicamente:

- Grandes inversiones iniciales
- Bajo rendimiento
- Imposibilidad de transporte

En resumen, actualmente la localización de yacimientos de alta temperatura y su explotación constituiría una ayuda apreciable para el autoabastecimiento energético de una zona. Sin embargo, los recursos geotérmicos de alta temperatura son muy escasos comparados con los de baja temperatura, e incluso estos últimos son claramente insuficientes para pensar que la participación geotérmica en el contexto energético permita la sustitución de las fuentes energéticas tradicionales, pero sí puede ser importante para paliar las necesidades de energía de una región determinada.

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.

Las posibilidades geotérmicas españolas

España se ha mantenido en una posición expectante respecto a la energía geotérmica. Se conocía su existencia y los avances conseguidos en otros países, pero no se desarrollaba actividad alguna en este campo, dado que en un mercado de energía barata la geotermia no era suficientemente competitiva para las prestaciones que podía proporcionar. A pesar de ello, en 1975, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) concretó el interés de esta fuente de energía con el "Inventario Nacional de Manifestaciones Geotérmicas", en el cual se realizó el reconocimiento de todos los puntos termales en territorio nacional y mediante estudios hidroquímicos, geotermométricos y de análisis se llevó a cabo una evaluación de las posibilidades geotérmicas de las distintas cuencas y áreas geológicas. Como conclusión se elaboró un mapa con las áreas geotérmicas de mayor interés.

A pesar de los trabajos de prospección geotérmica llevados a cabo por el IGME hasta 1984 en las posibles zonas de alta entalpía, los resultados obtenidos no fueron lo suficientemente satisfactorios como para realizar siquiera instalaciones piloto de aprovechamiento geotérmico. Las únicas actuaciones prácticas se produjeron en 1992, año en que se llevaron a cabo dos instalaciones de baja temperatura, una correspondiente al aprovechamiento geotérmico de un balneario y la otra para alimentar una bomba de calor, ambas en Castilla - La Mancha. Estas instalaciones permitieron una diversificación energética de sólo 443 tep/año. No obstante, se encuentran en ejecución otros proyectos similares que prevén obtener 4.000 tep/año a partir de 1997.



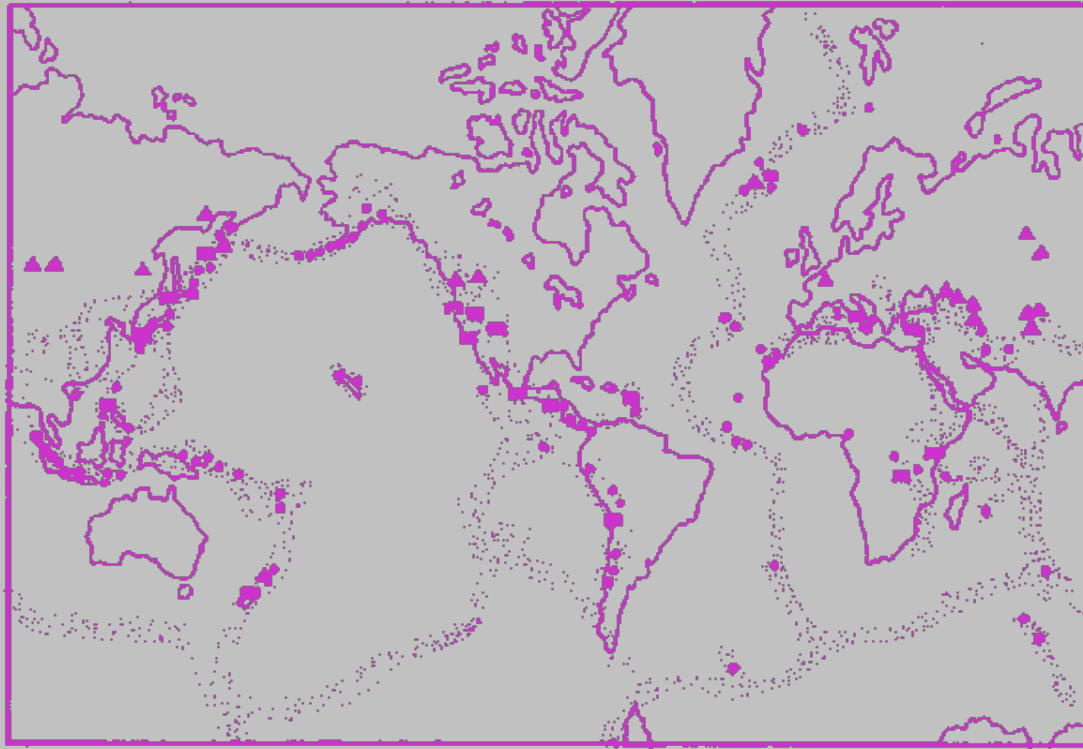
Volcán en erupción



Central geotérmica



FIGURA 5.1: Distribución mundial de campos geotérmicos



■ ZONAS GEOTÉRMICAS

■ CENTRALES GEOTÉRMICAS

▲ CALDEAMIENTO GEOTÉRMICO

● VOLCANES ACTIVOS

Central geotérmica



FIGURA 5.2: Esquema de un sistema hidrotérmico

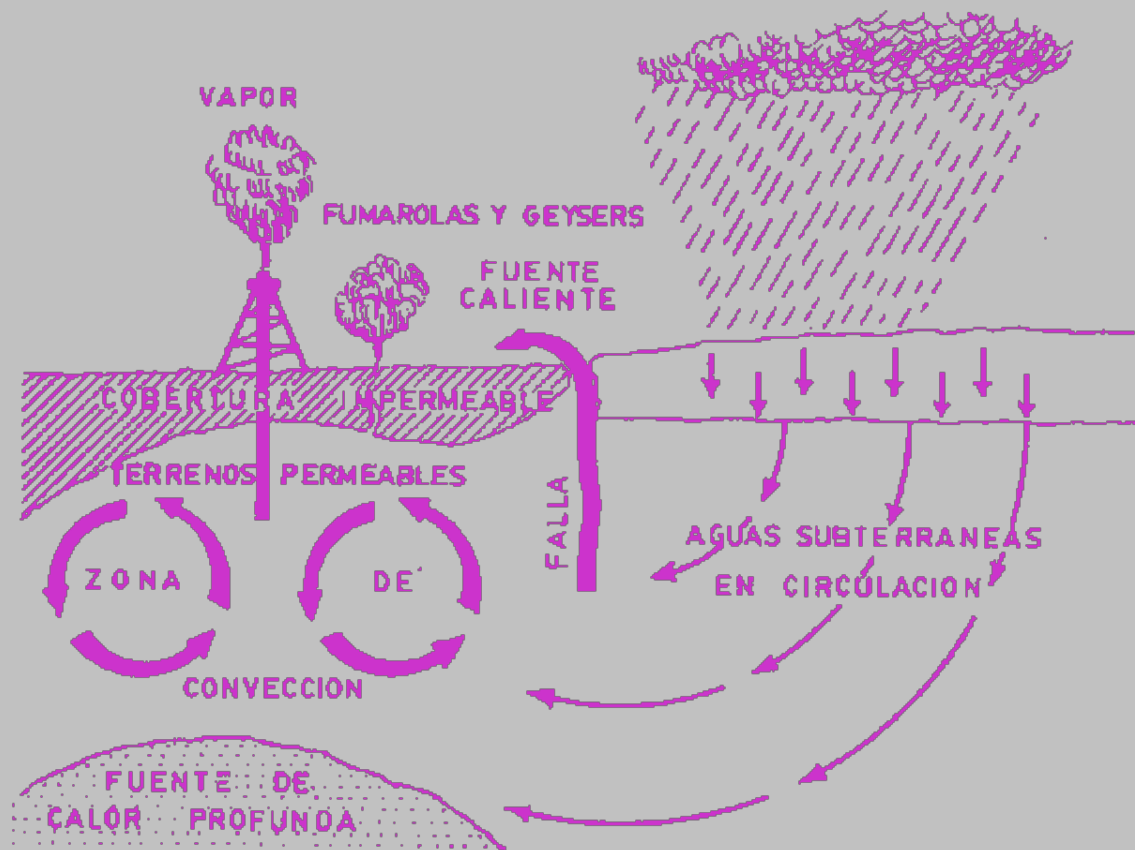


FIGURA 5.3: Proceso de conversión directa

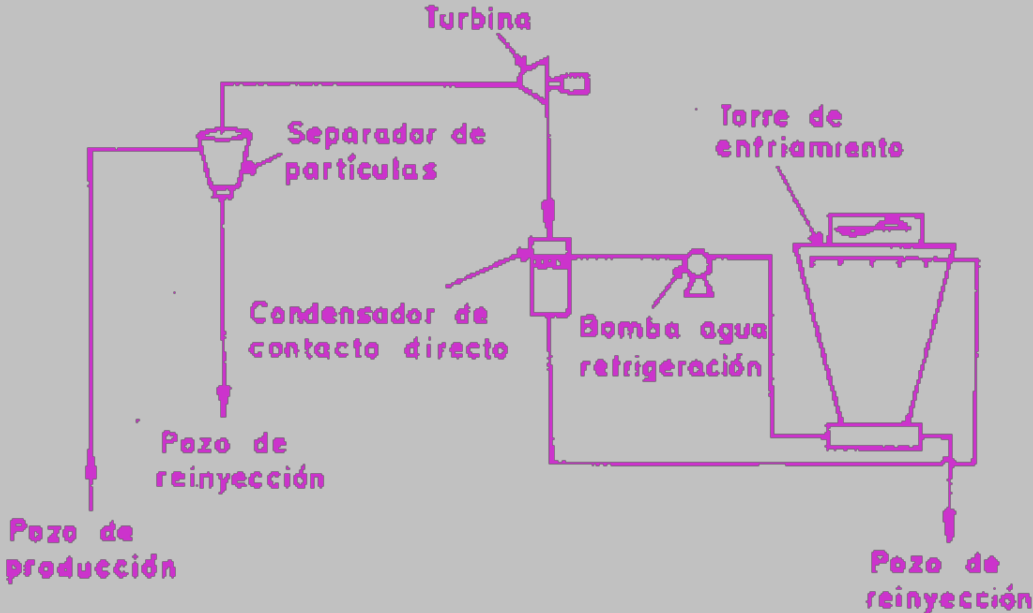


FIGURA 5.4: Proceso de expansión súbita

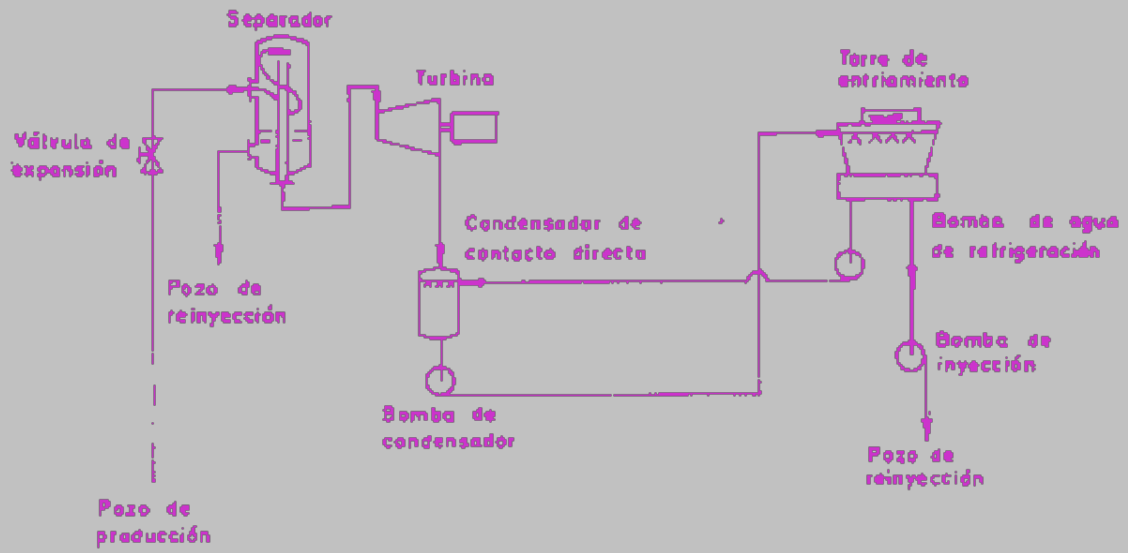


FIGURA 5.5: Proceso de ciclo binario

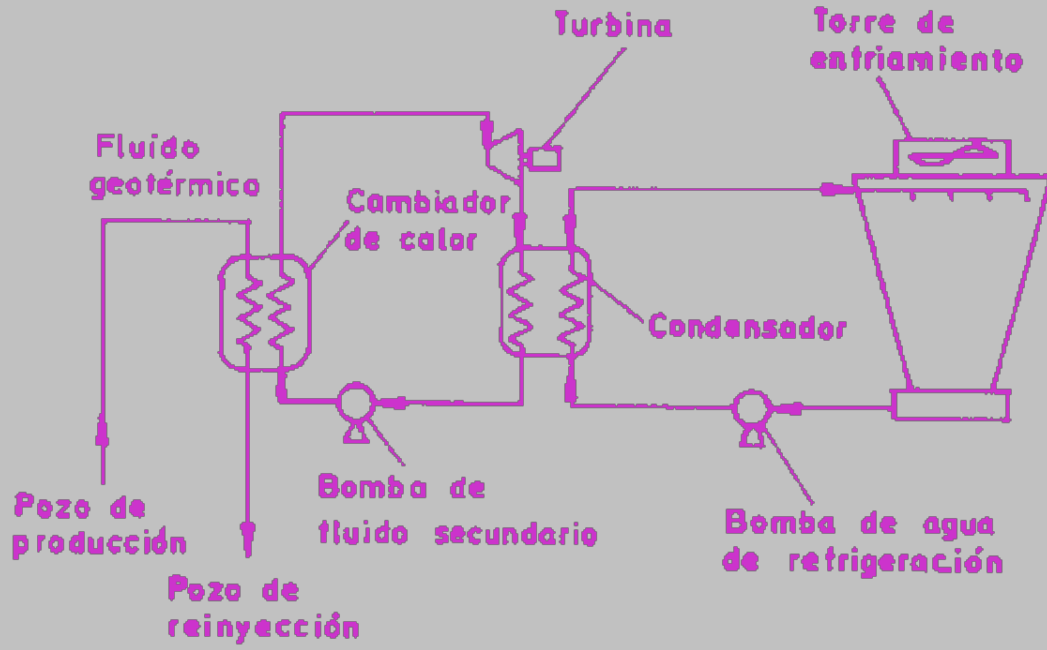


FIGURA 5.6: Proceso de flujo total

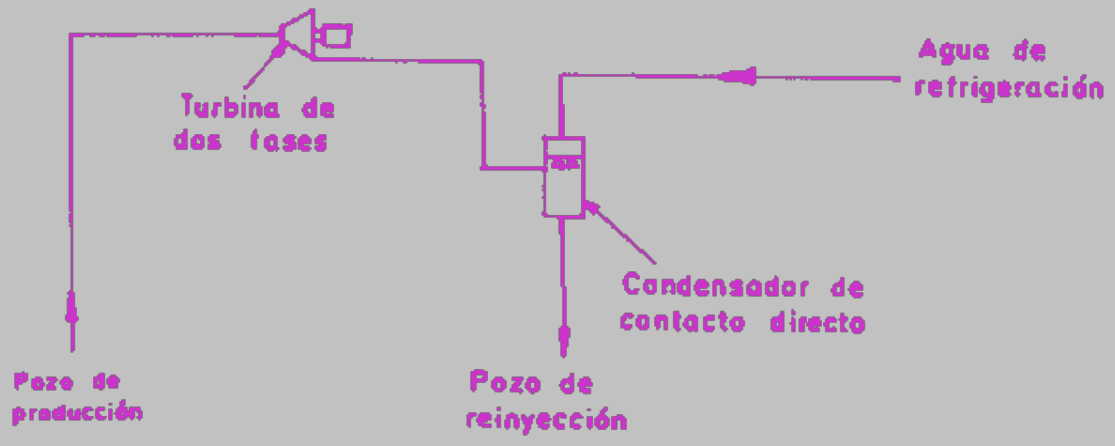
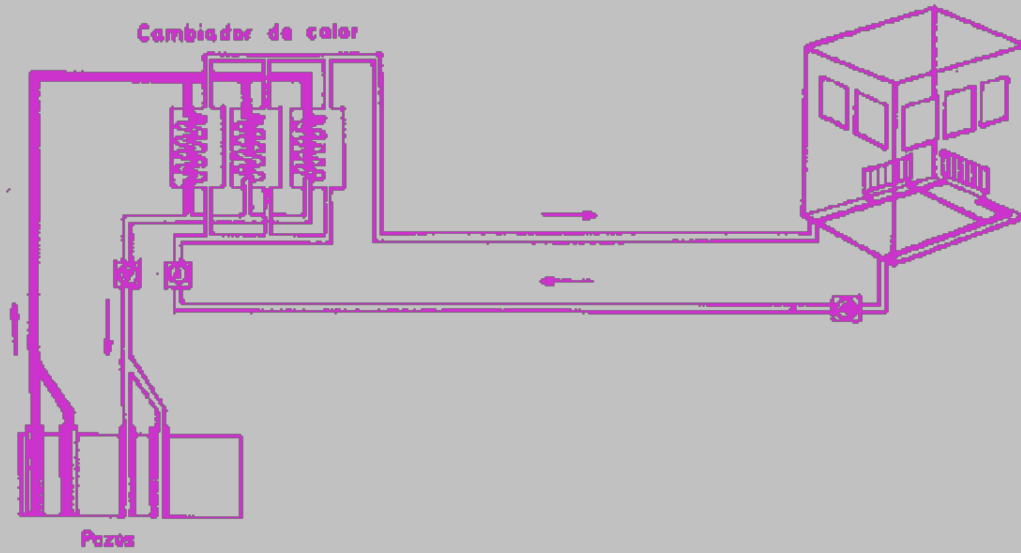


FIGURA 5.7: Utilización de un yacimiento geotérmico de baja temperatura



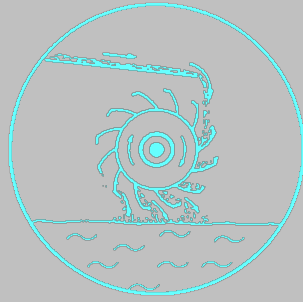
Explotación geotérmica



Manifestación geotérmica en Lanzarote



La Energía Hidráulica



- [El agua y su energía](#)
- [Evolución histórica del aprovechamiento hidráulico](#)
- [Emplazamiento de sistemas hidráulicos](#)
- [Sistemas captadores de la energía hidráulica](#)
- [Utilización de la energía hidráulica](#)
- [El potencial hidráulico español](#)

El agua y su energía

La energía del agua, o energía hidráulica, es esencialmente una forma de energía solar. El Sol comienza el ciclo hidrológico evaporando el agua de lagos y océanos y calentando el aire que la transporta. El agua caerá en forma de precipitación (lluvia, nieve, etc.) sobre la tierra y la energía que posee aquélla por estar a cierta altura (energía potencial) se disipa al regresar hacia lagos y océanos, situados a niveles más bajos.

Una corriente de agua contiene dos formas de energía: la debida a su velocidad (energía cinética) y la debida a su elevación (energía potencial). Esto significa que se pueden aprovechar tanto pequeños desniveles por los que circula gran cantidad de agua, como grandes desniveles por los que circula un pequeño caudal.



El potencial hidráulico mundial equivale aproximadamente al consumo energético total actual, pero sólo es utilizable una cuarta parte. En realidad sólo se está aprovechando hoy día una cuarta parte de esta cantidad, por lo que la energía hidráulica puede contribuir aún en mucha mayor medida de lo que lo está haciendo hasta ahora como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles.

Este hecho se debe a que la energía hidráulica es una de las formas más puras de la energía disponible: no es contaminante y puede suministrar trabajo sin producir residuos. Es relativamente fácil de controlar y su rendimiento de transformación es muy alto (mayor del 80 %). Su importancia radica en que se aprovecha un recurso renovable, es muy rentable, produce directamente energía mecánica o eléctrica (y no calor) y puede obtenerse con dispositivos captadores casi de cualquier tamaño.

Debido a todo ello, se han instalado todo tipo de máquinas captadoras de la energía del agua alrededor de todo el mundo, pero no sólo en la actualidad, sino desde hace ya cientos de años.

Evolución histórica del aprovechamiento hidráulico



La primera referencia histórica de un molino de agua es del año 85 a.C., cuando aparece la rueda hidráulica horizontal, llamada "molino romano". En los primeros modelos, las paletas inferiores estaban sumergidas en la corriente de agua (empuje inferior), mientras que después se desarrolló la rueda de empuje superior, que giraba debido a la caída del agua sobre la parte superior de la rueda.

Este diseño se mantuvo hasta la Revolución Industrial, durante la cual se desarrollaron las turbinas, que lograban transformar la energía del agua directamente en un movimiento circular, sin necesidad de órganos intermedios. En 1848 apareció la turbina a reacción de Francis, en 1880 la de impulsión de Pelton y en 1906 la de Kaplan, todo lo cual permitió llegar al aprovechamiento máximo, por lo que a la máquina se refiere, de la energía contenida en el agua. Los modernos sistemas captadores de energía operan con estas turbinas, que permiten obtener rendimientos óptimos.

Emplazamiento de sistemas hidráulicos

Para instalar un sistema de aprovechamiento hidráulico se ha de tener en cuenta el caudal de agua disponible y el desnivel que se puede alcanzar, lo que permite evaluar el potencial extraíble.

El caudal se puede establecer con los datos pluviométricos medios de largos períodos de tiempo, mientras que el desnivel máximo vendrá impuesto por el terreno. Sin embargo, un gran desnivel (100-150 m) obligará a utilizar largas canalizaciones, mientras que si sólo se dispone de un pequeño desnivel (menor de 20 m), éste obligará a la construcción de un embalse para aumentarlo. Así pues, el emplazamiento de un dispositivo hidráulico exige el estudio previo de dos sistemas, las conducciones y los diques, que permitirán que el agua llegue en las condiciones óptimas al sistema captador de energía.



Todo sistema hidráulico requiere unas conducciones para llevar el agua desde la corriente hasta el sistema captador, independientemente de la existencia o no de un embalse. Existen dos maneras de transportar el agua:

- Canal: hendidura abierta excavada en la tierra, utilizada principalmente en agricultura
- Tubo: conducción cerrada que permite transportar el agua bajo presión en un amplio rango de condiciones

En cualquier caso, las conducciones deben ser lo más rectas y lisas posibles para reducir al mínimo las pérdidas por fricción, necesitando además un sistema para regular el caudal (compuertas o válvulas).

Para aumentar el potencial hidráulico suele ser necesario embalsar el agua por medio de un dique o presa que canalice el flujo de agua hacia el captador, almacene la energía del agua y eleve el nivel de ésta para aumentar la cantidad de energía disponible. Existen dos tipos principales de diques:

- Diques de terraplén ([Figura 6.1](#)): se construyen con tierra cubierta de grava y piedras y son utilizables para cualquier tamaño de construcción; algunas de sus variantes para pequeñas construcciones son el dique de troncos (económico en zonas forestales) y el dique de piedras
- Diques de hormigón: construídos con este material, resultan más caros, siendo el más sencillo la llamada "presa de gravedad" ([Figura 6.2](#)), pero suelen utilizarse más la "presa de arco" o la "presa de cúpula" ([Figura 6.3](#)), por el ahorro de materiales que comportan

Es necesario destacar asimismo que todo dique debe permitir el escape del exceso de agua para evitar accidentes. El excedente de agua se puede eliminar a través de un aliviadero (por debajo de la cima del dique), mediante un pozo de desagüe (en el interior del embalse) o por un túnel de desagüe (bordeando el dique).

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 ([Figura 6.4](#)), 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 ([Figura 6.5](#)), muy apta para saltos de hasta 3 m y caudales de hasta 3 m³/s.

Las ruedas hidráulicas de empuje superior ([Figura 6.6](#)) 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 ([Figura 6.7](#)) 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 ([Figura 6.8](#)) 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" ([Figura 6.9](#)), 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:

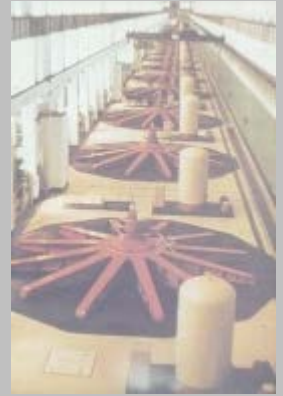


- Canal de admisión: conducto por donde penetra el agua
- Distribuidor: paredes perfiladas que permiten encauzar el agua hacia el elemento móvil
- Rodete: dispositivo portador de los álabes, perfilados para que absorban con la mayor eficacia posible la energía cinética del agua

Una de las turbinas más utilizadas es la turbina Francis ([Figura 6.10](#)), que se emplea en caídas medias con rendimientos de cerca del 90%. La turbina Kaplan ([Figura 6.11](#)) es una modificación de la anterior y puede utilizarse incluso para pequeñas caídas de agua (hasta 20 m) con rendimientos de hasta el 95%.

Utilización de la energía hidráulica

La generación de electricidad a partir de la fuerza hidráulica es un fenómeno relativamente reciente, aunque hoy día constituye su principal aplicación. Dejando a un lado por el momento las grandes instalaciones hidroeléctricas, en los últimos años se ha mejorado mucho el diseño de las turbinas (principalmente las de tipo Kaplan) para poder utilizarlas con pequeñas caídas de agua (menores de 5 m) para generar energía eléctrica (hasta 150 kW), por lo que se suele hablar en este ámbito de "microcentrales hidroeléctricas". Al mismo tiempo, crece la necesidad de dispositivos más baratos y asequibles; las bombas centrífugas, funcionando en marcha invertida, haciendo las veces de turbinas, son una alternativa excelente y ofrecen bastantes ventajas.



Respecto a las grandes centrales, su principal problema no es técnico, sino de adecuación a la demanda de consumo. Por ello, los estudios han estado dirigidos en los últimos años hacia el desarrollo de centrales hidroeléctricas reversibles, basadas en el concepto del almacenamiento de agua por bombeo.

El almacenamiento por bombeo consiste en que la potencia eléctrica excedente en períodos de poco consumo se utiliza para mover bombas que toman agua de un embalse contruido en la parte inferior de la central hidroeléctrica y la elevan al embalse propio de la central, a un nivel superior. Al cesar los excedentes, cesa inmediatamente el bombeo y se invierten los términos; el déficit de potencia se resuelve haciendo bajar el agua acumulada previamente a través de las turbinas, con lo que se completa el ciclo. La doble operación de bombeo y turbinado se puede realizar con grupos reversibles binarios, compuestos por una turbina y un alternador, susceptibles ambos de girar en sentido inverso, absorbiendo energía en vez de producirla.

Evidentemente, la reversibilidad consume energía, debido a las pérdidas por rozamiento: por cada kW.h hidráulico se consumen hasta 1,5 kW.h para el bombeo, pero el uso de las centrales de este tipo se justifica por las razones siguientes:

- Son las únicas que permiten absorber energía sobrante
- Convierten energía sobrante de horas valle en energía de horas punta, con el consiguiente aumento en la calidad de la energía
- Permiten garantizar la potencia, independientemente de los caudales naturales

Por todo ello estas centrales son muy aptas no sólo para almacenar energía sino para proporcionarla de manera casi instantánea, supliendo imprevistos, de la forma más económica que se conoce.

El potencial hidráulico español

La pluviometría de España peninsular puede cifrarse en unos 350 km³/año (700 mm de precipitación media anual para una superficie de 500.000 km²) para un año de pluviometría media. Según estos datos, España no se puede considerar como un país seco, lo que ocurre es que la distribución de estos recursos es muy desigual en cuanto al tiempo y al espacio.

La desigualdad en el tiempo es consecuencia del carácter torrencial de sus ríos, con grandes fluctuaciones de sus caudales a lo largo de los diferentes épocas del año. La irregularidad en el espacio resulta bien patente si se considera que la escorrentía o recurso potencial (aproximadamente el 30% de la pluviometría) varía de unas cuencas a otras de 1 a 13: las cuencas del Norte producen más de la tercera parte de la aportación de los ríos en el 10% de la superficie del país, mientras que el 90% restante no presenta una situación tan favorable en cuanto a recursos hidráulicos y ya entra dentro de la categoría de región semiárida.

Se ha estimado que el potencial hidráulico bruto español es alrededor de 162.000 GW.h en año hidráulico medio, mientras que el potencial técnicamente explotable asciende en las mismas condiciones a 61.000 GW.h (38% del bruto). Por otra parte, el potencial en explotación actual es de unos 37.000 GW.h anuales (23% del bruto o 61% del técnicamente explotable).

En la actualidad, el consumo eléctrico total español es de unos 140.000 GW.h/año, por lo que puede afirmarse que más de un 25% del mismo es de origen hidroeléctrico. A este respecto conviene recordar que, con anterioridad a 1960, la producción hidroeléctrica anual suponía más del 80% de la producción eléctrica total. En la década de los años sesenta comenzó a descender dicho porcentaje, llegando en la de los años setenta a producirse por primera vez el hecho de que dicho porcentaje se mantuviese por debajo del 50%.



La importante disminución de la producción hidroeléctrica respecto de la total eléctrica, no se debió, ni se debe, al agotamiento de los recursos hidráulicos disponibles en España, sino a motivos económicos, ya que para las empresas eléctricas resultaban más rentables las centrales térmicas convencionales que las hidroeléctricas, pero no debido a razones reales, sino a la distorsión creada por los precios a los que se facturaban los combustibles destinados a la producción eléctrica, notablemente inferiores a los de coste, y a las importantísimas compensaciones por el combustible

consumido, lo que creó un verdadero proteccionismo a las centrales térmicas.

Después de la drástica subida de los precios del petróleo a partir del año 1973, se intentó lanzar un programa de construcción de nuevos aprovechamientos hidroeléctricos mediante una Acción Concertada (1975). Las centrales incluidas en este plan sumaban una potencia adicional de 11.000 MW, con una producción media anual de 12.700 GW.h. Sin embargo, estos programas se han realizado sólo en muy pequeña proporción, debido a que los escasos alicientes ofrecidos inicialmente se fueron recortando y no llegaron a compensar los obstáculos económicos, sociales y administrativos que se oponen a la realización de los aprovechamientos hidroeléctricos posibles.

Los recursos hidroeléctricos aún sin utilizar en España son considerables (una producción media anual de 24.000 GW.h), lo que no quiere decir que sea económicamente conveniente el desarrollo de la totalidad de este potencial energético, existiendo, por otra parte, diversos condicionamientos que pueden obstaculizar su desarrollo. Una parte no demasiado importante de este potencial tendría que ser utilizado mediante pequeñas centrales o minicentrales hidráulicas, incluyendo en esta denominación a aquéllas de potencia inferior a los 10 MW.

Evidentemente, como consecuencia de la intensa actividad en la política hidroeléctrica de años pasados, los mejores emplazamientos desde los puntos de vista técnico y económico ya han sido utilizados. El potencial aún instalable presenta, en general, una gran dispersión de pequeñas centrales que parece poco sugestiva. Sin embargo, se conservan presas y canales de numerosos molinos antiguos y pequeñas centrales que se han abandonado por haberse deteriorado la maquinaria o por no ser económicamente soportables los gastos del personal necesario para mantenerlas. Así pues, podría ser conveniente modernizar y automatizar las

pequeñas centrales hidroeléctricas en servicio, evitando su abandono por ser antieconómica su explotación, al mismo tiempo que se estudia la posibilidad de reequipar con maquinaria normalizada viejos aprovechamientos hidroeléctricos cuya obra civil se conserve en condiciones aceptables.

El estudio realizado en 1980 por la Comisión de Estudio de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas consideró factible que la potencia instalable en nuevas minicentrales y modernización de las recuperables sería de unos 1.950 MW, lo que equivaldría a una cantidad de energía anual de 10.500 GW.h. Teniendo en cuenta que en algunos tramos de río existen solapamientos, al considerar que son aprovechables por pequeñas y medianas centrales, resultaría, por tanto, que la potencia aprovechable por las minicentrales no sobrepasaría los 7.000 GW.h/año.

El Plan de Minicentrales puesto en marcha en 1983 dio un primer impulso a este tipo de instalaciones, cuyo número creció al aplicarles los criterios de los dos primeros Planes de Energías Renovables (PER-86 y PER-89). La potencia instalada anualmente ha ido creciendo progresivamente, pasando de 30 MW instalados en 1986 a 110 MW instalados en 1992. Este gran avance ha sido posible gracias a las acciones de promoción de la administración pública y las ayudas concedidas al sector, tanto nacionales como comunitarias. Se ha conseguido así disponer en 1997 de 1.414 MW de potencia minihidráulica instalada.

La tecnología minihidráulica está muy consolidada en España, siendo la industria nacional autosuficiente y de alta calidad. La tendencia actual evoluciona hacia la automatización integral de las instalaciones y el uso progresivo de equipos normalizados.

Respecto a las centrales de bombeo, en España se han venido utilizando desde 1929, tanto en forma de bombeo puro (dos embalses sin aporte exterior de agua) como las centrales mixtas con bombeo (con aportaciones fluviales). Actualmente hay instalada en España una potencia hidráulica convencional y mixta de unos 14.000 MW, mientras que la potencia instalada de bombeo puro es de unos 2.700 MW.

En resumen, los recursos hidroeléctricos aún sin utilizar, aunque considerables, no pueden resolver por sí solos el abastecimiento energético de España, pero pueden contribuir a reducir la importación de combustibles y especialmente a proporcionar la potencia necesaria para asegurar la cobertura de las variaciones de la demanda.



La energía potencial del agua



Molino hidráulico



Embalse y presa



FIGURA 6.2: Presas de gravedad: a) Normal b) Con contrafuertes

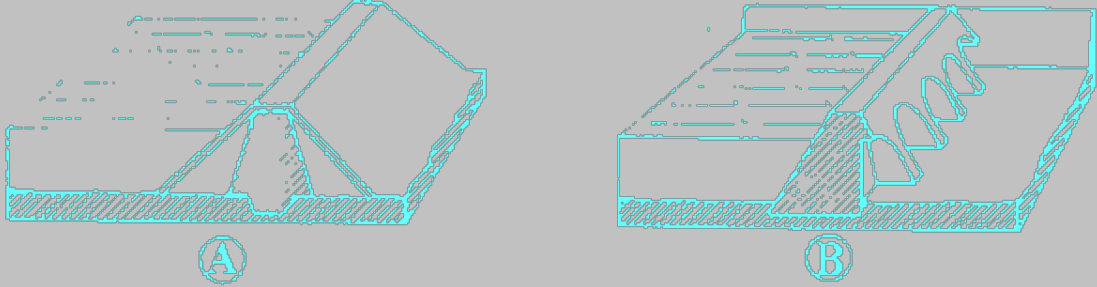


FIGURA 6.3: Presas de hormigón: a) Presa de arco b) Presa de cúpula

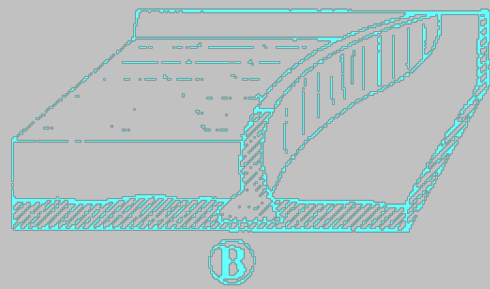
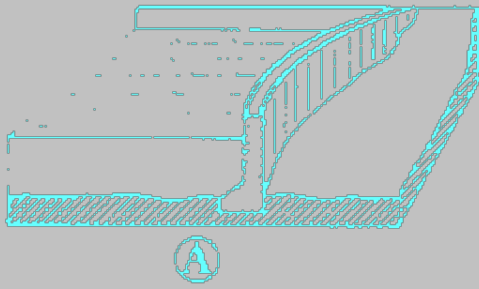


FIGURA 6.4: Rueda hidráulica de empuje inferior

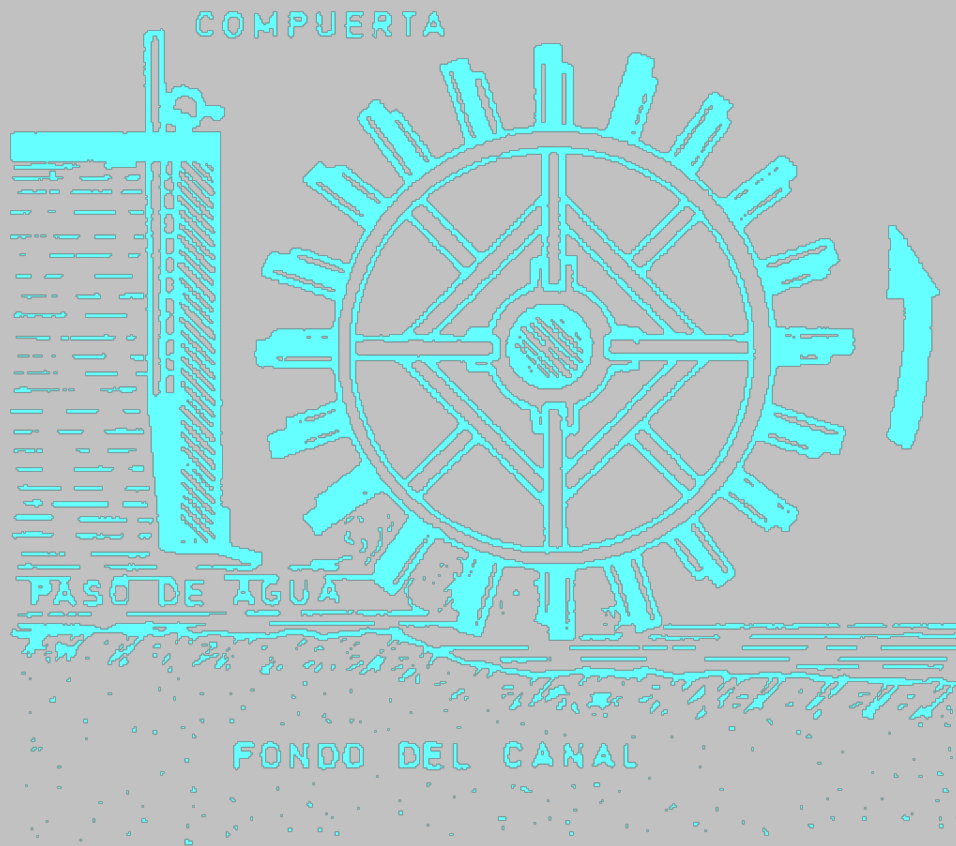


FIGURA 6.5: Rueda Poncelet

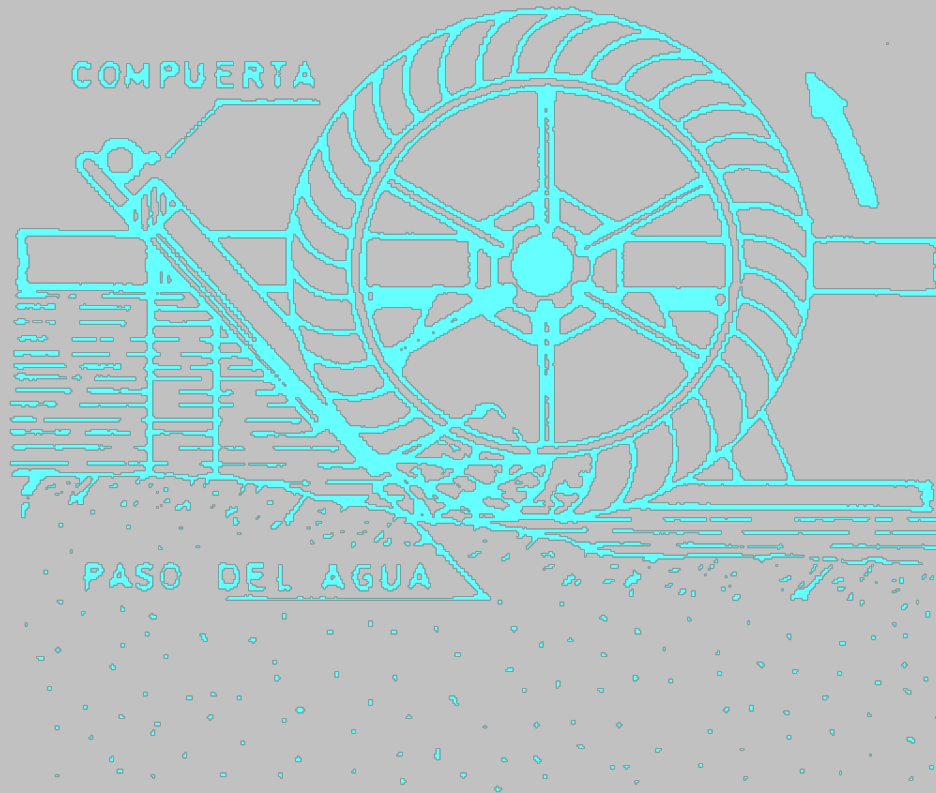
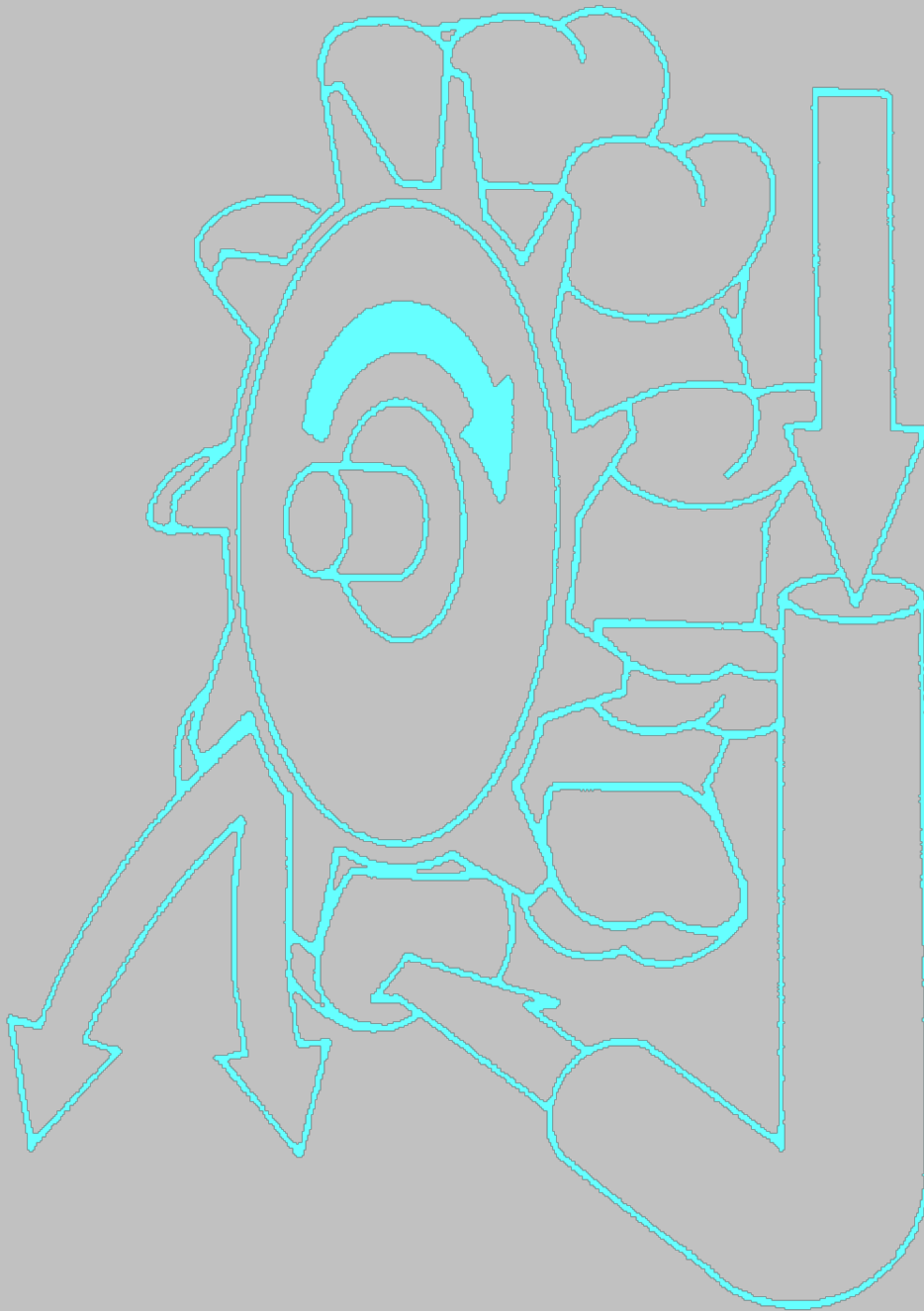


FIGURA 6.7: Turbina Pelton



Turbina Pelton



Generadores hidroeléctricos



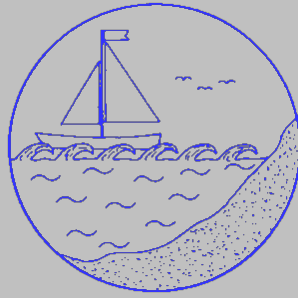
Central hidroeléctrica en construcción



Agua y energía



La Energía del Mar



- [Fuentes energéticas de origen marino](#)
- [La energía maremotriz](#)
 - [Centrales maremotrices](#)
 - [Realidades y posibilidades de la energía maremotriz](#)
- [La energía maremotérmica](#)
 - [Centrales maremotérmicas](#)
 - [Pasado, presente y futuro de la energía maremotérmica](#)
- [La energía de las olas](#)
 - [Convertidores de olas](#)
- [Relación de España con la energía del mar](#)

Fuentes energéticas de origen marino



Al actuar los océanos como captadores y acumuladores de energía, se pueden aprovechar varias formas de la misma, que van desde los gradientes térmicos y salinos hasta las corrientes marinas, a las cuáles hay que añadir el fenómeno de las mareas. Por su parte, los vientos en el mar transportan grandes cantidades de energía, mientras que algunas zonas marítimas pueden ser idóneas para la producción de biomasa.

En este capítulo se estudiarán sólo las tres fuentes energéticas marinas siguientes:

- Mareas
- Gradientes térmicos

- Olas

por ser las que hasta ahora han recibido más consideración. La energía de los vientos y la de la biomasa ya se han tratado en los capítulos correspondientes, mientras que el futuro de las corrientes y los gradientes salinos como fuentes de energía parece incluso hoy día bastante lejano.

Asimismo, como estos recursos energéticos no tienen aún una aplicación comercial digna de mención (salvo casos específicos), se analizará cada uno según las posibilidades técnicas con las que se cuenta actualmente, aunque su consideración es obligada, ya que estas fuentes energéticas renovables tienen, según los expertos, muchas expectativas de futuro.

La energía maremotriz

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 maremotriz, 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 maremotrices 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 maremotrices 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.

Centrales maremotrices

Una central maremotriz requiere contener el agua en un depósito artificial durante la pleamar y soltarla durante la bajamar; al igual que en las centrales hidroeléctricas, el agua pasa a través de unas turbinas para generar energía eléctrica. Ahora bien, para llevar a cabo esto, la amplitud de la marea debe ser como mínimo de 5 m, por lo que sólo hay un número limitado de lugares en todo el mundo ([Figura 7.1](#)) donde las condiciones de la marea son adecuadas para su explotación. Con todo, se ha cifrado el potencial aprovechable de esta fuente energética en unos 15.000 MW.

La forma más sencilla de operar con una central maremotriz es mediante un ciclo elemental de efecto simple, que se realiza con un solo estuario, donde está situado el dique y las turbinas, fluyendo el agua en un solo sentido: del estuario al mar. Las fases de funcionamiento de esta disposición serían ([Figura 7.2](#)):

- Llenado durante la marea ascendente, pasando el agua al embalse a través de compuertas
- Espera mientras baja la marea; el nivel del embalse no varía al estar las compuertas cerradas.
- Producción de energía mediante las turbinas, como consecuencia de la altura de caída del agua

Como una disposición de este tipo proporciona energía sólo durante 3 horas, dos veces al día, se han dispuesto diversas variaciones de este esquema como medio de generar potencia de forma más continua. Así, el ciclo elemental de doble efecto consiste en un estuario y unas turbinas trabajando durante el llenado y el vaciado, el ciclo múltiple implica la utilización de varios embalses y el almacenamiento por bombeo está basado en un concepto similar al explicado para las centrales hidroeléctricas.



Por otro lado, como los saltos hidráulicos en las posibles centrales maremotrices siempre serán inferiores a los 15 m, es necesario utilizar turbinas especiales. La más aceptada y específicamente diseñada para este fin es la de bulbo axial ([Figura 7.3](#)), que actualmente se está construyendo con rotores de 7,5 m de diámetro y potencias de hasta 60 MW. También es aplicable la turbina hidráulica Kaplan modificada (tipo "tubo") y algún otro diseño como el denominado de "rotor anular".

Realidades y posibilidades de la energía maremotriz

Los grandes esquemas maremotrices son técnicamente factibles pero es muy difícil valorar sus ventajas económicas. Aunque existen dos centrales actualmente operativas, la situación económica actual ha dejado reducidos todos los intentos de instalación de nuevas plantas a la situación siguiente:

- Central del estuario del Rance: funciona desde 1967 con un dique de 600 m, operando con mareas de hasta 13,5 m; tiene 24 turbinas bulbo de 10 MW cada una y 6 compuertas
- Central de la bahía de Kislaya: situada en el Mar de Barents (URSS) fué puesta en servicio en 1968; su potencia es pequeña (2 grupos de 4 MW)
- Proyecto del estuario del Severn: cerca de Bristol (Gran Bretaña) existen mareas de más de 16 m de amplitud, que se está pensando aprovechar desde 1977
- Proyecto de la bahía de Fundy: en la costa oriental de Norteamérica, frontera entre EE.UU. y Canadá existen amplitudes de marea de hasta 20 m; los estudio preliminares, acabados en 1969, están actualmente paralizados
- Proyecto de las islas Chausey: cerca de la central del Rance, requeriría 40 km de dique, instalándose 300 grupos bulbo de 40 MW; la elevadísima inversión y el largo período de construcción (de 10 a 20 años) tienen el proyecto detenido
- Otros proyectos maremotrices: en la URSS se pretende instalar 4 centrales, mientras que en otros países (Canadá, Australia, Corea, Argentina y República Popular China) tienen varios proyectos en perspectiva de diversa consideración

En resumen, la cantidad global de energía de las mareas es suficientemente elevada como para incitar a amplios programas para el desarrollo de las técnicas necesarias para la puesta a punto de grandes esquemas maremotrices. Si bien la economía de estas centrales no es muy competitiva en la actualidad con otros métodos de producción energética, la situación futura podría ser diferente.



El hecho de que el período de vida de las centrales maremotrices puede ser de más de 75 años, y que el coste de combustible es nulo, hace que no se deba tomar ninguna postura previa en contra de esta fuente de energía, intentando superar los obstáculos actualmente existentes para la total explotación del potencial maremotriz mundial.

La energía maremotérmica

Una gran parte de la energía solar que incide sobre la Tierra es almacenada en forma de calor en la superficie del océano. En la zona situada entre los Trópicos, que representa casi un tercio de la extensión oceánica, la superficie del mar presenta una diferencia de temperatura respecto al fondo (1.000 m) superior a los 18 °C, gradiente que constituye, sin duda alguna, una enorme fuente de energía (unos 4.000 millones de MW explotables), aunque el rendimiento del proceso de aprovechamiento sea muy bajo (alrededor del 2%).

A pesar de todo ello, el generar energía aprovechando los gradientes térmicos oceánicos (energía maremotérmica) no es nuevo, y en la actualidad se están llevando a cabo numerosos proyectos, ya que los bajos rendimientos no constituyen un problema demasiado serio, en tanto que el yacimiento energético (el agua marina superficial) es de un volumen considerable y está siendo continuamente renovado por la radiación solar. Aunque existen algunos problemas técnicos asociados al gran volumen de agua que ha de ser manipulado, el concepto de la energía maremotérmica es muy prometedor, porque su influencia sobre el medio ambiente es baja y sus posibilidades de integración en una amplia gama de operaciones industriales son bastante grandes.

Por su parte, las zonas térmicamente favorables se encuentran en las regiones ecuatoriales y subtropicales. Aunque las zonas señaladas en la [Figura 7.4](#) se han establecido tanto con datos oceanográficos como económicos de cada zona, aún son necesarios estudios más detallados para la evaluación real de las posibilidades maremotérmicas de las mismas.

Centrales maremotérmicas

Una central maremotérmica es un sistema capaz de aprovechar los gradientes térmicos oceánicos para producir energía eléctrica. Se trata de una máquina térmica en la que el agua superficial actúa como fuente de calor, mientras que el agua extraída de las profundidades actúa como refrigerante. Obsérvese que no existe ninguna diferencia cualitativa entre una central maremotérmica y una central térmica convencional. Sin embargo, aquella opera con energía de baja calidad, al funcionar con un gradiente térmico no superior a los 18 °C, frente a los cientos de grados de diferencia a que operan las centrales térmicas.

La transformación de la energía térmica en eléctrica se lleva a cabo mediante el llamado "ciclo de Rankine", en el que un líquido se evapora para luego pasar por una turbina. Este ciclo puede ser abierto o cerrado. En el ciclo abierto ([Figura 7.5](#)), el fluido de operación es la misma agua cálida de la superficie del mar, mientras que en el ciclo cerrado ([Figura 7.6](#)) se utiliza un fluido de trabajo de bajo punto de ebullición (como el amoníaco o el propano). Los dos ciclos son igualmente utilizados ya que ambos presentan tanto ventajas como algunos inconvenientes.

Así, los componentes principales de una planta maremotérmica serían los siguientes:

- Evaporador
- Turbina
- Condensador
- Tuberías y bombas
- Estructura fija o flotante
- Sistema de anclaje
- Cable submarino (si la central es flotante)

Estos elementos se utilizan ampliamente en la industria actual, pero las características específicas que deben cumplir para su uso en estas plantas obligan a poner a punto toda una tecnología, cuyo estado de desarrollo actual es diferente para los distintos componentes del sistema.

Finalmente, las plantas maremotérmicas, además de producir energía eléctrica, podrían integrarse en otras actividades, tales como:

- Producción de agua potable en los sistemas de ciclo abierto
- Generación de hidrógeno aplicando la energía eléctrica producida, para facilitar el transporte a tierra de la energía
- Acuicultura, utilizando el agua de las profundidades, más rica en nutrientes, para desarrollar diferentes especies marinas

Todos estos usos, así como cualquier utilización de la energía eléctrica generada por el sistema en procesos químicos, pueden integrarse de forma realista en plantas de aprovechamiento del gradiente térmico oceánico.

Pasado, presente y futuro de la energía maremotérmica

Aunque ya en 1881 D'Arsonval pensó en recuperar la energía existente entre dos focos con una pequeña diferencia de temperaturas, sólo fué en 1926 cuando se sugirió utilizar el agua del mar como fluído de trabajo. En 1930 Claude construyó la primera central maremotérmica en Cuba, que operó durante 11 días en ciclo abierto, hasta que fué destruída por una tempestad. En base a estas ideas, la empresa francesa Societé Energie des Mers completó un proyecto de central maremotérmica de 7 MW netos, a instalar en Costa de Marfil. El estudio económico realizado en 1954 demostró la viabilidad del proyecto, pero éste fué abandonado por razones políticas.

A finales de los años 60 aparecieron proyectos totalmente nuevos, todos ellos de ciclo cerrado, que prefiguraron las futuras centrales maremotérmicas que dentro de un plazo de 10 a 30 años podrían funcionar en los océanos tropicales. Si bien los problemas técnicos que hay que resolver son numerosos, los especialistas afirman que no son insuperables.

Como consecuencia de estos trabajos, en 1979 se montó una pequeña planta, que produce 15 kW eléctricos, llamada Mini-OTEC, en la costa de Hawai. Con esta experiencia se construyó la central OTEC-1, también de ciclo cerrado, que proporciona 1 MW de potencia, y está en proyecto la OTEC-2, de 40 MW, todas ellas en EE.UU.

Los programas de desarrollo de las centrales maremotérmicas se llevan a cabo en todo el mundo. En Japón funciona ya una central de 1 MW y se proyecta otra de 100 MW para principios de los años 90. Tanto Francia como Italia y Alemania están inmersos en este tipo de investigaciones, esperando conseguir resultados positivos en los próximos años.

Así, actualmente la conversión maremotérmica en ciclo cerrado es técnicamente factible por debajo de los 25 MW, mientras que el ciclo abierto es posible comercialmente en el rango de los 10 MW, con lo cual existe un amplio campo de posibilidades entre las distintas técnicas.

Sin embargo, se hace necesaria una cuidadosa planificación del programa de desarrollo para conseguir aplicaciones comerciales a media y gran escala, habiéndose concluído que los desarrollos futuros han de ser de ámbito internacional, fomentando la transferencia mutua de tecnología entre los países implicados.

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 el 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 ([Figura 7.7](#)): tanque de dos niveles entre los que fluye el agua a través de una turbina
- "Pato" Salter ([Figura 7.8](#)): la ola presiona sobre su parte baja obligándole a levantarse, lo que origina un movimiento de semirrotación
- Balsa Cockerell ([Figura 7.9](#)): 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 ([Figura 7.10](#)): barco equipado con columnas de agua oscilantes, que producen 2 MW
- Bolsa de Lancaster ([Figura 7.11](#)): 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 ([Figura 7.12](#)): cámara flotante semisumergida con una columna oscilante de agua
- Convertidor de Belfast ([Figura 7.13](#)): 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.

Relación de España con la energía del mar

Aunque España es un país costero por excelencia, las posibilidades de aprovechar la energía del mar en sus diferentes manifestaciones no parecen demasiado prometedoras, aunque aún son necesarios muchos estudios en varios aspectos fundamentales.

Respecto a la energía maremotriz, en el litoral cantábrico aún perduran en funcionamiento algunos molinos de marea similares a los franceses, que datan de los siglos XVII y XVIII, cuya potencia solamente llega a alcanzar unos 35 kW. No obstante, a pesar de las buenas condiciones topográficas de la zona, la configuración de los embalses y la altura de la marea no permiten, generalmente, acumular favorablemente un caudal importante.

Existen en España algunos intentos dirigidos al aprovechamiento maremotriz de sus costas, siendo el área más indicada para ello la costa gallega, principalmente la ría de Vigo. El grave inconveniente que se ha opuesto al aprovechamiento maremotriz de las bahías y ensenadas españolas es la pequeña amplitud de las mareas (máximo 4 m) en todo el país.

Algunos estudios maremotérmicos a nivel mundial, como ya se ha indicado, señalan la zona circundante a las Islas Canarias como un posible emplazamiento de una central de aprovechamiento del gradiente térmico oceánico. Sin embargo, estudios realizados en las propias islas con datos facilitados por el Instituto Oceanográfico de Canarias, muestran que la isoterma de menor temperatura que se encuentra en las cercanías del archipiélago a 1.000 m de profundidad es la de 7,5 °C, que discurre cerca de la costa oriental de la isla de Fuerteventura y es prácticamente constante a lo largo de todo el año. Por otro lado, a nivel superficial, el valor de la isoterma en esa zona oscila entre los 22 °C en verano y los 18 °C en invierno, lo que daría un gradiente térmico máximo en verano de 14,5 °C.

Si se considera como mínimo aprovechable un gradiente de 18 °C, cabría descartar esta fuente de energía en esta zona, salvo que estudios posteriores revelen lugares con diferencias térmicas más favorables.

Respecto al aprovechamiento de la energía de las olas, el Ministerio de Industria y Energía evaluó de forma aproximada el potencial energético en las costas españolas en 1979, estimándose la potencia total disipada en unos 37.650 MW, con valores medios de potencia de unos 25 kW/m en el Océano Atlántico y menos de 11 kW/m en el Mar Mediterráneo.

Aunque las densidades energéticas obtenidas resultaban de difícil explotación, en 1980 se inició el proyecto GEOMAR sobre un dispositivo convertidor de columna oscilante de agua. Publicados los resultados de las experiencias de laboratorio a finales de 1981, no se han tenido noticias posteriores respecto al estado de desarrollo de dicho proyecto a mayor escala.

Agua y energía



Turbina maremotriz



FIGURA 7.1: Lugares con posibilidades de aprovechamiento maremotriz

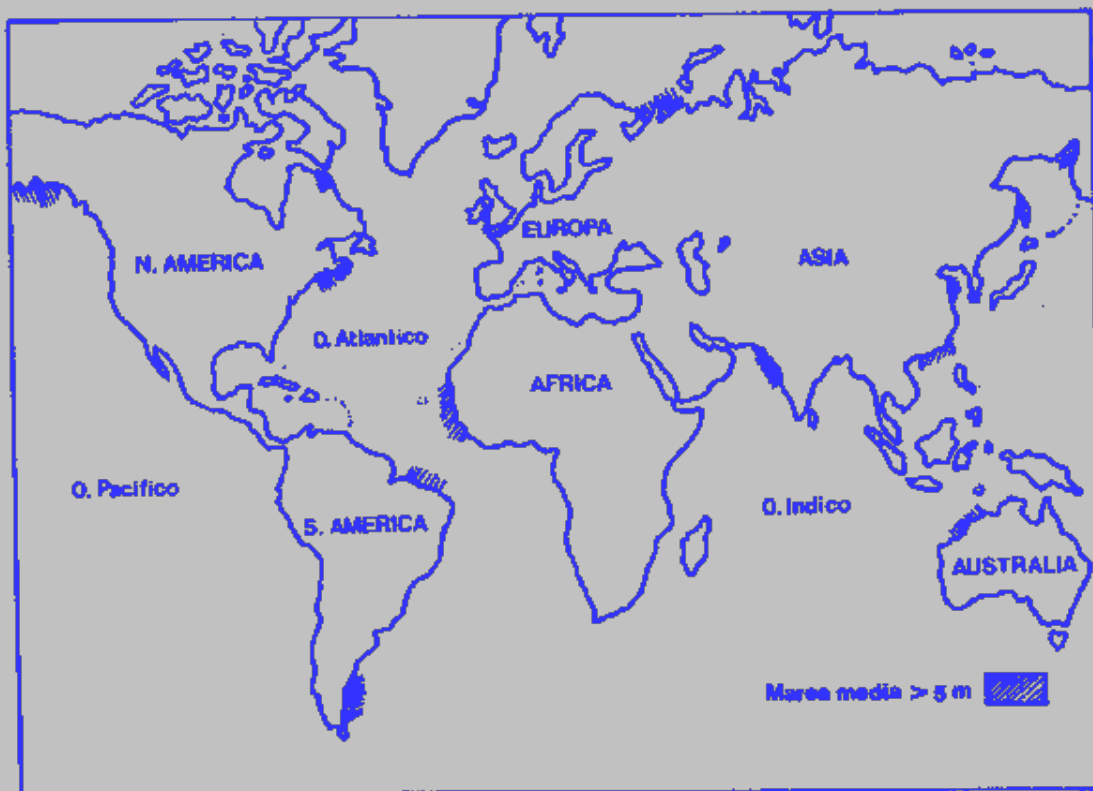
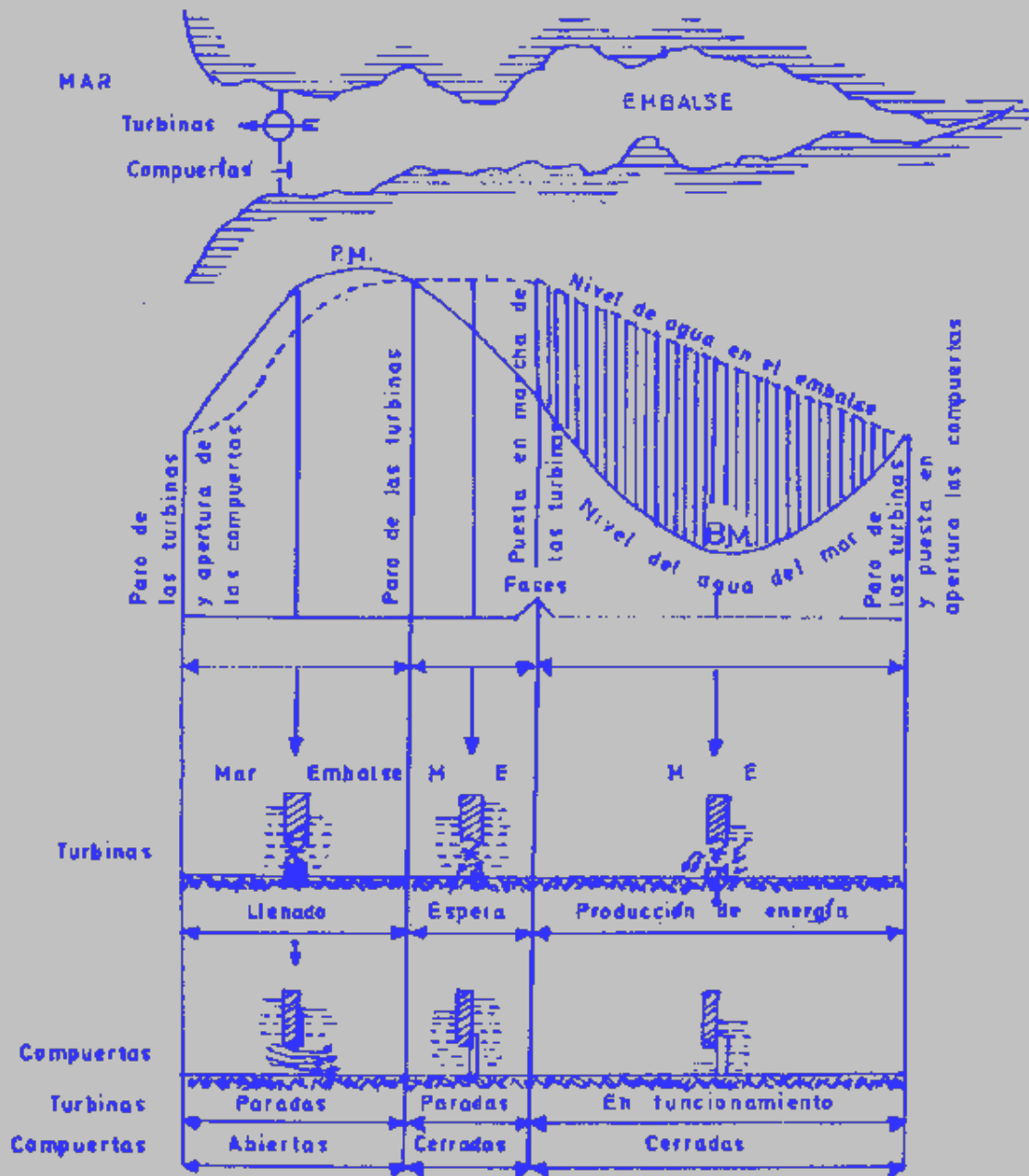


FIGURA 7.2: Ciclo maremotriz elemental de efecto simple



Turbina maremotriz



FIGURA 7.4: Lugares con posibilidades de aprovechamiento maremotérmico

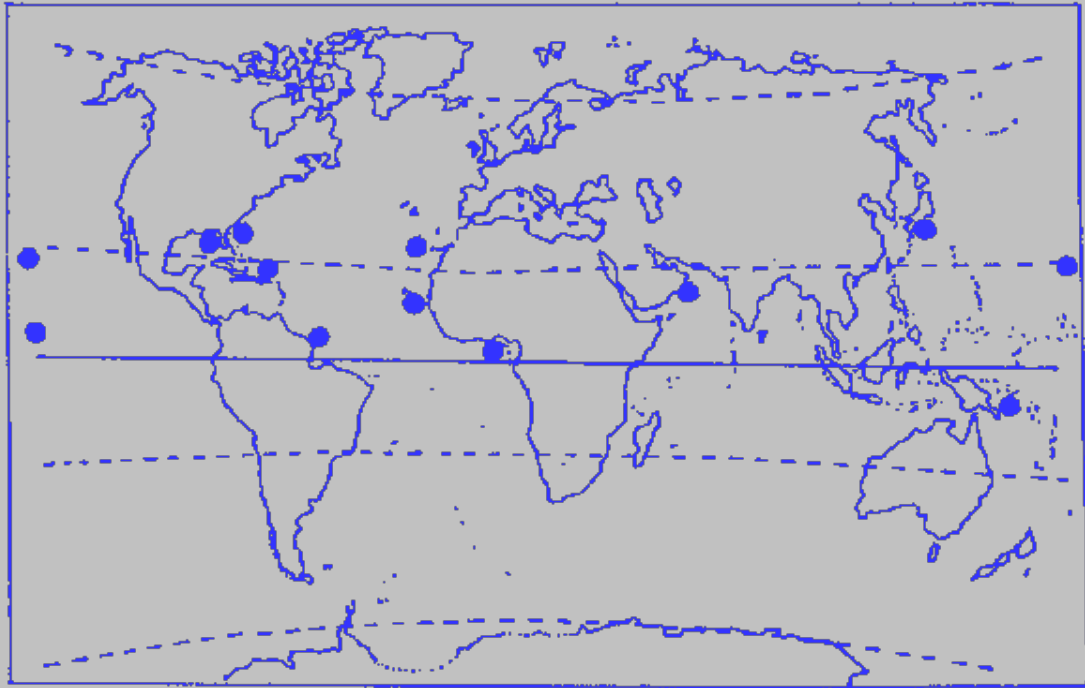
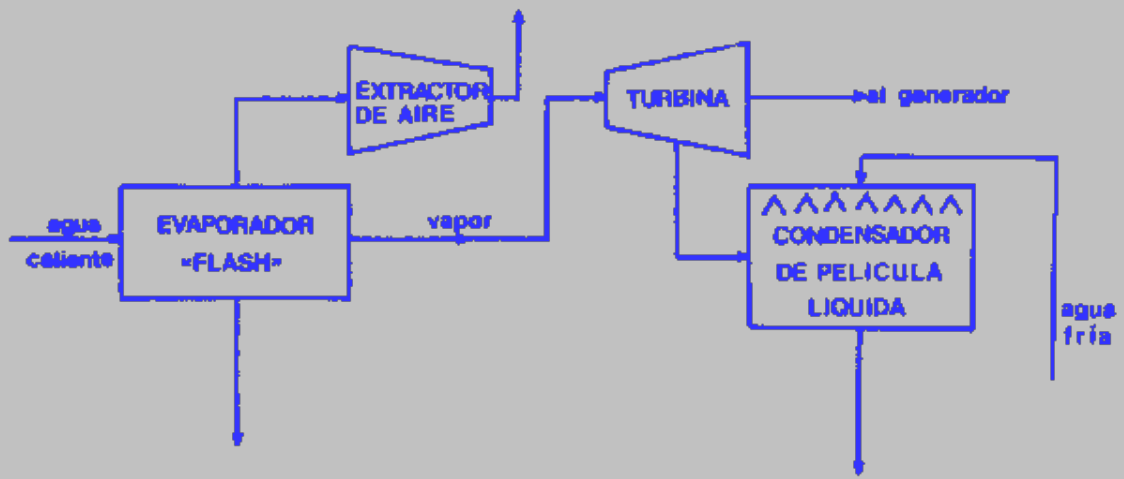


FIGURA 7.5: Conversión maremotérmica en ciclo abierto



Convertidor de olas (balsa Cockerell)



FIGURA 7.7: Rectificador Russel

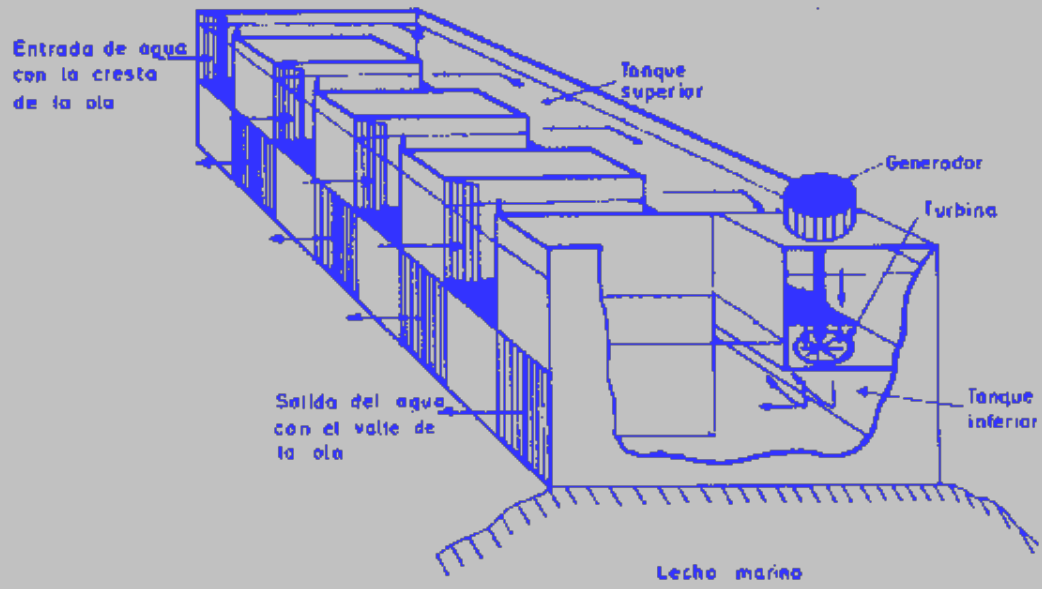


FIGURA 7.8: "Pato" Salter

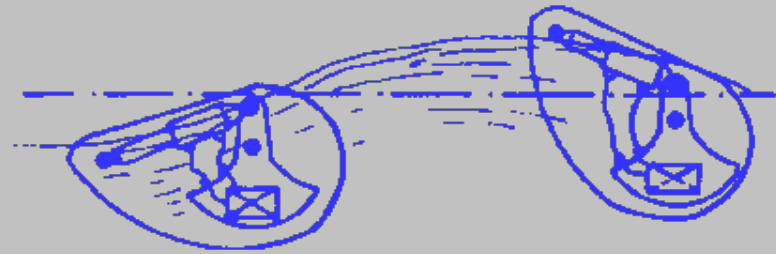
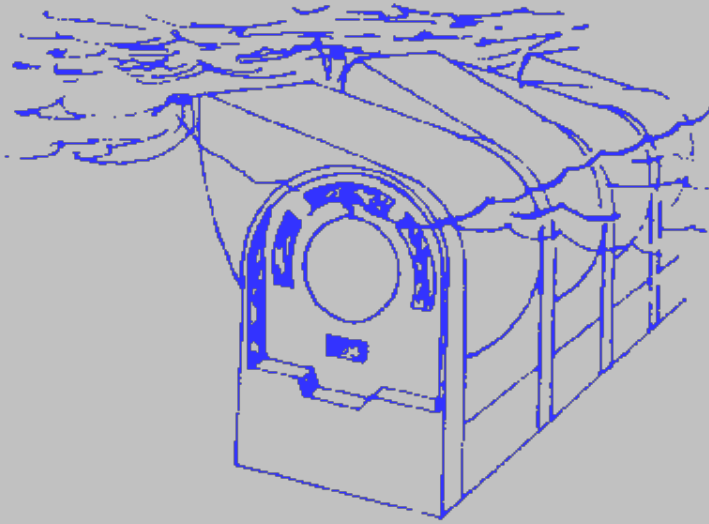


FIGURA 7.9: Balsa Cockerell

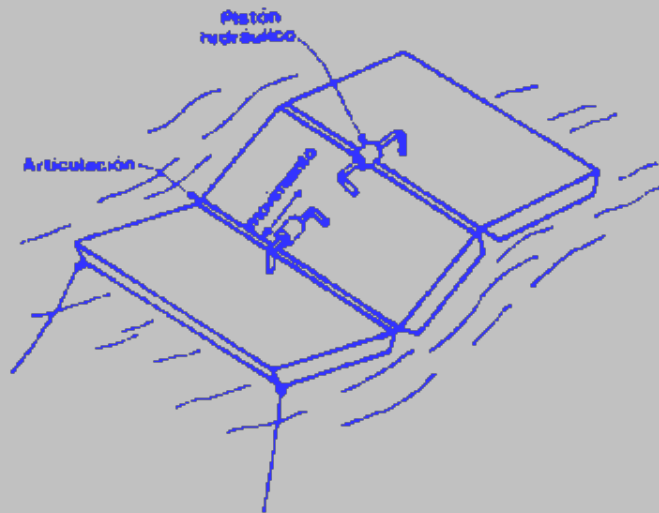
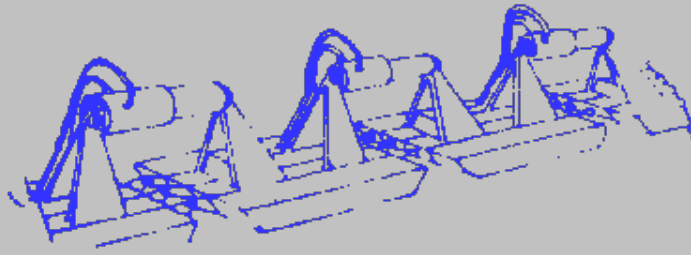


FIGURA 7.10: Buque Kaimei

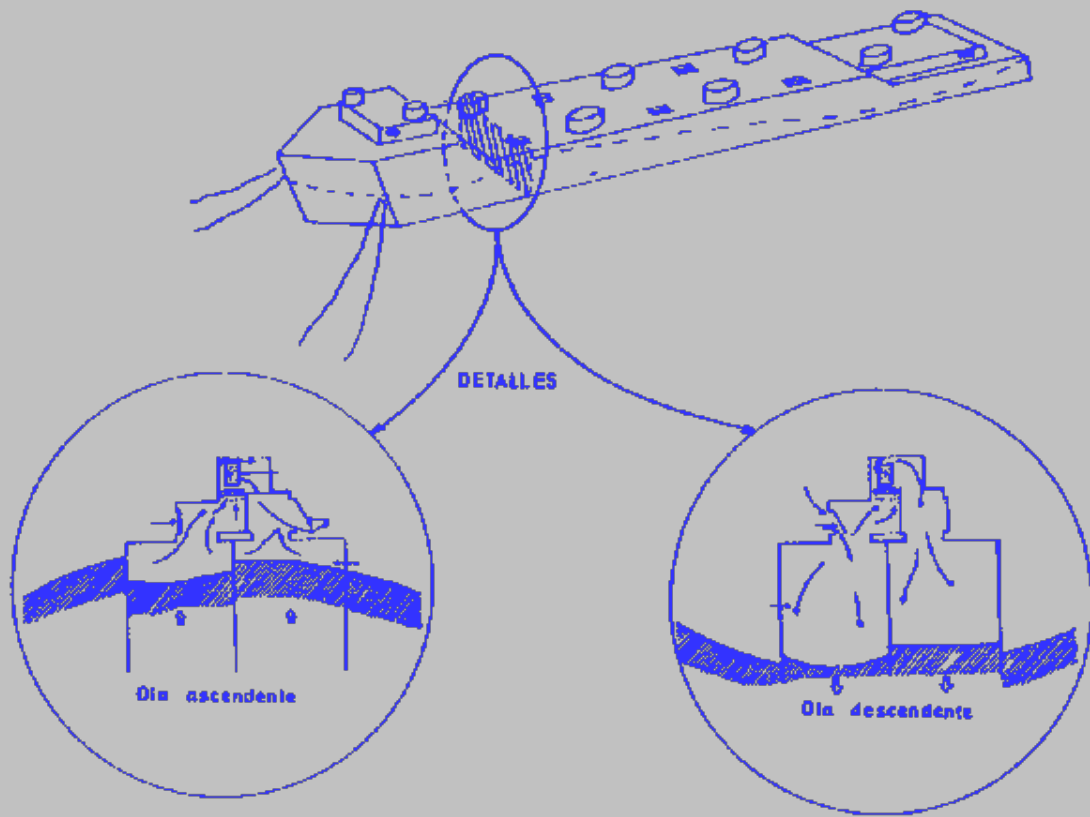


FIGURA 7.11: Bolsa de Lancaster

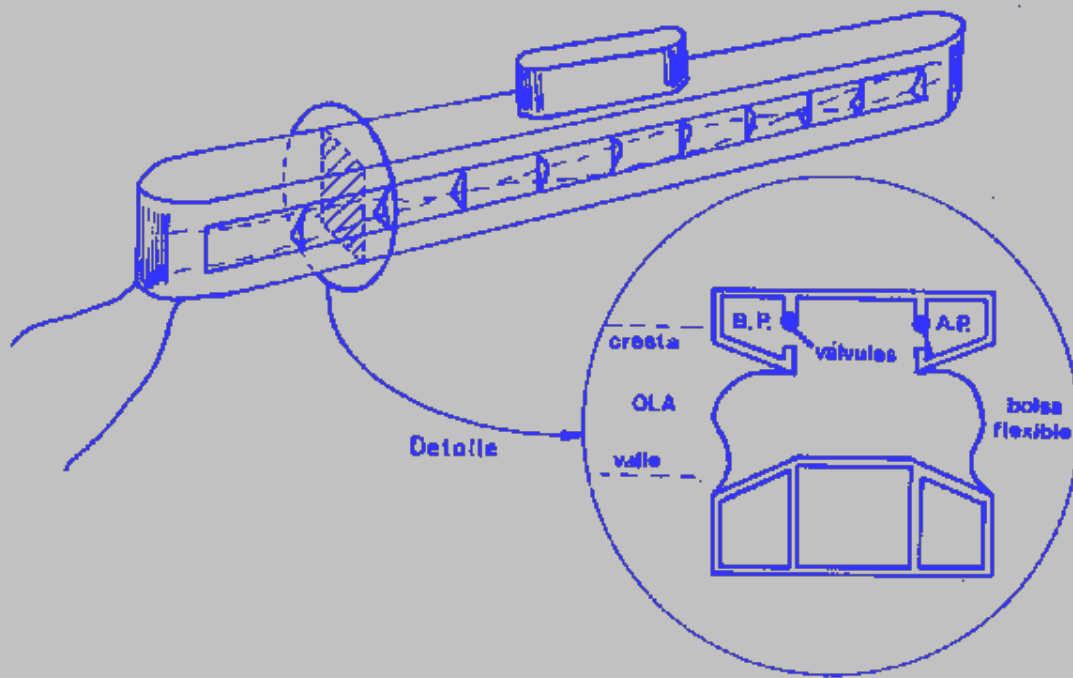


FIGURA 7.12: Boya Masuda

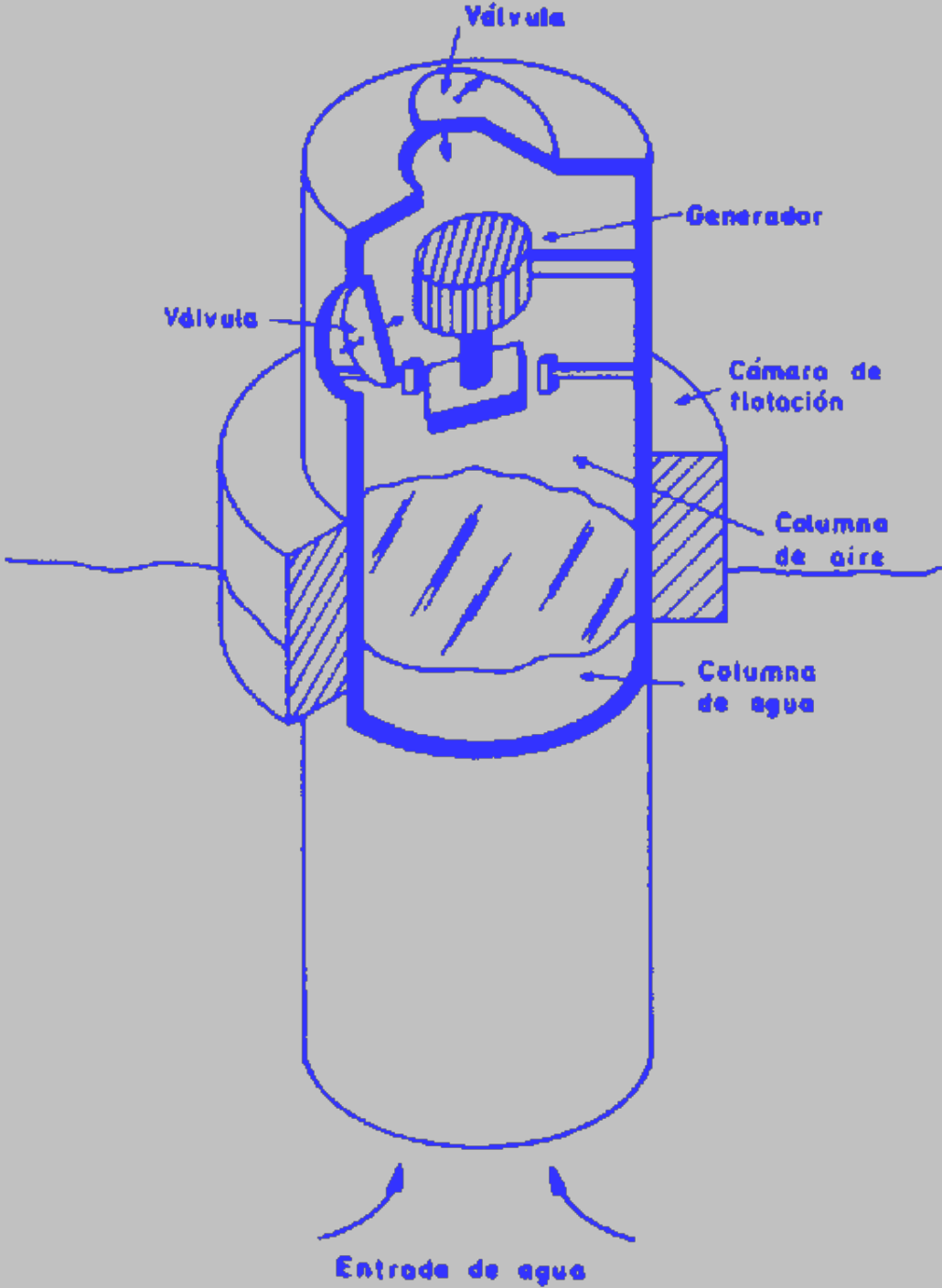
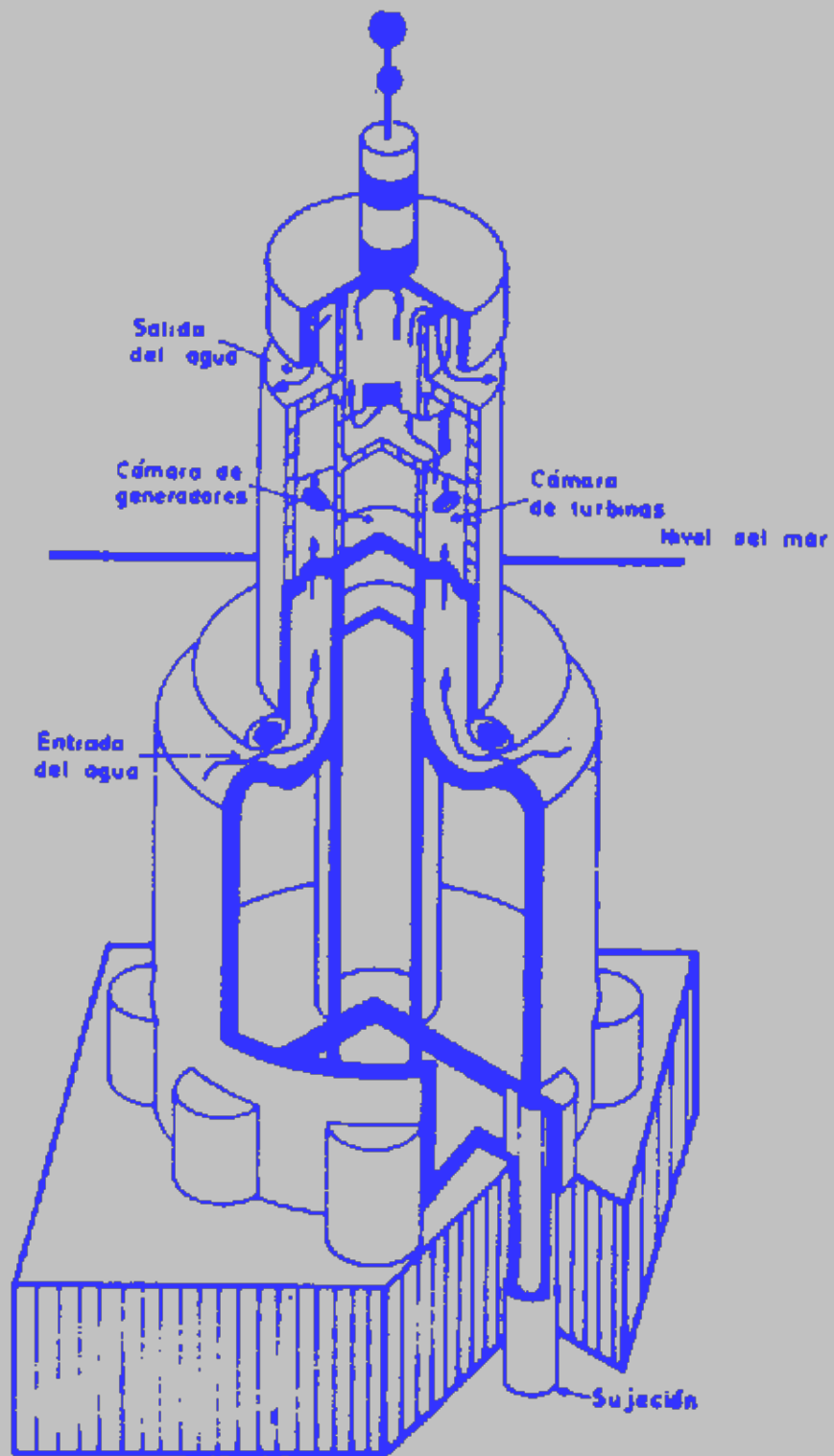



FIGURA 7.13: Convertidor de Belfast




Bibliografía

- **ACOSTA, J.;** *Energía solar. Utilización y aprovechamiento*, Paraninfo, Madrid (1983).
- **ALEMANY, J.;** *Las otras energías*, Ed. HMB, Barcelona (1982).
- **ANONIMO;** *Centrales y minicentrales hidráulicas e hidrología*, Energía, Julio-Agosto, 29-35 (1982).
- **ARAÑA, V.;** *La energía geotérmica*, Las Ciencias, 38(2), 18 pp. (1973).
- **ARAÑA, V.;** *La energía geotérmica, su utilización y su futuro*, Arbor, 351, 59-68 (1975).
- **ASINEL;** *La biomasa y sus aplicaciones energéticas*, Programa de Investigación de UNESA, Madrid (1982).
- **C.D.T.I.;** *La conversión fotovoltaica de la energía solar*, Cuadernos C.D.T.I., nº 3, Ministerio de Industria y Energía, Madrid (1981).
- **C.D.T.I.;** *Aprovechamiento energético de la biomasa*, Cuadernos C.D.T.I., nº 13, Madrid (1983).
- **CADIZ, J.C.;** *La energía eólica. Tecnología e historia*, Hermann Blume, Madrid (1984).
- **CHARLIER, R.H.;** *Oceans and electric power. Part 1*, International Journal of Environmental Studies, 18, 159-168 (1982).
- **CHARLIER, R.H.;** *Oceans and electric power. Part 2*, International Journal of Environmental Studies, 19, 7-16 (1982).
- **CLEGG, P.;** *New low-cost sources of energy for the home* (5th. ed), Garden Way Publishing, Charlotte, Vermont (1978).
- **CONSTANS, J.;** *Marine sources of energy*, Pergamon Press, Oxford (1979).
- **CUNTY, G.;** *Aeromotores y aerogeneradores. Guía de la energía eólica*, Ediciones Marzo 80, Barcelona (1981).
- **DAWSON, J.K.;** *Wave energy*, Department of Energy, Energy Paper nº 42, London (1979).
- **DEMEYER, A., JACOB, F., JAY, M., MENGUY, G. y PERRIER, J.;** *La conversión bioenergética de la radiación solar y las biotecnologías*, Alhambra, Madrid (1985).
- **DROZ, S.;** *Les microcentrales*



hydroélectriques: principe et pratique,
Electricité de France, Direction de
L'Équipement, documento W 13, Paris, 37
pp. (1980).

- **GIBRAT, R.**; *La energía de las mareas*, Labor, Barcelona (1973).
- **INGENIERIA QUIMICA (ed.)**; *Anuario de energía 1980*, Ingeniería Química, Madrid (1980).
- **INGENIERIA QUIMICA (ed.)**; *Anuario de energía 1983*, Ingeniería Química, Madrid (1983).
- **JARABO, F.**; *Energías de origen marino*, Era Solar, 13/14, 43-54 (1985).
- **JARABO, F. y FERNANDEZ, J.**; *Energías alternativas renovables. ¿Un futuro para Canarias?*, Secretariado de Publicaciones, Universidad de La Laguna, La Laguna, Santa Cruz de Tenerife (1983).
- **JARABO, F. y FERNANDEZ, J.**; *La energía de la biomasa*, Técnica Industrial, 171, 47-57 (1983).
- **JARABO, F., FERNANDEZ, J. y BORGES, T.M.**; *Energía geotérmica: aprovechamiento, aplicaciones y factores ambientales*, Era Solar, 2, 5-22 (1983).
- **JARABO, F., FERNANDEZ, J. y MARTIN, J.F.**; *La energía del mar. I. Energía maremotriz*, Energías Alternativas, 16, 61-68 (1983).
- **JARABO, F., FERNANDEZ, J. y MARTIN, J.F.**; *La energía del mar. II. Energía maremotérmica*, Energías Alternativas, 19, 50-62 (1983).
- **JARABO, F., FERNANDEZ, J. y MARTIN, J.F.**; *La energía del mar. I. Energía de las olas*, Energías Alternativas, 21, 33-43 (1983).
- **JARABO, F., FERNANDEZ, J., TRUJILLO, D., ELORTEGUI, N. y PEREZ, C.**; *La energía de la biomasa*, S.A. de Publicaciones Técnicas, Madrid (1984).
- **M.I.E.**; *La biomasa como fuente energética*, Centro de Estudios de la Energía, cuaderno nº 1, Madrid, 79 pp. (1981).
- **M.I.E.**; *Plan de Energías Renovables*, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Madrid (1986).
- **MARIN, F.**; *Energía*, Alhambra, Madrid (1982).
- **MARZAL, F.**; *La energía geotérmica: presente y futuro*, Energía, Marzo-Abril, 113-116 (1985).
- **McMULLAN, J.T., MORGAN, R. y MURRAY, R.B.**; *Recursos energéticos*,

- 
- Blume, Barcelona (1981).
- **MEINEL, A.B. y MEINEL, M.P.;** *Aplicaciones de la energía solar*, Reverté, Barcelona (1982).
 - **MERRIL, R. y GAGE, T. (eds.);** *Energy primer*, Dell Publishing Company, New York (1978).
 - **PALZ, W.;** *Electricidad solar*, Blume, Barcelona (1980).
 - **PORTILLO, P.;** *Energía solar*, Ediciones Pirámide, Madrid (1985).
 - **POSTIGO, L.;** *El mundo de la energía*, Ramón Sopena, Barcelona (1975).
 - **PUIG, J., MESEGUER, C. y CABRE, M.;** *El poder del viento*, Ecotopía Ediciones, Barcelona (1982).
 - **RAFELS, J.;** *Aspectos actuales de la coyuntura comercial de las nuevas energías en España 1984-1994*, Era Solar, 7/8, 3-8 (1984).
 - **ROMERO, E., RODRIGUEZ, A. y ROJO, J.A.;** *Proyecto GEOMAR*, Ministerio de Industria y Energía, Dpto. de Investigación y Nuevas Fuentes, cuaderno nº 5, Madrid (1981).
 - **ROSS, D.;** *Energy from the waves*, Pergamon Press, Oxford (1979).
 - **SALMADOR, F.;** *Minicentrales hidroeléctricas*, *Energía*, Julio-Agosto, 29-35 (1982).
 - **SIMEONS, C.;** *Hydro-power*, Pergamon Press, Oxford (1980).
 - **STEADMAN, P.;** *Energía, medio ambiente y edificación*, Hermann Blume, Madrid (1978).
 - **TESTER, J. y GRIGSBY, C.O.;** *Geothermal energy*, en "Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology" (3rd. ed.), vol. 11, John Wiley and Sons, New York, 746-790 (1980).
 - **VALVERDE, A.;** *Potencialidad y posible aprovechamiento de las fuentes de energía renovables*, *Técnica Industrial*, 170, 17-25 (1983).
 - **VALVERDE, A. y GARCIA, J.;** *Los recursos energéticos del océano*, *Energía*, 10(2), 73-82 (1982).
 - **VARIOS AUTORES;** *Energías renovables y medio ambiente*, Monografías C.E.O.T.M.A., nº 16, M.O.P.U., Madrid (1982).
 - **VARIOS AUTORES;** *Curso El medio ambiente y la energía*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Santander, Septiembre (1982).
 - **VARIOS AUTORES;** *Las nuevas energías*, Fontalba, Barcelona (1983).
 - **VARIOS AUTORES;** *Energía*, Papeles



de Economía Española, 14, Fundación Fondo para la Investigación Económica y Social de las Cajas de Ahorros Confederadas, Madrid (1983).

- **VARIOS AUTORES**; *Seminario Sobre Energías Renovables*, Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Sitges, Septiembre (1985).
- **VARIOS AUTORES**; *Las energías alternativas y el ahorro energético*, Seminario Cívico-Militar de Canarias (Ciclo Cuarto), Servicio Geográfico del Ejército, Madrid (1986).
- **VEGA, J.M., CASTILLO, F. y CARDENAS, J.**; *La bioconversión de la energía*, Ediciones Pirámide (1983).
- **WILSON, J.I.B.**; *La energía solar*, Alhambra, Madrid (1982).
- **WORTHINGTON**; *Utilización de bombas como turbinas hidráulicas*, Energía, Julio-Agosto, 77-82 (1984).

Enlaces

Algunos servidores de Internet con información sobre energías renovables (activos a 05/1998).

[Instituto Tecnológico y de Energías Renovables](#)

[Centro de Investigación en Energía y Agua](#)

[Proyecto Adapt Renewable](#)

[CENSOLAR: Centro de Estudios de la Energía Solar](#)

[IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía](#)

[CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas](#)

[National Renewable Energy Laboratory](#)

[Solstice: Sustainable Energy and Development Online](#)

[The World Directory of Renewable Energy Suppliers and Services](#)