

TECANA AMERICAN UNIVERSITY  
Accelerated Degree Program  
Master of Science in Mechanical Engineering.



INFORME N° 5

“ENERGÍAS NO CONVENCIONALES”

**Ing. Gianpaolo Fontana Llerandi.**

“Por la presente juro y doy fe que soy el único autor del presente informe y que su contenido es fruto de mi trabajo, experiencia e investigación académica”

**Bahías de Huatulco, Oaxaca, México, 10 de Marzo de 2008.**

## Índice General.

Introducción.	5
1. La energía solar.	7
1.1 La radiación solar.	7
1.1.1. Calidad termodinámica de la radiación solar.	7
1.1.2. Concentración y conversión térmica de la radiación solar.	9
1.2 Sistemas solares termoeléctricos.	10
1.2.1. Concentradores cilindro-parabólicos.	11
1.2.2. Sistemas de receptor central con campo de heliostatos.	13
1.2.3. Los sistemas disco-Stirling.	14
1.3 Sistemas fotovoltaicos.	15
1.3.1. Semiconductores.	15
1.3.1.1. Antecedentes.	15
1.3.1.2. Electrones de valencia y tipos de enlace atómico.	16
1.3.1.3. Par electrón-hueco.	17
1.3.2. Células fotovoltaicas.	17
1.3.3. Módulo o panel fotovoltaico.	18
2. Energía del viento o eólica.	19
2.1. Recurso eólico.	19
2.1.1. Velocidad del viento.	19
2.1.1.1. Ley exponencial de Hellman.	20
2.1.2. Energía del viento.	21
2.2. Aplicaciones y tecnologías.	23
2.2.1. Tipos de máquinas eólicas.	23
2.2.1.1. Molinos de eje horizontal.	23
2.2.1.2. Molinos de eje vertical.	25
2.2.2. Aplicaciones de las máquinas eólicas.	26
3. Hidráulica	27
3.1. Hidroeléctricas.	27
3.1.1. Criterios de diseño y selección de turbinas hidráulicas.	27
3.1.2. Clasificación de turbinas hidráulicas.	28
3.2. Minihidráulica	30
4. Biomasa.	30
4.1. Leña.	33
4.2. Fermentación.	33
4.3. Biometanación.	34
4.4. Biogás de rellenos sanitarios.	34
5. Geotérmica.	35
5.1. Generación de electricidad por medio de energía geotérmica.	36
5.2. Recursos geotérmicos en México.	38
6. Energía Oceánica.	39
6.1. Energía oceánica térmica.	39
6.2. Energía oceánica mecánica.	39
6.2.1. Energía de las mareas.	40
6.2.2. Energía de las olas.	40
6.2.2.1. Sistemas oceánicos.	40
6.2.2.2. Sistemas costeros.	40

7. Combustibles alternativos.	41
7.1. Biodiesel.	41
7.2. Celdas de combustible.	41
Conclusiones.	43
Bibliografía.	44
Publicaciones.	44
Páginas Web.	44
Apéndice A. Procesos de conversión energética de la biomasa.	46
Apéndice B. Especificaciones establecidas para el biodiesel y método de ensayo correspondiente.	47

## Índice de Figuras y Tablas.

Figura 1. Variación en la calidad termodinámica de la irradiancia con el factor de dilución.	9
Figura 2. Variación de la eficiencia de un sistema termosolar ideal con la temperatura a distintos niveles de concentración	10
Figura 3. Esquema general de los procesos en una central eléctrica termosolar.	11
Figura 4. Imagen de un concentrador cilindro-parabólico típico.	11
Figura 5. Esquema simplificado de una planta de SEGS típica.	12
Figura 6. Esquema simplificado de una planta con receptor de torre y almacenamiento térmico de sales fundidas.	13
Figura 7. Ejemplo de concentrador solar con disco parabólico. Fotografía del COSPAA-90 en la plataforma de concentración del CIE-UNAM, México.	14
Figura 8. Esquema de un módulo o panel fotovoltaico.	18
Figura 9. Variación de la velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el terreno, según la ley exponencial de Hellmann.	20
Figura 10. Esquema del interior de un aerogenerador típico con aspas en dirección al viento.	21
Figura 11. Molinos de eje horizontal: de hélice a barlovento y multipala.	24
Figura 12. Molinos de eje vertical: Rotor Savonius y aerogenerador Darrieux.	25
Figura 13. Esquema de un sistema de generación eolo-eléctrica interconectado a una red doméstica.	26
Figura 14. Rodete de una turbina Kaplan y el esquema de una turbina Pelton.	29
Figura 15. Esquema de un pozo geotérmico.	35
Figura 16. Esquema de generación geotermoeléctrica comercial aprovechable, planta a contrapresión .	36
Figura 17. Esquema de generación geotermoeléctrica comercial aprovechable, planta a condensación.	37
Figura 18. Esquema de generación geotermoeléctrica comercial aprovechable, planta de ciclo binario.	37

Figura 19. Campos geotérmicos de México.	38
Figura 20. Principio de operación de una celda de combustible.	42
Tabla 1. Plantas de generación de potencia con receptores de torre.	13
Tabla 2. Valores del exponente de Hellmann, en función de la rugosidad del terreno.	20
Tabla 3. Clasificación de centrales de generación eléctrica según la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, México.	30

## **Introducción.**

La energía puede definirse en términos un tanto utilitarios como la capacidad de efectuar trabajo. La energía puede manifestarse en forma térmica, radiante, eléctrica, mecánica, química, lumínica, magnética, gravitacional y atómica. Por otra parte, la energía puede encontrarse en estado potencial o cinético. Casi todas las energías disponibles para el hombre hasta el momento provienen directa o indirectamente del sol.

Históricamente, el Hombre recurrió primero a sí mismo para efectuar trabajo y al sol para proporcionarse luz o calor. El fuego fue el primer descubrimiento para la utilización de la energía, mientras que los animales empezaron a ser utilizados para realizar trabajo. El uso del carbón y, en alguna medida de la leña, durante la revolución industrial para producir vapor y mover máquinas fue uno de los más grandes pasos en el desarrollo de la civilización actual. El uso del petróleo y del gas natural constituye un perfeccionamiento transitorio para efectuar el trabajo requerido por la civilización. Luego, vino el desarrollo y la utilización de la energía nuclear, que es el calor creado por la fisión (partición) del núcleo atómico. Actualmente, grandes esfuerzos en investigación y experimentación intentan obtener energía nuclear mediante la fusión de dos átomos. El calor generado en el sol proviene de procesos de fusión nuclear.

No es sencillo hacer una clasificación de la energía, o más precisamente, de las fuentes energéticas, pero en términos de las posibilidades de utilización por parte de la sociedad, las fuentes la energía pueden clasificarse en renovables y no renovables, mientras que en términos del desarrollo tecnológico y la capacidad de la sociedad para apropiarse extensa y duraderamente una determinada tecnología, puede hablarse de sistemas energéticos convencionales o sistemas no convencionales.

Se debe anotar que la existencia de determinadas fuentes y cantidades de energía no es garantía de que puedan ser utilizadas por la sociedad. El variable nivel de desarrollo y apropiación tecnológica que permite el manejo de determinadas fuentes de energía, conduce a veces a la existencia de situaciones paradójicas como la de sufrir privaciones energéticas en medio de una abundancia de recursos energéticos.

El estado de desarrollo tecnológico, que permite hacer uso de las fuentes de energía, así como el grado de aceptación tecnológica por parte de la sociedad, teniendo en cuenta los patrones de inversión y consumo de la misma, permite que los sistemas energéticos se clasifiquen en convencionales y no convencionales.

Se identifican como sistemas energéticos convencionales aquellos cuya tecnología en la actualidad se encuentra convenientemente desarrollada y los costos de la misma se consideran viables para la sociedad, teniendo en cuenta patrones particulares de consumo. Dentro de ésta categoría se encuentran los sistemas desarrollados para la utilización del petróleo, el gas natural y el carbón mineral, aunque estos energéticos no sean renovables. Además, dentro de ésta categoría se considera también los sistemas hidroeléctricos y bioenergéticos, los cuales, por el contrario, se basan en la

utilización de energéticos renovables. Es importante anotar que todos los tipos de energía que conforman esta categoría tienen como fuente primaria la energía solar.

Se consideran como sistemas energéticos no convencionales aquellos cuya tecnología se encuentra en la actualidad parcialmente desarrollada, pero la misma presenta problemas de aceptación por parte de la sociedad debido a situaciones de costo-beneficio, riesgo y amenazas, o al no conciliarse los patrones de consumo con los desarrollos económicos existentes.

## 1. La energía solar.

El Sol es una estrella de tipo medio, ampliamente estudiada por los científicos de todas las épocas; a pesar de que aún existen múltiples interrogantes, conocemos lo suficiente del Sol como para entender su estructura, composición y la mayoría de los fenómenos relacionados con su interacción con los demás planetas del Sistema Solar. Se considera que el Sol se encuentra en equilibrio térmico e hidrostático, ya que brilla de forma continua emitiendo energía producida por las reacciones de fusión termonuclear que se producen en su centro, y además, la presión de los gases que forma capas sobrepuestas, se equilibra en todas las direcciones por igual; dándole así su forma esférica.

La energía que se origina en su centro se transporta por convección y por difusión radiactiva, y hasta que no se disponga de otros datos, se resume que afecta a todo cuerpo del Sistema Solar de dos formas energéticas diferentes: como **Foco Térmico**, produciendo energía que se transmite en forma de calor; también actúa como **Viento Solar**, que son electrones y protones en movimiento a altas velocidades, las cuales dan origen a un campo eléctrico, esto es, que el Sol es una fuente electromagnética; por lo que se puede afirmar que el Sol es una fuente de energía que emite en todas las longitudes de onda o frecuencias del espectro radioeléctrico.

### 1.1. La radiación solar.

#### 1.1.1. Calidad termodinámica de la radiación solar.

La radiación solar posee una elevada calidad termodinámica al ser el resultado de procesos que tienen lugar en la superficie del Sol a una temperatura equivalente de cuerpo negro visto desde la Tierra de 5,777 K. En las aplicaciones solares que utilizan la potencia incidente de la radiación solar para su conversión a trabajo útil, como es el caso de las Centrales Eléctricas Termosolares (CET), resulta fundamental la medida de la calidad de esa energía incidente, expresada en términos de exergía, magnitud que se utiliza para designar la parte de la energía que puede convertirse en trabajo mecánico en un proceso perfectamente reversible. Se puede definir un rendimiento exergético,  $\eta^*$ , en función de la radiación solar incidente y el trabajo máximo que puede obtenerse, en condiciones perfectamente reversibles, tal como se refleja en la siguiente expresión:

$$\eta^* = \frac{W^*}{G_S} = \frac{\int_0^\infty W_\lambda^* d\lambda}{\int_0^\infty G_{S\lambda} d\lambda} \quad (1)$$

Donde:

$\eta^*$  = Rendimiento exergético.

$W^*$  = Trabajo máximo en condiciones perfectamente reversibles.

$G_S$  = Radiación solar incidente

$\lambda$  = Longitud de onda de la luz incidente.

Otras ecuaciones han sido propuestas para tener en cuenta la distribución espectral de la radiación solar y, de esta forma, han evaluado el potencial exergético asociado a cada diferencial de longitud de onda, resultando de mayor calidad las ondas más cortas. Max Planck propuso, tras un análisis teórico que involucraba cilindros y pistones radiadores perfectos, el factor de Carnot asociado a las temperaturas de cuerpo negro ( $T_s$ ) y ambiente ( $T_a$ ), como límite exergético de la energía radiante.

En particular, la ecuación propuesta por Planck a una temperatura ambiente de 300 K y al Sol como radiador, a unos 5,777 K, adquiere un valor de 0.948. Teniendo además en cuenta el hecho de que el receptor también emite radiación, adquiere un valor en las condiciones indicadas anteriormente, de 0.93. Adicionalmente, se puede tener en cuenta el factor de dilución de la radiación solar  $f$  tal y como llega a un receptor solar.

$$\eta^* = 1 - \frac{4T_a}{3T_s} \cdot (1 - 0.28 \log f) \quad (2)$$

Donde:

$\eta^*$  = Rendimiento exergético.

$T_a$  = Temperatura del cuerpo negro.

$T_s$  = Temperatura ambiente.

$f$  = Factor de dilución. El factor de dilución solar  $f$  expresa la relación de mezcla entre la radiación solar que procede directamente de la superficie del Sol y la de albedo.

Esta aproximación puede bajar el rendimiento exergético hasta valores de 0.55 para factores de dilución  $f$  muy reducidos, tales como  $1 \times 10^{-10}$ . El valor de  $f$  viene determinado por la geometría del sistema Sol-Tierra y el tamaño del Sol. Ver Figura 1. Existe una relación entre el factor de dilución y la concentración óptica de la radiación solar incidente:

$$f = \frac{C}{46,200} \cdot \frac{1}{n^2 \sin^2 \theta} \quad (3)$$

Donde:

$n$  = Índice de refracción del material óptico.

$\theta$  = Ángulo formado por los dos rayos más divergentes del haz de irradiancia incidente.

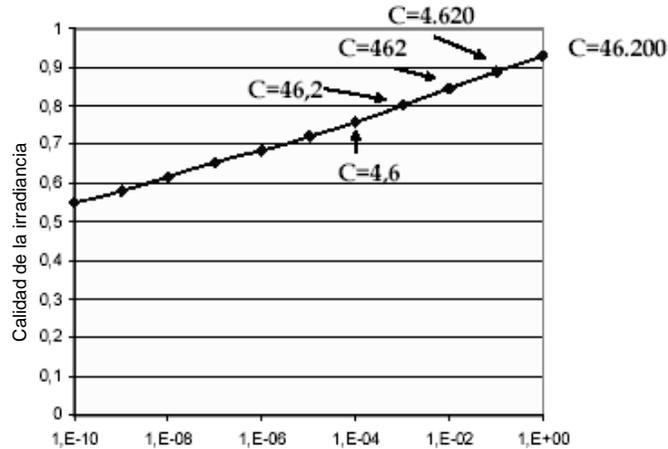


Figura 1. Variación en la calidad termodinámica de la irradiancia con el factor de dilución.

La potencia emisiva del Sol es  $E_S = 63.2 \text{ MW/m}^2$  que corresponde a un valor de  $f = 1$ , mientras que el valor de la constante solar extraterrestre  $G_S = 1\,367 \pm 0.1 \text{ W/m}^2$  se obtiene para un  $f = 2.165 \times 10^{-5}$ .

### 1.1.2. Concentración y conversión térmica de la radiación solar.

Si bien la radiación solar es una fuente térmica de elevada temperatura y elevada exergía en origen, la utilización de la misma en las condiciones del flujo que llega a la superficie terrestre destruye prácticamente todo su potencial de convertirse en trabajo, por la drástica reducción de la temperatura disponible en el fluido. Por esta razón, en las CET se requieren sistemas de concentración óptica, que permiten lograr mayores densidades de flujo y con ello temperaturas más elevadas. El rendimiento ideal del sistema vendrá marcado por el balance de pérdidas radiativas y convectivas en el receptor solar:

$$\eta_T = (\alpha\tau) + (\alpha\varepsilon) \cdot \frac{\sigma T_c^4}{C \cdot G_{S,directa}} - (\varepsilon\rho) \cdot \frac{\sigma T^4}{C \cdot G_{S,directa}} - U \cdot \frac{(T - T_A)}{C \cdot G_{S,directa}} \quad (4)$$

Donde:

- $\eta_T$  = Eficiencia total del sistema.
- $\alpha$  = Absorbancia del absorbedor, (receptor).
- $\tau$  = Transmitancia del absorbedor.
- $\varepsilon$  = Emitancia del absorbedor.
- $C$  = Factor de concentración.
- $G_{S,directa}$  = Irradiancia directa
- $T_A$  = Temperatura ambiente.
- $T_C$  = Temperatura de la cubierta del absorbedor.
- $T$  = Temperatura de trabajo.

El primer término expresa las ganancias en el receptor, al que se añade el segundo término con las ganancias procedentes de la cubierta a una temperatura  $T_C$ , el tercer término expresa las pérdidas por radiación a una temperatura de trabajo  $T$  y el último término las pérdidas por convección entre el absorbedor y el ambiente  $T_A$ , que se despreciarían en una situación ideal de diseño. La temperatura del receptor solar y su rendimiento térmico en estas condiciones estarán relacionados por la expresión:

$$T = \left( CG_{s,DIRECTA} \frac{(\alpha\tau) - \eta_r}{(\varepsilon\bar{\rho})\sigma} + \frac{(\alpha\varepsilon)}{(\varepsilon\bar{\rho})} T_C^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

Donde se verifica que la eficiencia del sistema dependerá de la temperatura del receptor y de la relación de concentración, ver Figura 2. Para cada concentración existirá una temperatura óptima y a su vez la temperatura óptima aumentará con la concentración. Existe por tanto una clara conexión entre la concentración alcanzada y la eficiencia teórica del sistema.

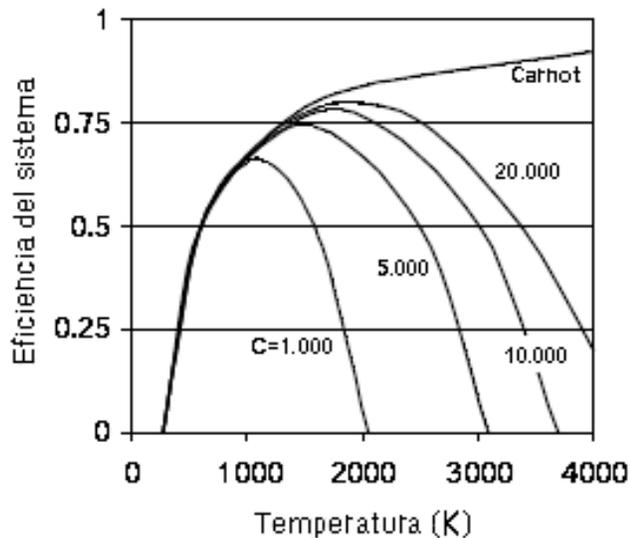


Figura 2. Variación de la eficiencia de un sistema termosolar ideal con la temperatura a distintos niveles de concentración

## 1.2. Sistemas solares termoeléctricos.

La tecnología solar termoeléctrica consiste en el empleo de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre para el calentamiento de un fluido que se hace

pasar posteriormente por una etapa de turbina; de manera directa, en las configuraciones sólo-primario, o a través de un sistema de intercambio térmico con otro fluido que circula por la turbina en la configuración conocida como primario-secundario. Tras la etapa compuesta por los equipos propiamente solares, concentrador óptico y receptor solar, este esquema tiene muchas similitudes con las tecnologías termoeléctricas convencionales, ciclo Ranking, basadas en la conversión mecánica del calor, y ulteriormente la generación eléctrica, en un alternador a partir de un movimiento mecánico rotativo. Ver Figura 3.

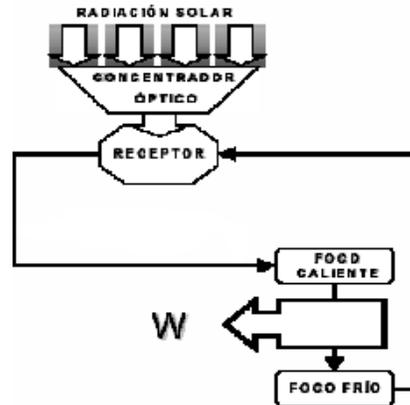


Figura 3. Esquema general de los procesos en una central eléctrica termosolar.

### 1.2.1. Concentradores cilindro-parabólicos.

El concentrador cilindro-parabólico, conocido también mediante las siglas CCP, debe su nombre a uno de sus componentes principales: la superficie reflectante cilindro parabólica que refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo absorbente colocado en la línea focal de la parábola. Ver Figura 4.

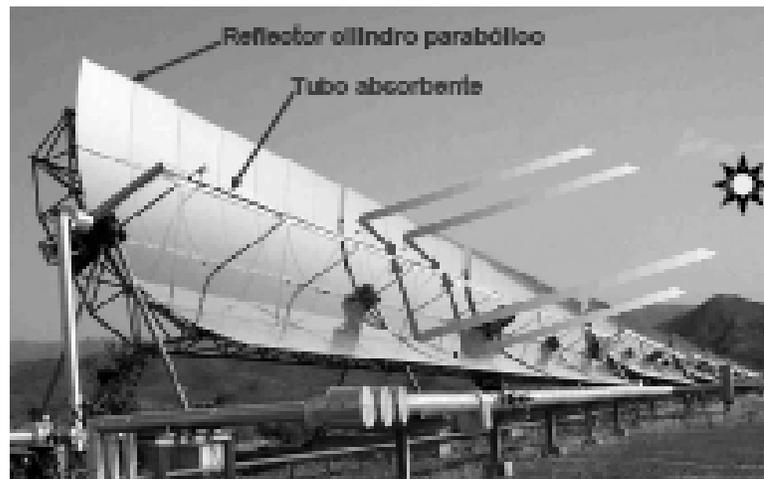


Figura 4. Imagen de un concentrador cilindro-parabólico típico.

Esta radiación concentrada sobre el tubo absorbente hace que el fluido que circula por su interior se caliente, transformando de esta forma la radiación solar en energía térmica, en forma de calor sensible o latente del fluido. Los valores usuales del flujo de radiación sobre el absorbente de un CCP están entre 40 y 60 KW/m<sup>2</sup>, y pueden operar eficientemente hasta temperaturas del orden de 450 °C. Como cualquier otro captador de concentración, los CCP solo pueden aprovechar la radiación solar directa, lo que exige que el colector vaya modificando su posición durante el día. Este movimiento se consigue mediante el giro alrededor de un eje paralelo a su línea focal. El tipo de fluido de trabajo que se utiliza en los CCP depende de la temperatura a la que se desee calentar. Si las temperaturas que se desean son moderadas (<200 °C), se puede utilizar agua desmineralizada o Etilen Glicol como fluidos de trabajo. En cambio, se utilizan aceites sintéticos en aquellas aplicaciones donde se desean temperaturas más altas (200 °C < T < 450 °C). El fluido así calentado, es posteriormente enviado a un intercambiador de calor fluido/agua donde se produce el vapor sobrecalentado requerido para accionar un turbo-alternador, generándose de este modo energía eléctrica mediante un ciclo termodinámico Rankine. Esta tecnología se denomina: Heat Transfer Fluid y es conocida internacionalmente con las siglas HTF, ya que se basa en el uso de un medio (generalmente aceite sintético), para transportar la energía térmica desde el campo solar al bloque de potencia donde se genera la electricidad. Ver Figura 5.

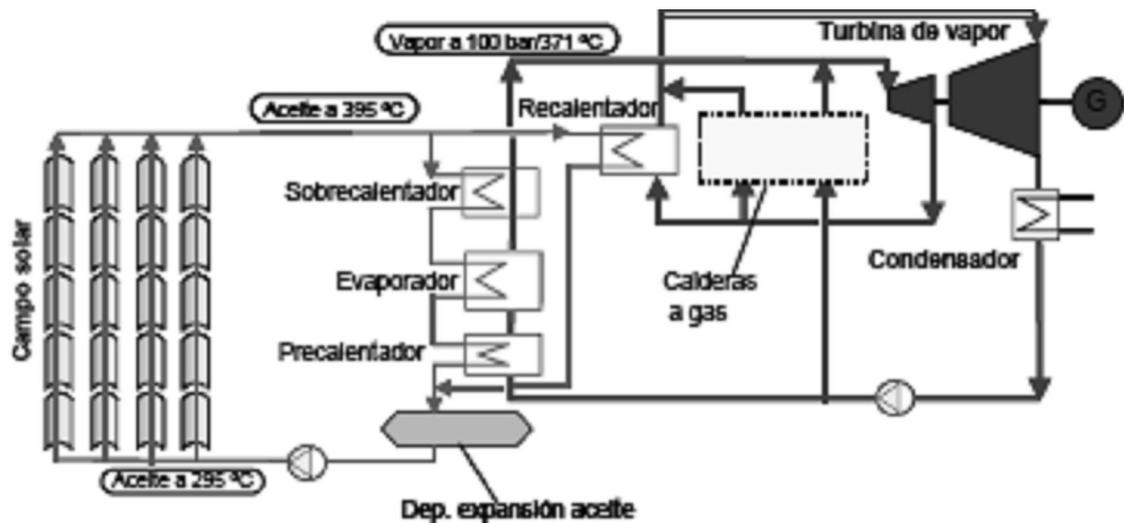


Figura 5. Esquema simplificado de una planta CCP con HTF, típica.

Las plantas SEGS típicas carecen de almacenamiento térmico, pero generalmente cuentan con calderas auxiliares que pueden ser usadas tanto como complemento del campo solar, como para generar electricidad en periodos en los que no existe radiación solar disponible.

### 1.2.2. Sistemas de receptor central con campo de helióstatos.

En los sistemas de receptor central o de torre, el intercambio radiativo/convectivo se produce de forma centralizada en un intercambiador de calor ubicado encima de una torre. Por los altos flujos de radiación incidente (típicamente entre 300 y 1,000 KW/m<sup>2</sup>), es posible trabajar con fluidos a altas temperaturas, e integrarlos en ciclos más eficientes de forma escalonada, admitiendo fácilmente el funcionamiento híbrido en una gran variedad de opciones, adicionalmente, tienen el potencial de generar electricidad con altos factores de capacidad mediante el uso de almacenamiento térmico. Ver Figura 6

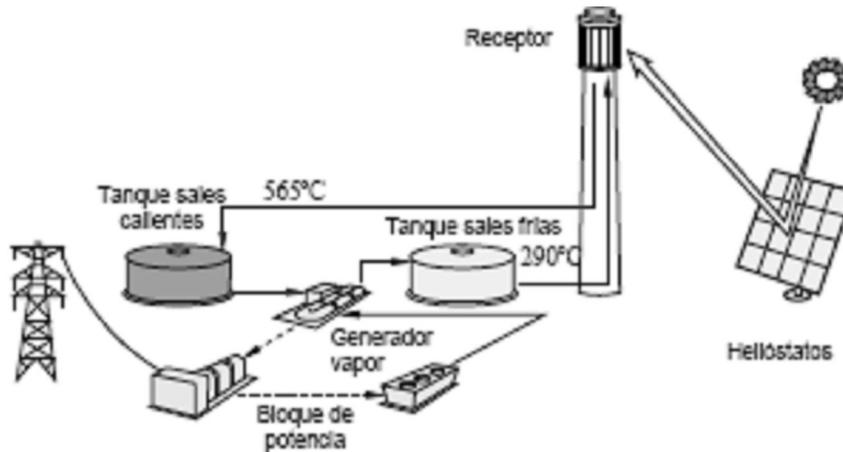


Figura 6. Esquema simplificado de una planta con receptor de torre y almacenamiento térmico de sales fundidas.

Si bien el número de proyectos de receptores de torre ha sido muy numeroso, solamente unos pocos han culminado en la construcción de plantas experimentales. En la Tabla 1, se presenta un listado de las instalaciones más destacadas.

Tabla 1. Plantas de generación de potencia con receptores de torre.

Proyecto	País	Potencia (MW)	Fluido de Transferencia Térmica	Medio de Almacenamiento	Comienzo de operaciones
SSPS	España	0,5	Sodio Líquido	Sodio	1981
EURELIOS	Italia	1	Vapor	Sal Nitrato/Agua	1981
SUNSHINE	Japón	1	Vapor	Sal Nitrato/Agua	1981
Solar One	U.S.A	10	Vapor	Aceite/Roca	1982
CESA-1	España	1	Vapor	Sal Nitrato	1982
MSEE/Cat B	U.S.A	1	Nitrato Fundido	Sal Nitrato	1983
THEMIS	Francia	2.5	Sal de Alta Tecnología	Sal de Alta Tecnología	1984
SPP-5	Rusia	5	Vapor	Agua/Vapor	1986
TSA	España	1	Aire	Cerámico	1993
Solar Two	U.S.A	10	Nitrato Fundido	Sal Nitrato	1996

### 1.2.3. Los sistemas disco-Stirling.

Los discos parabólicos han evolucionado hacia la construcción de unidades autónomas conectadas a motores Stirling situados en el foco. Los sistemas disco/Stirling han demostrado la mayor eficiencia de conversión de radiación solar en energía eléctrica con valores máximos del 30 % y hasta un 25 % de promedio diario en unidades de 7 a 25 KW. Debido a la curvatura parabólica del concentrador y a la baja relación distancia focal/diámetro ( $f/D = 0.6$ ), se pueden conseguir altas relaciones de concentración por encima de 3,000. Lo cual permite alcanzar muy altas temperaturas de operación, entre 650 y 800 °C, dando lugar a eficiencias en el motor Stirling del orden del 30 al 40 %. La superficie cóncava del concentrador está cubierta por espejos de vidrio de segunda superficie con su correspondiente curvatura parabólica o bien por espejos delgados o polímeros metalizados de primera superficie soportados sobre una estructura de fibra de vidrio o en una membrana mantenida bajo tensión. Ver Figura 7.



Figura 7. Ejemplo de concentrador solar con disco parabólico. Fotografía del COSPAA-90 en la plataforma de concentración del CIE-UNAM, México.

Los receptores para sistemas disco/Stirling son de tipo cavidad, con una pequeña apertura y su correspondiente sistema de aislamiento. Habitualmente, se usan dos métodos para la transferencia de la radiación solar al gas de trabajo. En el primero se ilumina directamente un panel de tubos por el interior de los cuales circula el gas que suele ser helio, hidrógeno o aire. En el segundo método, se utiliza el concepto de tubo de calor, vaporizándose un metal líquido (normalmente sodio) que luego se condensa en la superficie de los tubos por los que circula el gas de trabajo y refluye nuevamente al absorbedor.

### 1.3. Sistemas fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica es diferente de la energía solar térmica, pues mientras esta última convierte la energía del Sol en energía en forma de calor, la energía solar fotovoltaica convierte directamente la energía luminosa del Sol en energía eléctrica.

La generación de una fuerza electromotriz por la absorción de cualquier tipo de radiación ionizante en un material semiconductor se denomina efecto fotovoltaico. Los trabajos de Adams y Day en 1877, relativos a las interacciones de contactos de platino y selenio, permitieron construir los primeros dispositivos capaces de aprovechar la luz para generar una diferencia de potencial eléctrico, denominándose: *células solares*, las cuales estaban construidas básicamente con selenio, aunque tenían un rendimiento inferior al 1 %.

En 1905, Einstein aplicó la idea de la cuantificación de la energía a la teoría de Planck sobre la radiación que poseían los osciladores elementales en las paredes de un cuerpo negro. Einstein explicó de la siguiente manera el efecto fotoeléctrico:

“La radiación está constituida por cuantos indivisibles de energía que interaccionan con la materia de forma localizada. Estos cuantos de luz, denominados *fonones*, penetran a través de la superficie del electrodo que hace de blanco. El fotón le comunica su energía a algún electrón con el que interacciona; parte de la energía del cuanto de luz se transforma en *energía cinética del electrón*. Si el electrón se encuentra en el interior del material, parte de esta energía transmitida al electrón se perderá en conseguir que este llegue a la superficie del material. Si el electrón se encuentra en la superficie, será más fácil que la energía comunicada por el cuanto de luz sea superior a la energía de atracción del núcleo; si la energía comunicada es mayor que la de atracción, el electrón abandonará el átomo al que pertenecía. En consecuencia, la energía comunicada al electrón debe ser capaz de arrancarle del átomo al que pertenece.

El trabajo necesario para arrancar al electrón del átomo se denomina *función de trabajo del material*, y es propia de cada material. Estos electrones que abandonan sus átomos forman una *corriente eléctrica* ó, en caso de que existiera debido a procedimientos electroquímicos, esta se ve aumentada por la acción de la luz.”

#### 1.3.1. Semiconductores.

##### 1.3.1.1. Antecedentes.

Los adelantos y descubrimientos científicos del siglo XIX, llegaron a una importante conclusión: de que la materia estaba formada por átomos eléctricamente neutros, y que esta neutralidad se debía a la igualdad del número de cargas positivas y negativas. En 1913, Niels Bohr observó que los espectros atómicos no eran continuos, sino que estaban formados por líneas denominadas: espectros de energía. Lo que indicaba que los átomos sólo podían emitir energía de modo discontinuo.

La Mecánica Cuántica permitió establecer los criterios para poder determinar la probabilidad de que un electrón se encuentre en una determinada región del espacio en un instante determinado. A esta región del espacio se le denomina: *orbital*. Schrödinger -al percatarse que toda partícula lleva asociado un movimiento ondulatorio y que era posible tratar al electrón como a una partícula con su masa o como a una onda- planteó y resolvió la ecuación que determina el orbital, denominada: *Ecuación de Onda*.

### 1.3.1.2. *Electrones de valencia y tipos de enlace atómico.*

Al resolver la Ecuación de Onda, nos encontramos con cuatro números que caracterizan al orbital:  $n, l, m, s$ . Son estos números los que indican el modo en que los electrones ocupan los distintos orbitales atómicos. Los electrones de un átomo en estado natural se distribuyen ocupando los orbitales de menor a mayor energía. El número de electrones define al elemento y la distribución de estos electrones en los diferentes orbitales del átomo nos define sus propiedades.

Los electrones que ocupan los orbitales mas externos se denominan *electrones de valencia* y son los que intervienen en la formación de los enlaces entre los átomos o enlaces químicos. Hay tres tipos de enlace químico: *Iónico, metálico y el covalente*; un ejemplo de este enlace se presenta en el Silicio. Tanto los elementos como los compuestos pueden encontrarse en los tres estados de la materia: *gaseoso, líquido y sólido*. Los sólidos pueden presentar una alineación en idénticas estructuras unitarias denominada: *base cristalina*; en este arreglo un átomo cede los electrones de valencia a otro átomo consecutivo. De esta forma cada átomo completa su último orbital atómico al compartir los electrones de valencia.

Ahora bien, la energía que poseen los electrones no solo será debida a las fuerzas de atracción de su núcleo atómico, sino que debido a la interacción antes descrita, existirán fuerzas de atracción y repulsión debido a la cercanía de otros átomos además de fuerzas debido al movimiento de electrones dentro de la base cristalina; es decir, la energía que poseen los electrones dentro del sólido puede variar considerablemente. A los electrones cuya energía es menor que la energía de ligadura al núcleo, se dice que se encuentran en un rango energético llamado: *banda de valencia*; mientras que los que tengan una energía superior, se dice que se encuentran en el rango energético denominado: *banda de conducción*.

Si la banda de valencia y la banda de conducción se traslapan, es decir, si no es posible distinguir entre los electrones cuya energía es menor o mayor que la energía de ligadura al núcleo, entonces se tendrán electrones libres capaces de moverse dentro del sólido, y por tanto capaces de transportar la corriente eléctrica. A este tipo de sólidos los conocemos como *conductores*. Sin embargo, si es posible distinguir entre las dos bandas de energía, nos percataremos que no existen electrones que posean un nivel particular de energía ubicado entre la banda de valencia y la de conducción; este nivel de energía se le denomina *GAP o zona prohibida*.

Si el material que constituye al sólido, presenta un GAP amplio, todos los electrones de ubicarán en la zona de valencia y por tanto no será capaz de conducir electricidad y se denominan *aislantes*. Sin embargo, existen materiales cuyo GAP es reducido, y

por tanto, los electrones son capaces de adquirir energía externa y saltar de la banda de valencia a la banda de conducción, a estos materiales se les conoce como *semiconductores*.

### 1.3.1.3. Par electrón-hueco.

Cuando un electrón de valencia adquiere suficiente energía como para poder superar el GAP y pasar a la banda de conducción, deja libre su lugar en la banda de valencia, y este lugar, que anteriormente estaba ocupado por una partícula de carga negativa, adquiere una carga positiva por la vacante que dejó el electrón. Para simplificar el efecto de esta ausencia, se dice que aparece una partícula con carga positiva, y con un movimiento contrario al del electrón en el sólido, a esta partícula imaginaria se le denomina *hueco*. Los semiconductores son materiales cuyos electrones son capaces de saltar de la banda de valencia a la de conducción, creando de esta manera un *par electrón-hueco*; esta es la característica que permite la conducción de electricidad.

### 1.3.2. Células fotovoltaicas.

Los semiconductores extrínsecos contienen impurezas de otros elementos que le proporcionan al semiconductor excedentes de electrones o de huecos; la energía de las aportaciones, generalmente se encuentran en la zona de GAP. Un ejemplo muy representativo de este efecto se presenta en el Silicio. Al adicionar o *dopar* al Silicio con Fósforo, se obtiene un semiconductor extrínseco con exceso de electrones, conocido como *semiconductor tipo N*; mientras que si se adiciona Boro, se obtiene un semiconductor con exceso de huecos, conocido como: *semiconductor tipo P*.

Si se ilumina la superficie de un semiconductor, se genera un proceso de interacción entre radiación electromagnética y el semiconductor. La energía que llega en forma de luz es absorbida por el material, los fotones colisionan con los electrones del semiconductor así como con sus impurezas y estas colisiones proporcionan la suficiente energía como para crear pares electrón-hueco, tanto si su origen está en la banda de valencia como en la impureza, proporcionando energía suficiente como para alcanzar la banda de conducción. En consecuencia aumenta el número de electrones libres que se mueven en la banda de conducción, generándose una diferencia de potencial.

Las *células fotovoltaicas* son los dispositivos capaces de convertir de forma inmediata y directa, la radiación luminosa en electricidad. El fundamento físico de su funcionamiento, es una *unión P-N* que permite el aprovechamiento máximo de la característica de los semiconductores de generar pares electrón-hueco. Esta fabricación no consiste en adherir ambos tipos de semiconductores, sino unirlos de manera que la red cristalina no se interrumpa al pasar de una zona a otra. La existencia de la unión P-N hace posible la existencia de un campo eléctrico interno de N a P que separa los pares electrón-hueco que se generan al hacer incidir luz sobre la unión. Este campo eléctrico dirige los huecos hacia el lado P, lo que provoca la

extracción de electrones del metal de un circuito externo, los cuales son dirigidos hacia el lado N, introduciéndolos al otro extremo del metal conductor, cerrando de esta manera el circuito, estableciendo una corriente eléctrica continua.

### 1.3.2. Módulo o panel fotovoltaico.

La intensidad eléctrica suministrada por una célula es proporcional a su superficie; debido a sus cortas dimensiones es necesario unir varias unidades en serie para conseguir una mayor diferencia de potencial, y en paralelo para obtener mayor intensidad de corriente, de esta manera se obtiene la potencia eléctrica deseada. La unión de las células con un soporte estructural adecuado se denomina *módulo o panel fotovoltaico*.

El aprovechamiento eléctrico de los paneles fotovoltaicos es similar al de las células fotovoltaicas; en paralelo aumentan el amperaje y en serie aumentan la tensión, por lo que el escalamiento de la instalación se realiza hasta satisfacer las necesidades del usuario.

Ver figura 8.

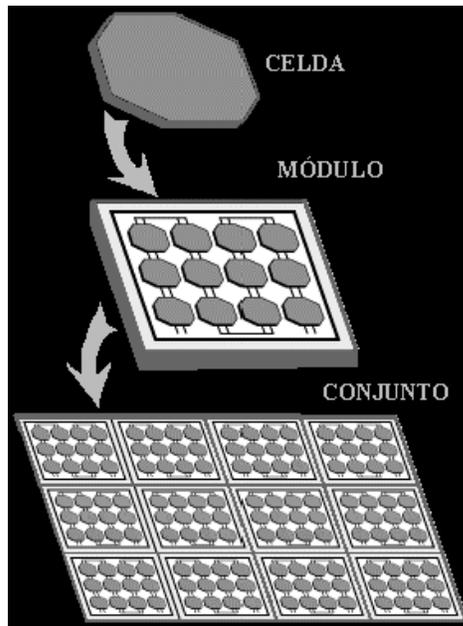


Figura 8. Esquema de un módulo o panel fotovoltaico.

## 2. Energía del viento o eólica.

### 2.1. Recurso eólico.

Históricamente las primeras aplicaciones de la energía eólica, o del viento, fueron la impulsión de navíos, la molienda de granos, el bombeo de agua, y sólo hasta el final del siglo XX, la generación de electricidad.

Los vientos ocurren por diferencias de presión generadas por un calentamiento no uniforme de la atmósfera terrestre, desplazándose grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja. Aproximadamente el 2% del calor del Sol que llega a la Tierra se convierte en viento, pero sólo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada, ya que buena parte de estos vientos ocurre a grandes alturas o sobre los océanos, mar adentro. Además, se requieren condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos. Se considera que vientos con velocidades promedio entre 5.0 y 12.5 m/seg son los aprovechables.

#### 2.1.1. Velocidad del viento.

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada rosa de los vientos.

Para realizar la medida de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que en un principio se pueden clasificar en *anemómetros de rotación* y *anemómetros de presión*.

El anemómetro de rotación más característico es el de Papillon, que es un molino de eje vertical con cazoletas en forma de semiesfera o el de aletas oblicuas de Jules Richard. El anemómetro de presión se basa en el método del tubo de Pitot.

Según sea la velocidad del viento se pueden considerar tres tipos de definiciones:

- Viento instantáneo; se mide la velocidad del viento en un instante determinado.
- Viento medio aeronáutico; se mide la velocidad media durante 2 minutos
- Viento medio meteorológico; se mide la velocidad media durante 10 minutos

Hay que distinguir también entre golpe de viento y ráfagas.

Una ráfaga es un aumento brutal y de corta duración de la velocidad del viento, propio de tormentas y borrascas. El golpe de viento concierne a la velocidad media del viento, cuando sobrepasa los 34 nudos ó 62 km/hora, y es una señal de advertencia, sobre todo para la navegación marítima. Un golpe de viento se corresponde con una velocidad media del viento comprendida entre 75 y 88 km/hora. Las fuentes eólicas más interesantes se encuentran en las costas marinas y en determinados pasos entre montañas; existen zonas en las que se puede disponer de más de 3,000 KWh/m<sup>2</sup> al año.

### 2.1.1.1. Ley exponencial de Hellmann .

La velocidad del viento varía con la altura, siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico (ver Figura 9), conocida como ley exponencial de Hellmann, de la forma:

$$v_h = v_{10} \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha \quad (6)$$

Donde:

- $v_h$  = Velocidad del viento a la altura  $h$ , en m/seg.
- $v_{10}$  = Velocidad del viento a 10 metros de altura, en m/seg.
- $h$  = Altura de interés, en m.
- $\alpha$  = Exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno, y cuyos valores vienen indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores del exponente de Hellmann, en función de la rugosidad del terreno.

Perfil del terreno	Valores de $\alpha$
Lugares llanos con hielo o hierba	0.08 – 0.12
Lugares llanos (mar, costa)	0.14
Terrenos poco accidentados	0.13 – 0.16
Zonas rústicas	0.20
Terrenos accidentados o bosques	0.20 – 0.26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0.25 – 0.40

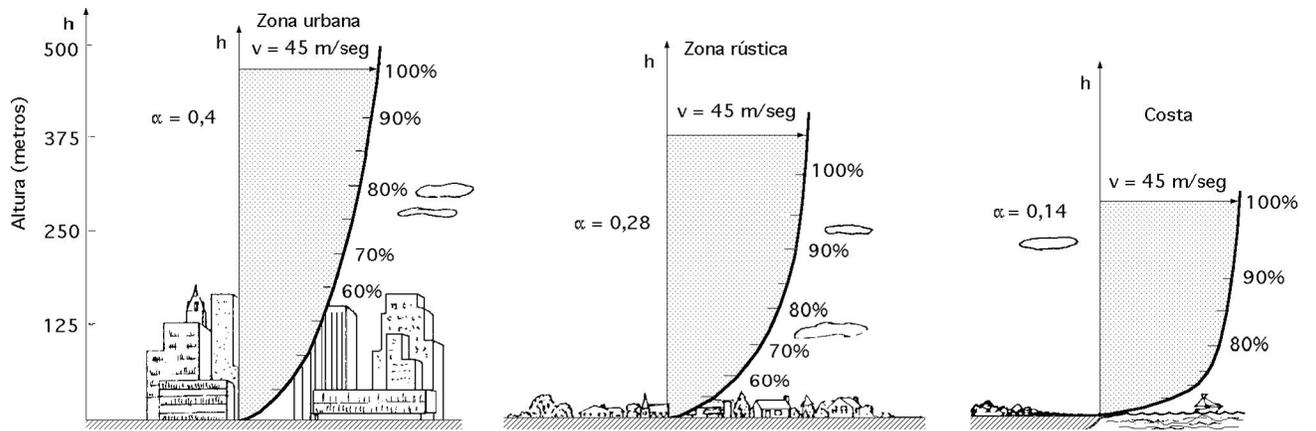


Figura 9. Variación de la velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el terreno, según la ley exponencial de Hellmann.

### 2.1.2. Energía del viento.

El viento contiene energía cinética (de las masas de aire en movimiento) que puede convertirse en energía mecánica o eléctrica por medio de turbinas, las cuales se componen por un arreglo de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie de engranajes ó transmisión, a un generador eléctrico; donde todo el conjunto se soporta en una torre. Ver figura 10.

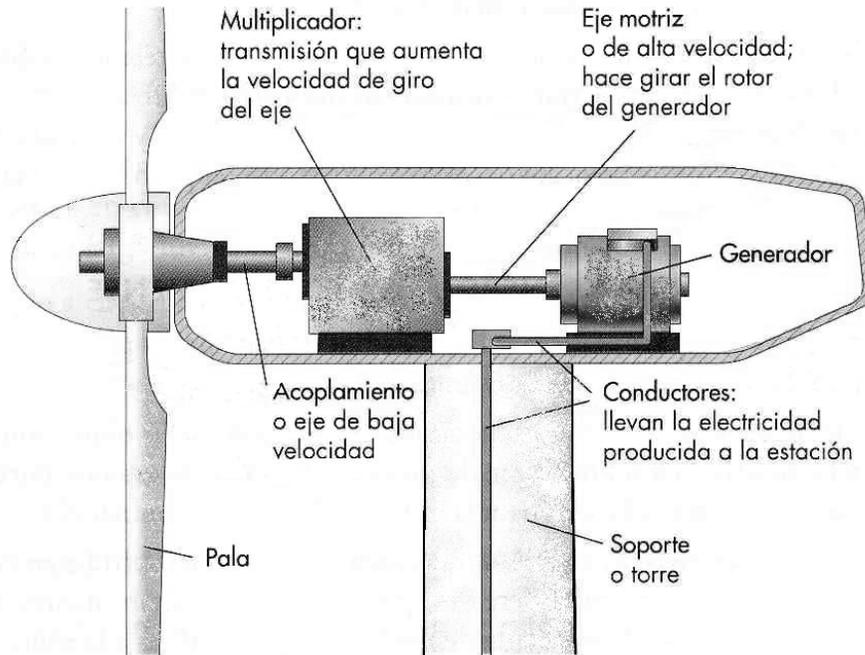


Figura 10. Esquema del interior de un aerogenerador típico con aspas en dirección al viento.

El contenido de energía de un determinado volumen de aire en movimiento, es proporcional al cuadrado de su velocidad; esto es, que si se duplica la velocidad con la cual este volumen de aire pasa a través de una turbina de viento, entonces se cuadruplicará la energía que se puede extraer de este aire:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{7}$$

Donde:

- $E_k$  = Cantidad de energía cinética en una masa de aire en movimiento.
- $m$  = Masa de aire que pasa a través de la turbina eólica.
- $v$  = Velocidad del aire.

Adicionalmente, debido a que la velocidad del aire es doble, entonces también se duplica el volumen del aire que pasa en un determinado momento por la turbina, resultando en un incremento de ocho veces la potencia generada; por lo que la cantidad de energía entregada por el viento es proporcional al cubo de su velocidad:

$$P \propto v^3 \quad (8)$$

Donde:

$P$  = Potencia entregada por una masa de aire.  
 $v$  = Velocidad del aire.

Lo cual significa que un ligero incremento en la velocidad del viento puede traducirse en ganancias significativas en la producción de energía. Si suponemos un área de captación barrida por las palas, perpendicular a la dirección del viento, el flujo de aire circulante que la atraviesa será:

$$m = \delta A v \quad (9)$$

Donde:

$m$  = Masa de aire que pasa a través de la turbina eólica, en kg/seg.  
 $A$  = Área de captación de la turbina eólica, en  $m^2$ .  
 $\delta$  = Densidad del aire, en  $kg/m^3$ .  
 $v$  = Velocidad del aire, en m/seg.

Como la velocidad del viento, luego de atravesar la superficie de captación, no es nula, la potencia dada por la expresión (8), no será totalmente aprovechable. Betz demostró que la máxima energía recuperable, con un aerogenerador ideal, es igual a  $16/27$  ( $\approx 60\%$ ) de la energía total. Tomando en cuenta que ningún rotor es ideal, para caracterizarlo es necesario conocer su eficiencia o rendimiento ( $\eta$ ). La potencia obtenible por unidad de área de rotor, puede expresarse como:

$$P_a = \frac{1}{2} \eta \delta v^3 \quad (10)$$

Donde:

$P_a$  = Potencia obtenible por unidad de área, en  $W/m^2$ .  
 $\eta$  = Eficiencia o rendimiento de la turbina eólica.

Por lo que la potencia total para el área descrita por las palas al girar, queda como:

$$P_t = \frac{1}{2} \eta \delta \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) v^3 \quad (11)$$

Donde:

$P_t$  = Potencia total para el área barrida por las palas, en  $W/m^2$ .

$\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)$  = Área barrida por las palas, en  $m^2$ .

$d$  = Diámetro del rotor, en m.

La densidad media del aire es de  $1.25 \text{ kg/m}^3$ , valor que multiplicado por  $\pi/4$  da aproximadamente 1. Por lo tanto, podemos expresar la potencia obtenible de una máquina eólica, tomando el diámetro en metros y la velocidad en metros por segundo, como:

$$P \approx \frac{1}{2} \eta v^3 \quad (12)$$

El rendimiento  $\eta$  depende del tipo de máquina y de las condiciones de operación. Los rendimientos típicos de diversos tipos de rotores eólicos, están referidos a la relación entre la velocidad de la punta de las palas en los rotores de eje horizontal o del punto más alejado del eje de rotación en el caso de los rotores de eje vertical y la velocidad del viento. Conociendo las características de una turbina eólica y la velocidad del viento en un instante dado, es sencillo determinar la potencia útil.

## 2.2. Aplicaciones y tecnologías.

### 2.2.1. Tipos de máquinas eólicas.

Desde los comienzos de la utilización de la energía eólica se han desarrollado gran cantidad de máquinas de los tipos más variados. Se acostumbra clasificar las máquinas eólicas según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento, pudiéndolos dividir en dos categorías principales:

-Molinos de eje horizontal: máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento.

-Molinos de eje vertical: máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la superficie terrestre y a la dirección del viento.

Existen otros tipos, como los molinos de eje horizontal perpendicular a la dirección del viento, o los que utilizan el desplazamiento de un móvil.

#### 2.1.1.1. Molinos de eje horizontal.

Los molinos de eje horizontal son los más difundidos y los que han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión. En su gran mayoría, la conversión de la energía disponible en el eje del rotor en otra forma de energía, se realiza mediante dispositivos ubicados sobre una torre. Tal es el caso de las turbinas eólicas destinadas

a la producción de electricidad donde el generador eléctrico, acoplado al eje del rotor a través de un multiplicador, está localizado en la góndola o cabina.

Las denominadas máquinas rápidas, con palas de perfil aerodinámico y casi exclusivamente empleadas para generación de electricidad, tienen rotores de 1 a 3 palas que, según los diseños, están ubicados a popa (sotavento) o a proa (barlovento) de la góndola. Los rotores con palas a popa en principio no requieren de sistemas de orientación pues las fuerzas en juego tienden a orientarlo naturalmente, aunque en máquinas de gran tamaño se prefiere emplearlos para evitar los cambios bruscos de dirección que someterían las palas a vibraciones perjudiciales. En el caso de palas a proa los sistemas de orientación son imprescindibles; en molinos pequeños se emplean los timones de orientación, pero en los grandes se prefieren los servomecanismos.

Existen diferentes modos de prevenir aumentos descontrolados de la velocidad de rotación del rotor en presencia de vientos fuertes, o de regularla ante condiciones variables de la carga. Ellos van desde el cambio de paso, o "calaje" de las palas, la utilización de "flaps" que se abren y aumentan la resistencia al viento, hasta dispositivos que desplazan el rotor de su orientación ideal logrando que aumenten las pérdidas aerodinámicas. Prácticamente todas las máquinas disponen de dispositivos de frenado para poder detenerlas bajo condiciones extremas de viento o efectuar reparaciones. En las máquinas relativamente pequeñas a veces se evitan estos mecanismos pues resulta más barato diseñarlas para soportar los máximos vientos pronosticados, que adicionar sistemas de frenado.

Los rotores multipala, tipo americano, tienen por uso casi excluyente el bombeo de agua. Su alto par de arranque y su relativo bajo costo los hace muy aptos para accionar bombas de pistón.

Ver Figura 11.

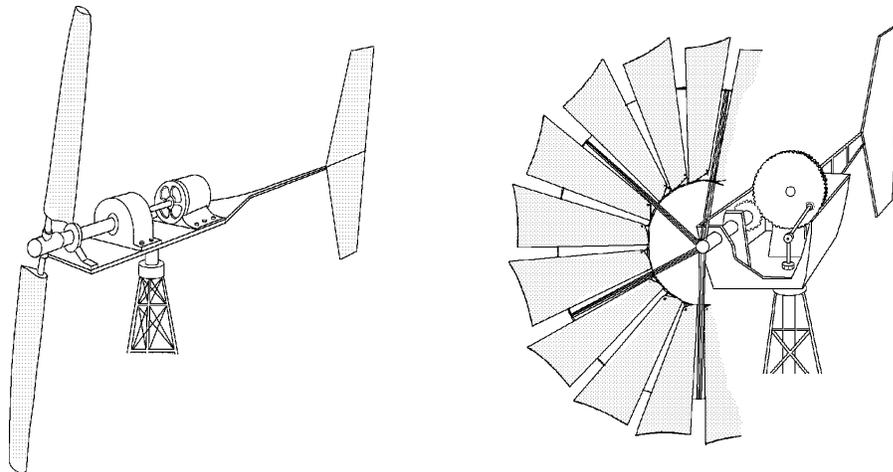


Figura 11. Molinos de eje horizontal: de hélice a barlovento y multipala.

### 2.1.1.2. Molinos de eje vertical.

La característica principal de los molinos de eje vertical es que no requieren de sistemas de orientación. Ventaja nada despreciable pues evita complejos mecanismos de direccionamiento y elimina los esfuerzos a que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor. Por su disposición permite colocar los sistemas de conversión prácticamente a nivel de suelo, evitando pesadas cargas en las torres, como ocurre en los de eje horizontal. Existen dos diseños básicos de rotores de eje vertical: Savonius y Darrieus.

El rotor Savonius trabaja esencialmente por arrastre, tiene un alto par de arranque pero su eficiencia es pobre. Por su sencillez y bajo costo es fácil de construir con técnicas artesanales. Se los emplea en aplicaciones que requieren potencias pequeñas como es el caso de los extractores de aire en grandes edificios industriales o depósitos y en bombeo de agua.

Los rotores Darrieus, inventados por G.J.M.Darrieus en Francia en la década del 20, son actualmente los principales competidores de los de eje horizontal de palas aerodinámicas para la generación de electricidad. Las fuerzas dominantes son las de sustentación, tienen un par de arranque prácticamente nulo, pero entregan potencias altas por unidad de peso del rotor y por unidad de costo. El diseño original de palas curvadas a dado origen a otras configuraciones, tratando de mejorar algunas características constructivas u operacionales. Tal es el caso de la combinación con rotores Savonius para aumentar el par de arranque. Ver Figura 12.

Se han concebido y ensayado otros tipos de máquinas eólicas de eje vertical. Tal es el caso de las torres de vórtice, en las que se induce una circulación de aire, por el interior de una torre hueca, que succiona aire exterior haciéndolo pasar a través de una turbina ubicada en la base. Un esquema similar siguen las torres en donde el flujo de aire es inducido por calentamiento con energía solar.

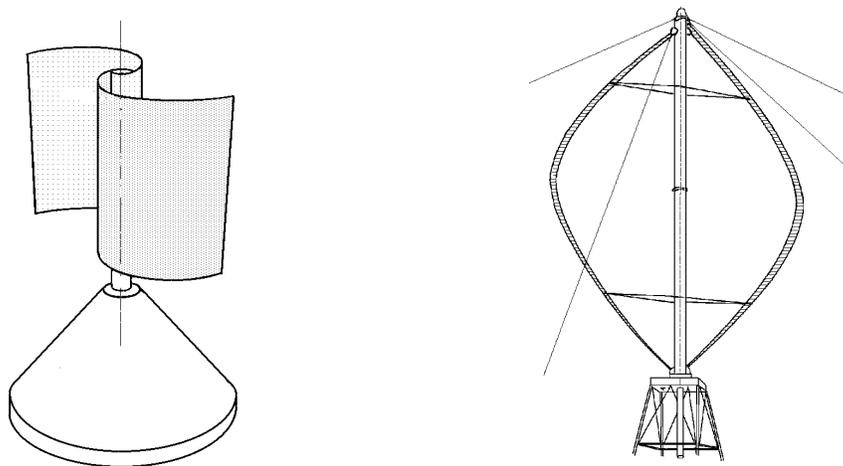


Figura 12. Molinos de eje vertical: Rotor Savonius y aerogenerador Darrieux.

### 2.2.2. Aplicaciones de las máquinas eólicas.

La energía captada por el rotor de una máquina eólica se transforma inicialmente en energía mecánica disponible en un movimiento rotativo. Este movimiento puede utilizarse para impulsar dispositivos que la transformen en otras formas de energía: mecánica, eléctrica, térmica o potencial. Las aplicaciones más efectivas serán aquellas en las que se llega al uso final de la energía con el menor número de transformaciones.

En términos generales, las aplicaciones de las máquinas eólicas pueden subdividirse en dos grandes grupos según el tipo de energía a obtener: energía mecánica o energía eléctrica. Este último admite, según el servicio a prestar, tres clasificaciones bien diferenciadas: instalaciones aisladas o remotas, sistemas híbridos diesel-eólicos y sistemas interconectados a las redes de distribución de energía eléctrica.

Cada una de estas aplicaciones tiene características particulares que condicionan tanto el tipo de máquina a utilizar como sus sistemas auxiliares. Ver Figura 13.

En lo que respecta a capacidad instalada, México cuenta con la central eólica de La Ventosa, Oaxaca; operada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con una capacidad instalada de 1.5 MW, además de una capacidad adicional en aerogeneradores y aerobombas, las cuales en conjunto, según el Balance Nacional de Energía 2007, resulta ser de alrededor de 2.4 MW.

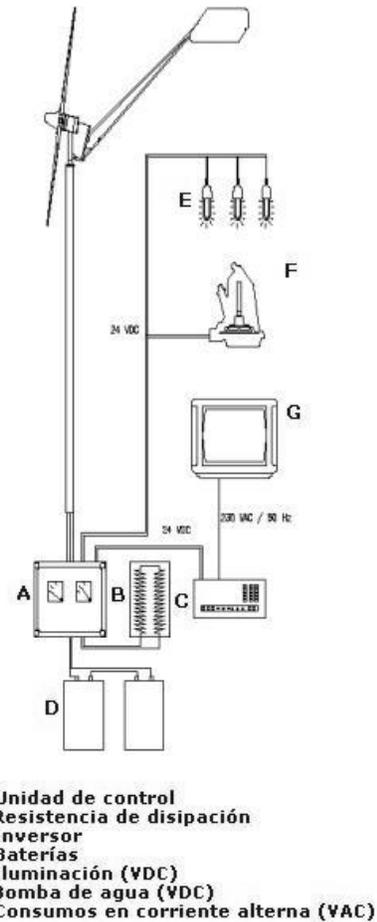


Figura 13. Esquema de un sistema de generación eolo-eléctrica interconectado a una red doméstica.

### 3. Hidráulica.

La energía que llega del sol da lugar, entre otros fenómenos, a la evaporación del agua contenida sobre su superficie, principalmente en los océanos. Esta humedad se acumula en nubes que viajan largas distancias y se deposita en forma de lluvia sobre montañas, muchas alejadas del mar. El agua, acumulada en corrientes y por gravedad, busca de nuevo el mar, formando ríos. Este caudal, que se puede manifestar en grandes caídas o en muchas corrientes, es la fuente de la energía hidroeléctrica. La hidroenergía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad.

Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como la molienda de granos, los aserraderos o simplemente como fuerza mecánica.

En muchos casos, esta energía se deposita en forma potencial en embalses y se transforma en energía aprovechable al desplazarse hacia niveles inferiores. El agua en movimiento empuja dispositivos giratorios, comúnmente denominados: turbinas hidráulicas que la convierten en energía mecánica, o para mover generadores de electricidad.

#### 3.1. Hidroeléctricas.

La generación de energía eléctrica puede realizarse de diversas formas, siendo una de ellas mediante el flujo de corrientes de agua en zonas donde existe tal líquido de manera abundante. Normalmente, las centrales hidroeléctricas requieren de poco mantenimiento, al menos comparadas con otras centrales de generación y la contaminación es nula.

##### *3.1.1. Criterios de diseño y selección de turbinas hidráulicas.*

Los criterios de diseño para las centrales hidroeléctricas y la selección del tipo de turbina idónea para cada aprovechamiento específico dependen de múltiples factores técnicos y económicos.

Por regla general este tratamiento individual se reserva sólo para centrales muy grandes. En la determinación del número y tamaño de las unidades para un proyecto dado deben analizarse los siguientes aspectos:

- Cuenca del recurso, pluviosidad, hidrología y caudales garantizados, es decir, el agua disponible, su distribución a lo largo del año y la subordinación de la entrega del agua y del régimen de operación.
- Regulación, obras de toma, uso final del agua, embalses reguladores de aguas abajo.
- Geología, topografía y la carga hidráulica disponible.
- Racionalidad, uso de recursos y materiales locales, economía y optimización.

- La mayor integración nacional posible de la inversión en su conjunto.
- Características del servicio, tales como entrega posible a la red del sistema eléctrico, o si es aislado o en paralelo a otra hidroeléctrica; dimensiones y características de la curva de demanda de la carga eléctrica conectada; etc.
- Criterios económicos.
- Criterios externos, tales como lo referente al impacto social, político y ambiental.

Comercialmente, estos análisis presentan criterios de selección preliminar de las turbinas, sobre la base de la carga hidráulica y el caudal disponibles. Para cada rango de cargas y caudales se clasifica el tipo o los tipos de turbinas a seleccionar preliminarmente para su acoplamiento.

### *3.1.2. Clasificación de turbinas hidráulicas.*

Una turbomáquina elemental o monocelular tiene, básicamente, una serie de álabes fijos, (distribuidor), y otra de álabes móviles, (rodete). La asociación de un órgano fijo y una rueda móvil constituye una célula; una turbomáquina monocelular se compone de tres órganos diferentes que el fluido va atravesando sucesivamente, el distribuidor, el rodete y el difusor.

El distribuidor y el difusor (tubo de aspiración), forman parte del estator de la máquina, así como el rodete está siempre presente, el distribuidor y el difusor pueden ser en determinadas turbinas, inexistentes.

El distribuidor es un elemento fijo cuyo objetivo es dirigir el agua, desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada en el rodete, distribuyéndola alrededor del mismo, (turbinas de admisión total), o a una parte, (turbinas de admisión parcial), desde cerrar el paso totalmente, hasta lograr el caudal máximo. Es también un órgano que transforma la energía de presión en energía de velocidad; en las turbinas hélico-centrípetas y en las axiales está precedido de una cámara con forma de espiral (voluta) que conduce el agua desde la sección de entrada, asegurando un reparto simétrico de la misma en la superficie de entrada del distribuidor.

El rodete es el elemento esencial de la turbina, estando provisto de álabes en los que tiene lugar el intercambio de energía entre el agua y la máquina. Atendiendo a que la presión varíe o no en el rodete, las turbinas se clasifican en:

- a) Turbinas de acción o impulsión
- b) Turbinas de reacción o sobrepresión

En las turbinas de acción el agua sale del distribuidor a la presión atmosférica, y llega al rodete con la misma presión; en estas turbinas, toda la energía potencial del salto se transmite al rodete en forma de energía cinética.

En las turbinas de reacción el agua sale del distribuidor con una cierta presión que va disminuyendo a medida que el agua atraviesa los álabes del rodete, de forma que, a la salida, la presión puede ser nula o incluso negativa; en estas turbinas el agua circula a presión en el distribuidor y en el rodete y, por lo tanto, la energía potencial del salto se transforma, una parte, en energía cinética, y la otra, en energía de presión.

El difusor o tubo de aspiración, es un conducto por el que desagua el agua, generalmente con ensanchamiento progresivo, recto o acodado, que sale del rodete y la conduce hasta el canal de fuga, permitiendo recuperar parte de la energía cinética a la salida del rodete para lo cual debe ensancharse; si por razones de explotación el rodete está instalado a una cierta altura por encima del canal de fuga, un simple difusor cilíndrico permite su recuperación, que de otra forma se perdería. Si la turbina no posee tubo de aspiración, se la llama de escape libre

En las turbinas de acción, el empuje y la acción del agua, coinciden, mientras que en las turbinas de reacción, el empuje y la acción del agua son opuestos. Este empuje es consecuencia de la diferencia de velocidades entre la entrada y la salida del agua en el rodete, según la proyección de la misma sobre la perpendicular al eje de giro.

Atendiendo a la dirección de entrada del agua en las turbinas, éstas pueden clasificarse en:

- a) Axiales.- el agua entra paralelamente al eje, (Kaplan, hélice, Bulbo),
- b) Radiales (centrípetas y centrífugas).- las radiales, el agua entra perpendicularmente al eje, siendo centrífugas cuando el agua vaya de dentro hacia afuera, y centrípetas, cuando el agua vaya de afuera hacia adentro, (Francis).
- c) Mixtas.- se tiene una combinación de las anteriores.
- d) Tangenciales.- el agua entra lateral o tangencialmente (Pelton) contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda.

Ver Figura 14.

Atendiendo a la disposición del eje de giro, se pueden clasificar en:

- a) Turbinas de eje horizontal
- b) Turbinas de eje vertical.

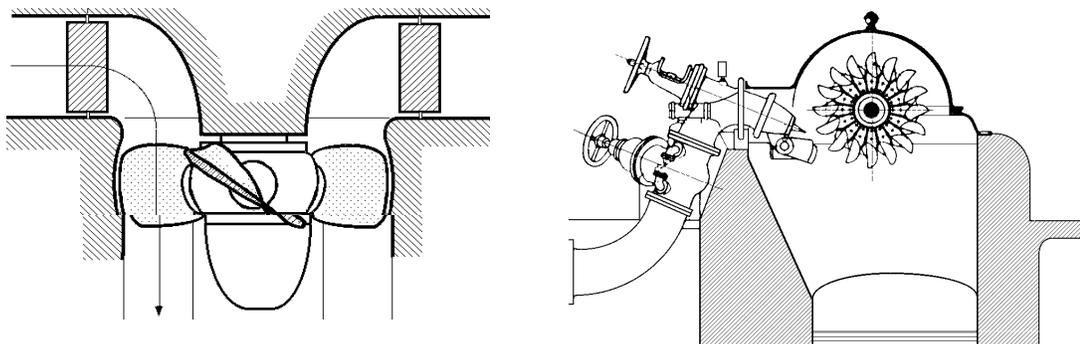


Figura 14. Rodete de una turbina Kaplan y el esquema de una turbina Pelton.

### 3.2. Minihidráulica.

Respecto a la clasificación de las pequeñas centrales, aun no existe una convención mundial aceptada respecto a nombres y rangos de potencia en este tipo de centrales de generación. En algunos países una “pequeña central” puede ser aquella cuya potencia instalada no rebase los 10 MW, en algunos otros esta denominación es para centrales de no más de 2 ó 5 MW. Otras denominaciones son “mini” y “micro” centrales, para designar las que tienen un megawatt o menos de potencia. En este trabajo se utilizará la siguiente convención con el fin de estar acorde con la terminología utilizada en la nueva Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en México, en donde se menciona que un “pequeño productor” será aquel que instale en una central una potencia no mayor a 30 MW.

Tabla 3. Clasificación de centrales de generación eléctrica según la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, México.

Tipo de central	Capacidad (MW)
Microcentral	menos de 1
Minicentral	de 1 a menos de 5
Pequeña central	de 5 a menos de 30

Dentro de las grandes ventajas de sistemas de generación de este tipo están:

- a) El uso de un recurso renovable como fuente de energía
- b) La conservación de combustóleo.
- c) La no emisión de gases invernadero como el CO<sub>2</sub>.

Adicionalmente, se han logrado avances importantes para abaratar los materiales y equipos utilizados en la construcción y montaje de estas plantas de tal manera que esta forma de producir electricidad resulta cada vez más conveniente para aquellos productores catalogados como “autoabastecedores”.

### 4. Biomasa.

La biomasa está constituida por la materia orgánica creada por fotosíntesis y sus derivados, contenida en el conjunto de organismos y residuos de una comunidad o de un ecosistema. El término de biomasa abarca tanto la biomasa vegetal o fitomasa, la biomasa animal o zoomasa como los residuos orgánicos de ecosistemas naturales o antrópicos. Es decir, abarca también la materia orgánica contenida en los residuos industriales, domésticos y municipales.

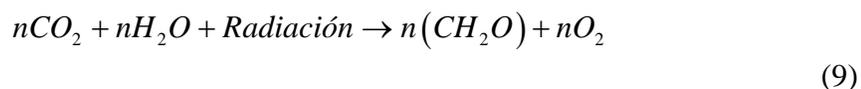
La biomasa presenta una característica esencial: la productividad, que equivale a la cantidad de materia viva producida en un lapso de tiempo. Esta productividad está representada por la productividad primaria o producción de los organismos autótrofos (organismos capaces de producir su propio alimento) y la productividad secundaria o producción de los organismos heterótrofos (organismos que no son capaces de producir su alimento; se denominan también organismos consumidores).

Como organismos autótrofos se identifican las plantas verdes, las algas y algunas bacterias, capaces de producir hidratos de carbono mediante la utilización de la energía solar. Es importante distinguir en esta productividad, la que corresponde a la productividad bruta (PB) y aquella que corresponde a la productividad neta (PN); siendo la primera, la productividad total fotosintética y la segunda la productividad neta disminuida por las pérdidas ocasionadas por el proceso de la respiración de los organismos autótrofos. Esto significa que la productividad neta (PN) se expresa como la variación de peso o su equivalente energético, por unidad de área y por unidad de tiempo.

El proceso de la producción biológica neta primaria corresponde a un proceso de intercambio de gases, el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>), mediante la interacción de dos fenómenos biológicos complementarios, la fotosíntesis y la respiración. Estos intercambios de gases corresponden a procesos de construcción por reducción y carbonización para la fotosíntesis y a una degradación por oxidación y descarbonización, para la respiración. Estos dos procesos son los responsables del mantenimiento de la vida en el Planeta.

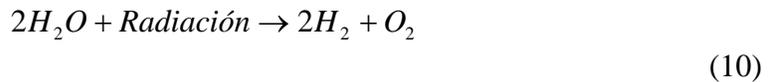
Como la fotosíntesis es el fundamento básico para la productividad es importante tener un mayor conocimiento de la misma. Esta se constituye en una síntesis química que realizan las plantas para crear la materia orgánica (biomasa primaria neta) utilizando anhídrido carbónico y agua a través de una reacción bioquímica catalizada por medio de la energía solar.

La reacción global, que se presenta dentro de ciertas estructuras celulares de las plantas verdes, presenta la siguiente ecuación:



Dentro de ésta ecuación se combina el anhídrido carbónico y el agua para formar los hidratos de carbono y liberar el oxígeno. El anhídrido carbónico es extraído del aire, el cual se encuentra en una concentración de 0.03% (300 volúmenes por millón), liberándose oxígeno en una cantidad de una molécula por cada molécula de CO<sub>2</sub> absorbida. Se ha estudiado el camino seguido por los componentes de la reacción de la fotosíntesis, utilizando átomos etiquetados radiactivamente, habiéndose identificado que el oxígeno liberado en el proceso de la fotosíntesis procede exclusivamente del agua y no del anhídrido carbónico.

Esto ha permitido identificar que el núcleo del proceso fotosintético lo constituye la diálisis de la molécula de agua:

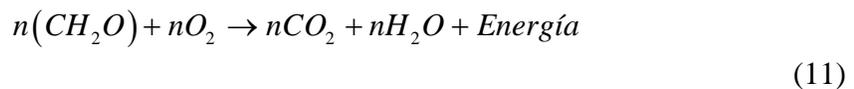


El hidrato de carbono más simple lo constituye la glucosa (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), concentrándose ésta en todas las plantas en diferentes proporciones. Otros hidratos de carbono son moléculas mucho más elaboradas como las grasas y las proteínas, las cuales también se presentan en todas las plantas.

Para generar un kilogramo de carbohidratos mediante fotosíntesis es necesario utilizar 2.123 kg de sustancias de las cuales el 69% corresponde a anhídrido carbónico (1,466 kg) y el 31% a agua (0.660 Kg). La reacción es catalizada por una energía equivalente a 3.741 kcal. Al producirse un kilogramo de carbohidratos se obtienen también 1.066 kg de oxígeno.

La reacción fotosintética se da en dos etapas. En la primera, conocida como “luminosa”, se absorbe energía solar; en la segunda etapa, conocida como “oscura”, se fija el carbono. En la primera etapa los pigmentos llamados clorofila\* absorben energía de la luz solar y se crea una pequeñísima corriente eléctrica que convierte la energía en dos compuestos químicos de alto contenido energético, el ATP (Trifosfato de Adenosina) y el NADPH (Fosfato de Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido). Las reacciones oscuras utilizan la energía contenida en el ATP y el NADPH para llevar a cabo las reacciones que forman compuestos orgánicos como azúcares y almidones a partir de moléculas de dióxido de carbono y agua.

La fotosíntesis está asociada con la respiración, en un proceso inverso; es decir, esta última oxida parte de los hidratos de carbono producidos por la planta, para liberar anhídrido carbónico, agua y energía. La reacción es del tipo:



Esta reacción, conocida como el proceso de la respiración se realiza en condiciones de biotemperatura normales, ya que a altas temperaturas, ésta reacción da origen a un proceso de combustión en donde se consumen rápidamente todos los carbohidratos.

La energía liberada en el proceso de la oxidación es algo menor que la energía capturada a través del proceso de fotosíntesis, de modo que se hacen posibles la acumulación de materia orgánica, el crecimiento y la reproducción. Dada la alta radiación que se recibe por metro cuadrado en la superficie de la tierra, particularmente en los trópicos, la energía que se almacena a través de la fotosíntesis

---

\* La clorofila es un pigmento verde capaz de captar la luz solar. Está constituido por moléculas orgánicas que rodean un átomo metálico de magnesio. La clorofila se localiza en los cloroplastos, los cuales son pequeñísimos organelos existentes al interior de algunas de las células de tejidos vegetales. Existen dos tipos principales de clorofila, denominados “a” y “b”, que tienen bandas de absorción de la luz un poco diferentes, lo cual permite la utilización de la mayor parte del espectro de luz visible. Hay otros pigmentos, llamados carotenos y xantofilas, de colores rojo, naranja o amarillo, que absorben longitudes de onda diferentes a la clorofila y que por lo tanto incrementan las posibilidades fotosintéticas de las plantas.

es enorme. En el medio terrestre los principales factores físicos que condicionan la producción fotosintética son el agua y la temperatura. El agua es uno de los productos de la reacción de la fotosíntesis, teniéndose que variaciones en su abundancia relativa influyen en los procesos finales fotosintéticos, ya que condiciones óptimas o deficitarias de agua dentro del organismo vegetal, determinan el grado de apertura de los estomas y por lo tanto, de difusión del agua o de los gases indispensables en el proceso de fotosíntesis.

La temperatura interviene en la fotosíntesis de una forma también variada y compleja, actuando principalmente a nivel de los mecanismos bioquímicos. La temperatura interviene también directamente sobre el potencial hídrico de los vegetales, que determina la apertura o cierre de los estomas y cuyo resultado es la mayor o menor resistencia a la difusión del CO<sub>2</sub> en el ámbito de estas estructuras.

#### 4.1. Leña.

La forma más común de biocombustibles sólidos es la leña, que aún en la actualidad cubre casi 50% de las necesidades energéticas en los países en vías de desarrollo.

El carbón vegetal es otra forma de biocombustible sólido, así como las briquetas y los lechos artificiales que se fabrican aglomerando y comprimiendo astillas y pajas.

También los residuos de las cosechas de granos, trátense de tallos y pajas de trigo, arroz, maíz, etc., que se pueden aprovechar para hacer funcionar pequeñas centrales eléctricas. Es aún tan importante el uso de la leña como energético, que existen plantaciones de árboles de rápido crecimiento, como el eucalipto, que se denominan plantaciones energéticas, cuyo propósito es producir madera para combustible. La madera, según su naturaleza, puede contener entre 4,200 y 5,000 kcal/kg. Esta cantidad de energía no puede ser totalmente utilizada en la práctica. Los rendimientos energéticos típicos oscilan entre 3,500 Kcal/Kg (con humedad del 15%) y 2,200 kcal/kg (con humedad del 50%). Ver Apéndice A.

Los problemas asociados a la utilización de combustibles fósiles y las crisis en los precios del petróleo han conducido al diseño de calderas de tamaño variable para la producción de vapor y de electricidad, contándose hoy con equipos muy eficientes con capacidades entre 500 KW y 150 MW.

#### 4.2. Fermentación.

La fracción glúcida de la biomasa vegetal, por fermentación aeróbica produce etanol y gas carbónico. Esta bioconversión puesta en práctica desde la antigüedad, para la fabricación de bebidas alcohólicas, conoció el primer desarrollo industrial a partir del siglo XIX. El alcohol juega un gran papel en el sector de la alimentación y como materia prima o reactivo de fabricación con muchas industrias químicas (farmacia, perfumería, etc.). Actualmente, el alcohol carburante, aunque tiene un poder calorífico inferior al del petróleo (5,600 kcal/kg frente a las 10,000 kcal/Kg del

petróleo), tiende a tomar un lugar preponderante a causa de los problemas ambientales, de manejo, de precios y a la relativa escasez de los combustibles de origen petroquímico.

La biomasa en la generación de energía eléctrica y térmica tiene un impacto favorable en el desarrollo rural sostenible, particularmente en la creación de fuentes de ingreso y empleo locales. La biomasa plantada es una alternativa promisoría para la rehabilitación y la adecuación de tierras degradadas por la ganadería y la agricultura. Así mismo, la generación de energía a partir de la biomasa tiene estrecha relación con la posibilidad de alcanzar un desarrollo forestal armonizado con el manejo de las aguas, la biodiversidad, los suelos y la atmósfera. La utilización de desechos agrícolas sin o con escaso valor alternativo o de reutilización se constituye en otra gran posibilidad de esta tecnología.

La caña de azúcar, el sorgo dulce, las frutas y la remolacha son los cultivos más fácilmente convertibles en etanol; los azúcares base de la fermentación se obtienen mediante pre-tratamientos suaves tales como prensado, corte o lavado de los cultivos. Los procesos de fermentación tienen una eficiencia de conversión muy alta, ligeramente superior al 85%.

#### 4.3. Biometanación.

En el proceso de biometanación, desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad se alimentan a un recipiente llamado digestor biológico. Por la acción de microorganismos adecuados, la materia orgánica se transforma en biogás (una mezcla de bióxido de carbono y metano, esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciéndose además lodos residuales que se emplean como fertilizantes. La producción de metano se constituye en la bioconversión que mayor interés despierta a escala mundial. La implantación de más de siete millones de digestores en China y cerca de diez mil en la India han sensibilizado en la adopción de este tipo de conversión. La tecnología de la biodegradación de la biomasa logra dos objetivos fundamentales como son: la descontaminación ambiental, al reducir el volumen de los residuos orgánicos rurales y urbanos vertidos a las aguas; la producción de energía calorífica en zonas rurales.

#### 4.4. Biogás de rellenos sanitarios.

El biogás también se produce en rellenos sanitarios, que contienen gran proporción de desechos orgánicos húmedos, y en donde existen las condiciones adecuadas para que proliferen las bacterias anaerobias que al digerir esos desechos producen el metano y el bióxido de carbono en el interior del relleno.

## 5. Geotérmica.

El término geotermia se refiere al calor del interior de la tierra, y significa una fuente de energía alterna a los combustibles fósiles, ambientalmente inocua y económicamente competitiva para emplearse en la generación de electricidad y en otros aprovechamientos directos.

Los yacimientos geotérmicos se encuentran en determinadas partes del subsuelo. Su energía puede extraerse por medio de pozos profundos, a través de los cuales ascienden los fluidos, compuestos generalmente por una mezcla de agua con sales disueltas, o salmuera, y vapor de agua. Ya en la superficie, el vapor puede ser separado de esa mezcla y transportado hacia las centrales de generación, donde mueve los álabes de las turbinas para generar electricidad. La salmuera se conduce hacia lagunas de evaporación o directamente hacia pozos inyectoros, a través de los cuales se regresa al yacimiento con el doble propósito de recargarlo y de prevenir cualquier contaminación a los acuíferos someros. En algunos casos, los yacimientos están compuestos únicamente de vapor de agua.

Un yacimiento geotérmico típico se compone de una fuente de calor, un acuífero y la llamada capa sello. La fuente de calor es una cámara magmática en proceso de enfriamiento con temperaturas todavía elevadas, de unos 500° C o más. El acuífero es cualquier formación litológica con la permeabilidad primaria o secundaria suficiente para alojar agua meteórica percolada desde la superficie o desde acuíferos menos profundos. La capa sello es otra formación rocosa, o parte de ella, con una permeabilidad menor que la del acuífero, y cuya función es impedir que los fluidos geotérmicos se disipen totalmente en la superficie. Ver figura 15. Si se tiene el cuidado de extraer una masa de fluidos equivalente a la que se recarga en el yacimiento, sea por medios naturales o artificiales, el recurso es renovable para todo efecto práctico, ya que aunque la cámara magmática terminará por enfriarse, el proceso le tomará probablemente algunos miles de años.

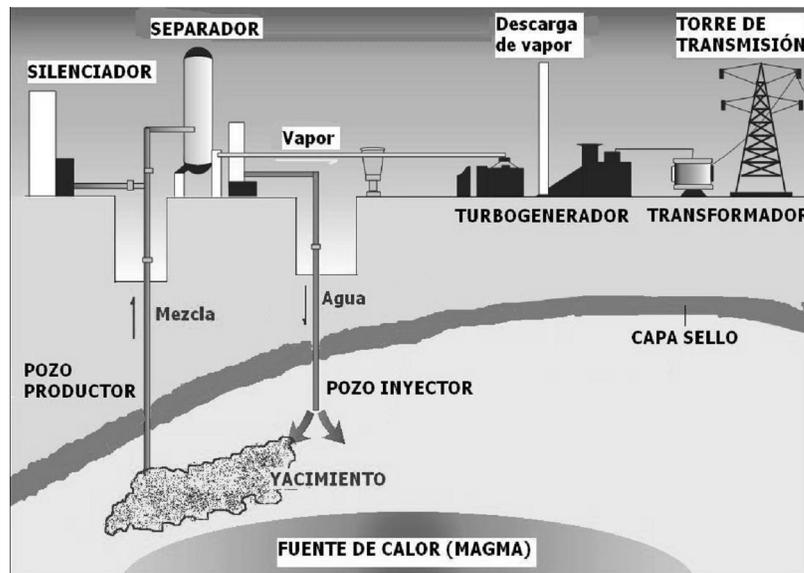


Figura 15. Esquema de un pozo geotérmico.

El elemento clave del yacimiento es la fuente de calor, cuya existencia, a miles de metros de profundidad, sólo puede deducirse a partir de evidencias indirectas que se aprecian en la superficie. Una de tales evidencias es la presencia de volcanes geológicamente jóvenes (menores de un millón de años), puesto que algunos de ellos, particularmente los de composición ácida, suelen estar asociados a cámaras magmáticas no demasiado profundas, capaces de actuar como fuentes de calor.

El vulcanismo, al igual que los sismos, es un fenómeno producido por el movimiento de las placas tectónicas, en las que está fragmentada la capa exterior del planeta. En los límites entre una placa y otra, especialmente donde una de las placas se desliza debajo de otra en un proceso conocido como subducción, son más frecuentes el vulcanismo y la sismicidad, y por lo tanto la presencia de yacimientos geotérmicos.

### 5.1. Generación de electricidad por medio de energía geotérmica.

Las primeras plantas geotermoeléctricas empezaron a funcionar en Italia a principios de la década de los treinta del siglo Veinte, en el campo geotérmico de Larderello, Italia y en México la primera planta de este tipo se instaló en el campo de Pathé, Baja California en 1959. Se trataba de una unidad de 3.5 MW de capacidad, adquirida en Italia, que entró en operación el 20 de noviembre de 1959. Aunque sólo generó una fracción de su capacidad, estuvo operando hasta 1973, año en que fue desmantelada.

Hay varias maneras de generar electricidad con fluidos geotérmicos. La más sencilla de ellas es utilizar unidades a contrapresión, en las que el vapor se descarga directamente a la atmósfera después de que se le hecho pasar por la turbina. Ver Figura 16.

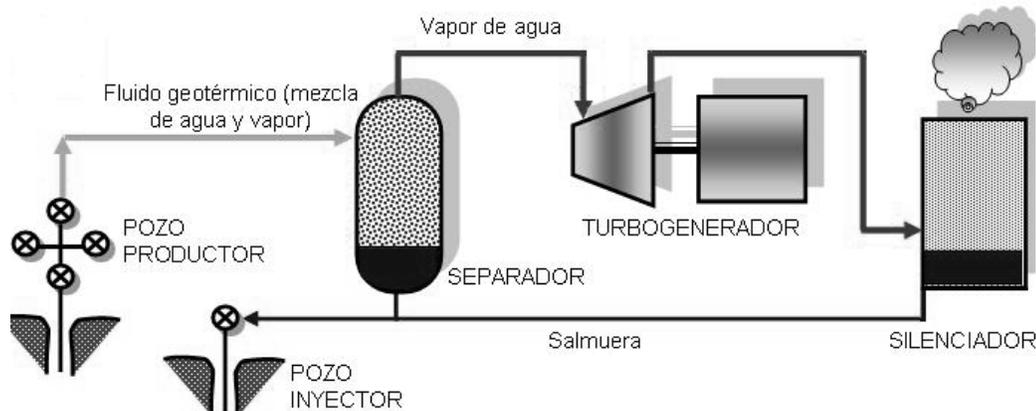


Figura 16. Esquema de generación geotermoeléctrica comercial aprovechable, planta a contrapresión.

Otra manera es emplear una unidad a condensación, en la cual el vapor, después de pasar por la turbina, pasa a un condensador que trabaja a una presión menor que la atmosférica. Ver Figura 17.

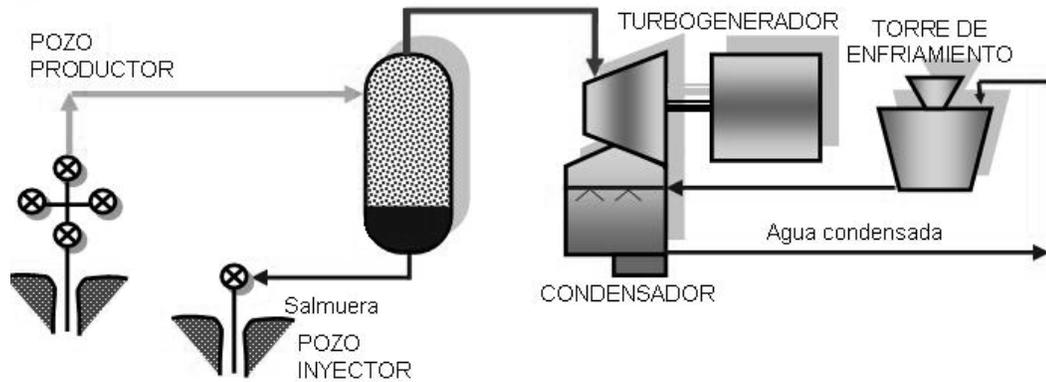


Figura 17. Esquema de generación geotermoeléctrica comercial aprovechable, planta a condensación.

Las unidades a contrapresión son más baratas, ya que carecen de condensador y torre de enfriamiento, pero menos eficientes pues requieren del orden de 12 toneladas de vapor para generar un megawatt-hora (MWh). Las unidades a condensación requieren más inversión pero son más eficientes, ya que necesitan del orden de 8 toneladas por MWh generado.

Un tercer tipo de unidad geotermoeléctrica es la de ciclo binario. En esta se utiliza un intercambiador de calor para que el fluido geotérmico (agua o vapor) caliente a un fluido de trabajo con punto de ebullición inferior al del agua. Es justamente este fluido el que se hace pasar por la turbina siendo posteriormente condensado y vuelto a pasar por el intercambiador, en un proceso cíclico y continuo. Ver Figura 18.

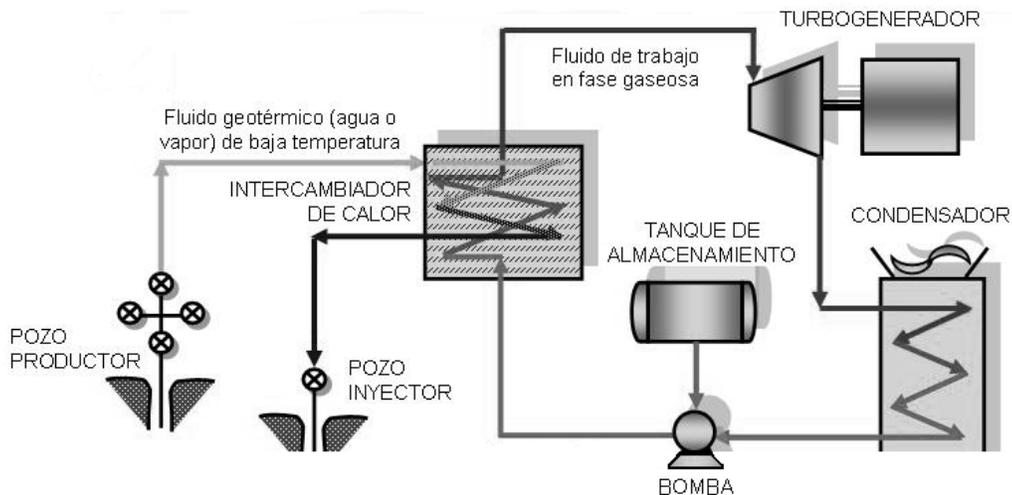


Figura 18. Esquema de generación geotermoeléctrica comercial aprovechable, planta de ciclo binario.

Este arreglo es el más caro, pero permite aprovechar fluidos geotérmicos de temperaturas inferiores que, de otro modo, tal vez no podrían utilizarse para generar electricidad.

Los tres tipos de unidades geotermoeléctricas se emplean rutinariamente para generar energía eléctrica de manera comercial, tanto en México como en el resto del mundo.

## 5.2. Recursos geotérmicos en México.

La capacidad geotermoeléctrica instalada en México es de 958 MW. Representa, menos del 2% del total instalado para el servicio público. Este porcentaje sube ligeramente si se toma en cuenta la generación real de electricidad en lugar de la capacidad instalada.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), organismo público a cargo de la generación, transmisión y comercialización de la energía eléctrica en México, opera cuatro campos geotérmicos a través de su Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG), con sede en Morelia, Michoacán. Esos campos son los de Cerro Prieto, Baja California; Los Azufres, Michoacán; Los Humeros, Puebla; y Las Tres Vírgenes, Baja California Sur. Ver figura 19.

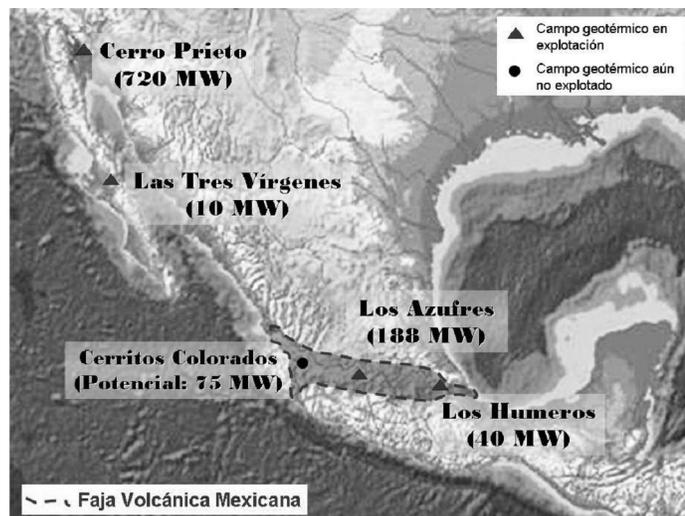


Figura 19. Campos geotérmicos de México.

Durante 2006 se generaron en México 223,018 gigawatts-hora (GWh). La generación geotermoeléctrica en las 37 unidades instaladas en los cuatro campos mencionados fue de 6,685 GWh, lo que significó el 3% del total.

El peso de la geotermia en la generación eléctrica puede parecer irrelevante considerada en el contexto nacional. Pero a nivel local, la generación del campo

geotérmico de Cerro Prieto, por ejemplo, satisface más de la mitad de la demanda de electricidad de la red regional de Baja California, que es una red de transmisión aislada de la red eléctrica nacional.

Por otro lado, la geotermia también puede emplearse en muchos usos directos. Los fluidos geotérmicos de baja temperatura se usan rutinariamente en Estados Unidos y en muchos países europeos para desarrollos turísticos y balnearios de agua caliente, calefacción de viviendas y oficinas, procesos industriales que utilicen agua caliente, invernaderos, secado de madera, deshidratación de frutas y legumbres, y otros. Adicionalmente, las sales que contiene la salmuera geotérmica (por ejemplo el cloruro de potasio) pueden concentrarse en lagunas o estanques especialmente diseñados para ello, y comercializarse con atractivos márgenes de utilidad.

## **6. Energía Oceánica.**

Los océanos producen dos tipos de energía renovable: Térmica, debido al calor que se absorbe de la luz solar; y Mecánica, debido al aprovechamiento de mareas, olas y corrientes oceánicas.

### **6.1. Energía oceánica térmica.**

Los océanos cubren 70% del planeta Tierra, y son los más grandes colectores de energía y calor solar. Sólo una pequeña parte del calor atrapado en los océanos, podría suministrar energía a buena parte del mundo. El calor del sol es mayor en la superficie que en las profundidades de los océanos. Esta diferencia entre temperaturas genera la energía térmica. Este proceso utiliza la energía calorífica almacenada en los océanos del planeta para generar electricidad. Este proceso es más eficiente cuando la diferencia entre las temperaturas del agua superficial, que es más tibia, y el agua de las profundidades, que es más fría, oscila alrededor de los 20 °C. Estas condiciones de diferencia entre temperaturas, se presenta fundamentalmente en áreas costeras tropicales, entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio. A fin de elevar el agua fría de las profundidades oceánicas, para crear diferencia entre temperaturas, se requieren grandes bombas con tubería de gran diámetro, las cuales quedan, generalmente, sumergidas a profundidades oceánicas mayores a los 1500 metros.

### **6.2. Energía oceánica mecánica.**

La energía mecánica en los océanos es muy diferente a la energía térmica oceánica. Aún cuando el sol influye en todas las actividades oceánicas, las mareas son ocasionadas por la fuerza gravitacional de la luna, y las olas se forman principalmente por los vientos.

### *6.2.1. Energía de las mareas.*

En todas las regiones costeras se presentan dos mareas altas y dos mareas bajas en un período un poco mayor a 24 horas. La energía de las mareas puede convertirse en electricidad cuando la diferencia entre marea alta y baja es de al menos cinco metros. Existen solamente alrededor de 40 regiones en el planeta donde se presenta esa diferencia en la magnitud de las mareas. Es posible también utilizar turbinas para aprovechar la energía de las mareas. Las turbinas son colocadas bajo el agua en los océanos, las corrientes oceánicas pasan a través de ellas y las hacen girar. Algunas corrientes cuya velocidad es de entre 5 y 8 nudos, pueden generar más energía que los molinos de viento (energía eólica) de alta capacidad. Esto es debido a que la densidad del agua de mar es mucho mayor que la del aire. De tal manera, las corrientes oceánicas llevan más energía que el viento.

### *6.2.2. Energía de las olas.*

Diversos dispositivos extraen directamente energía de las olas superficiales, ó de las fluctuaciones de presión bajo la superficie oceánica. La energía de las olas puede ser aprovechada, ya sea mediante sistemas oceánicos ó costeros.

#### *6.2.2.1. Sistemas oceánicos.*

Los sistemas oceánicos se instalan generalmente a una profundidad mayor a 40 metros. Estos sistemas emplean sofisticados mecanismos que aprovechan el movimiento de las olas para activar una bomba que genera electricidad. Otros sistemas oceánicos usan mangueras conectadas a flotadores que viajan con las olas. El movimiento vertical ascendente y descendente de los flotadores estira y relaja la manguera, lo cual presuriza el agua que hace girar una turbina. Otro ejemplo, son los buques plataforma especialmente diseñados, que pueden también aprovechar la energía de las olas. Estas plataformas flotantes crean electricidad canalizando las olas hacia turbinas internas.

#### *6.2.2.2. Sistemas costeros.*

Los sistemas costeros emplean para extraer energía de las olas. Procedimientos como el de la columna de agua oscilante, que consiste en una estructura de metal ó concreto, sumergida en las costas, la cual tiene una abertura hacia el mar, por debajo de la línea de agua. Esta estructura almacena una columna de aire encima de la columna de agua. Las olas al penetrar en la columna de aire, hacen que la columna de agua ascienda y descienda. Estos dos movimientos alternativos comprimen y despresurizan la columna de aire. Luego, cuando la ola se retira, el aire es expelido a través de la turbina debido a la reducción en la presión del aire.

Otro sistema consiste en un canal angosto, construido en arrecifes. La angostura del canal hace que las olas al llegar al canal aumenten su altura. Las olas se derraman por encima de las paredes del canal y, son captadas en un estanque donde el agua almacenada es utilizada para mover la turbina y activar el generador.

Adicionalmente, el sistema de péndulo consiste en una caja rectangular abierta hacia el océano por uno de sus lados donde una tapa con bisagra es instalada para que mediante la acción de las olas oscile hacia adentro y hacia afuera. El movimiento oscilante de la tapa genera energía que es aprovechada para hacer funcionar un generador eléctrico.

## **7. Combustibles alternativos.**

### **7.1. Biodiesel.**

El biodiesel es un biocombustible líquido producido a partir de los aceites vegetales y grasas animales, siendo la colza, el girasol y la soya las materias primas más utilizadas para este fin. Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior. Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el gasóleo para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adaptan éstos convenientemente.

La definición de biodiesel propuesta por las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Materials) describe como ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión.

En el Apéndice B, se enumeran las especificaciones establecidas para el biodiesel y el método de ensayo correspondiente.

### **7.2. Celdas de combustible.**

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica. Por ejemplo, puede generar electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. Estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan recarga, ya que producirán energía en forma de electricidad y calor en tanto se les provea de combustible. En la práctica, la corrosión y la degradación de materiales y componentes de la celda pueden limitar su vida útil. La manera en que operan es mediante una celda electroquímica consistente en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito. El oxígeno proveniente del aire pasa sobre un electrodo y el hidrógeno gas pasa sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado en el ánodo se oxida y pierde un electrón; al ocurrir esto, el hidrógeno oxidado (ahora en forma de protón) y el electrón toman diferentes caminos migrando hacia el segundo

electrodo llamado cátodo. El hidrógeno lo hará a través del electrolito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor externo (carga). Al final de su camino ambos se vuelven a reunir en el cátodo donde ocurre la reacción de reducción o ganancia de electrones del oxígeno gas para formar agua junto con el hidrógeno oxidado. Así, este proceso produce agua 100% pura, corriente eléctrica y calor útil, por ejemplo, energía térmica. A diferencia de las máquinas de combustión cuya eficiencia está regida por el ciclo de Carnot y limitada por la temperatura, la eficiencia teórica de las celdas de combustible está dada por las leyes de Faraday, que relacionan directamente la corriente producida en una reacción electroquímica con la cantidad de material reactivo, es decir, con la cantidad de combustible. Ver Figura 20.

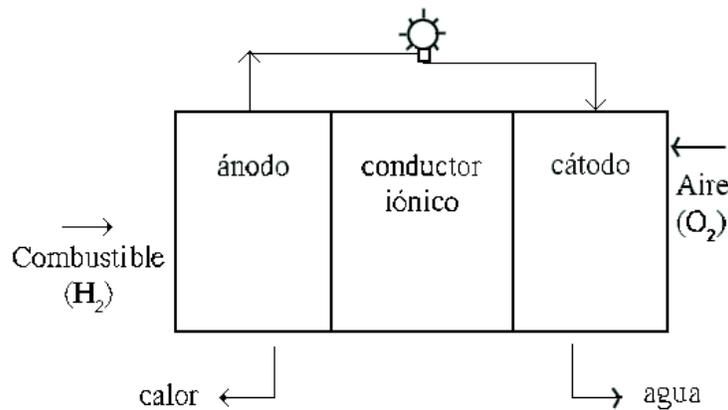


Figura 20. Principio de operación de una celda de combustible.

La mayor ventaja de las celdas de combustible descansa realmente en el hecho de que no están limitadas por la temperatura, lo cual les otorga el gran beneficio de alcanzar altas eficiencias. Así, en teoría, cada molécula de hidrógeno gas producirá dos electrones libres y junto con un átomo de oxígeno reducido se generará una molécula de agua. Tal reacción electroquímica es exotérmica, por lo que además el calor desprendido puede ser utilizado y así aumentar la eficiencia de las celdas de combustible.

Estas características de lograr alta eficiencia durante la generación de electricidad y la ventaja de presentar cero emisiones contaminantes cuando el combustible es hidrógeno hacen de las celdas de combustible los mejores candidatos para la generación de energía eléctrica.

Por otra parte, también ofrecen la posibilidad de utilizar casi cualquier combustible que contenga hidrógeno, aunque hidrocarburos como el gas natural, metanol, etanol, biogás y propano, así como el diesel y la gasolina son los que mayor atención han recibido por razones de tipo práctico.

## **Conclusiones.**

Por características de la energía, utilizadas en este trabajo se entendió la capacidad que estas tienen para renovarse estando por tal razón, disponibles o no para el uso del hombre.

La mayor parte de las fuentes de energía que existen en nuestro planeta son renovables; Irónicamente, la sociedad en conjunto, ha escogido producir cantidades apreciables de energía para de una fuente no renovable: la pequeña porción de energía solar almacenada en los combustibles fósiles. Los combustibles fósiles no son renovables porque provienen de la captura de una fracción muy pequeña de la energía solar que fue absorbida por los organismos vivos presentes en la Tierra hace millones de años y posteriormente almacenada en las capas profundas de la corteza terrestre como carbón, petróleo o gas, en un proceso prácticamente irreplicable. Para acabar de complicar las cosas, el uso de los combustibles fósiles no es usualmente adecuado en términos ambientales ya sea en función del almacenamiento o de su combustión para producir energía utilizable.

El acelerado avance reciente de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables, su consiguiente abaratamiento y la necesidad de cuidar el ambiente han ubicado a las energías renovables como alternativas a ser consideradas en los planes energéticos y ambientales, presentes y futuros, de cualquier país en el mundo. Ya sea para proveer a regiones marginadas el acceso a servicios de energía, para surtir la energía necesaria para servicios municipales, y/o para ser parte integral de los sistemas que los proveen en centros urbanos, las energías renovables deben ser integradas a las estrategias de quienes toman las decisiones a nivel nacional, regional, empresarial y hasta doméstico.

Para que esto ocurra en nuestro país (México), es necesario impulsar el desarrollo tecnológico nacional, adecuar y adoptar los avances tecnológicos internacionales en la materia, y promover la incorporación de éstos en el desarrollo futuro de los sistemas energéticos. Esto implica, entre otras cosas, establecer especificaciones técnicas que aseguren la calidad y rendimiento de dichos sistemas, contar con personal capacitado para el diseño, instalación y mantenimiento de los mismos, y promover empresas con capacidad de servicio en todo el territorio nacional. De esta manera la tecnología local avanzará y podrá competir internacionalmente.

La sociedad y el gobierno mexicanos tienen gran interés en el aprovechamiento de las energías renovables. Esto genera un ambiente favorable para analizar y establecer las bases institucionales y estructurales para su promoción como formas de energía que contribuyan a satisfacer la creciente demanda de energéticos y ayude al establecimiento futuro de esquemas basados en la energía sustentable

## **Bibliografía.**

- 1- AGUIRRE BALCELLS, J.A., Una introducción al estudio de los perfiles aerodinámicos y sus aplicaciones al consumo de energéticos. Volumen I, Edit. LIMUSA, México 1984.
- 2- CÁDIZ DELEITO, J.C., La energía eólica. Tecnología e historia., Edit. Hermann Blume, España, 1984.
- 3- DOMÍNGUEZ GÓMEZ, J.A., Energías alternativas, Edit. Equipo Sirius, S.A., España, 2004.
- 4- MASERA CERUTTI, O., La bioenergía en México. Un catalizador del desarrollo sustentable., CONAFOR, México, 2006.
- 5- RECUERO LÓPEZ, M. (coordinador), Curso en Energías Renovables, Menorca, Islas Baleares, 2001.
- 6- TONDA, J., El oro solar y otras fuentes de energía, La ciencia desde México/119, Fondo de Cultura Económica, México, 1993.

## **Publicaciones.**

- 1- ROMERO ÁLVAREZ, M., Energía Solar Termoeléctrica, Plataforma Solar de Almería-CIEMAT, Tabernas, Almería, España, 2002.
- 2- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Renewables Information 2002., Paris, Francia, 2002.

## **Páginas Web.**

<http://www.crisisenergetica.org/>

<http://www.Posgrado\Energías\Eólica\windweb\en\core.htm>

[http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2003/18mar\\_fuelcell.htm](http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2003/18mar_fuelcell.htm)

<http://www.rpc.com.au/products/windturbines/wind-book/contents.pdf>

<http://www.iie.org.mx/reno99/apli.pdf>

<http://www.aiu.edu/publications/student/spanish/renewable%20energy.htm>

<http://www.rpc.com.au/products/windturbines/wind-book/wind1.pdf>

<http://www.eia.edu.co/sitios/webalumnos/SeleccionTurbinas/turbinas/introducción.htm>

<http://resolver.caltech.edu/CaltechETD:etd-10302003-152006>

<http://www.slideshare.net/TrazoLaser/turbina-elica-tipo-tornado>

<http://exa.unne.edu.ar/postgrado/maestrias/energia/energia/maestria.html>

<http://www.biodieselspain.com/>

[http://www.iae.org.ar/renovables/ren\\_eolica.pdf](http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf)

[http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art90/dic\\_art90.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art90/dic_art90.pdf)

[http://www.bellera.org/molins/aerogeneradors\\_savonius.htm](http://www.bellera.org/molins/aerogeneradors_savonius.htm)

<http://www.conae.gob.mx/wb/>

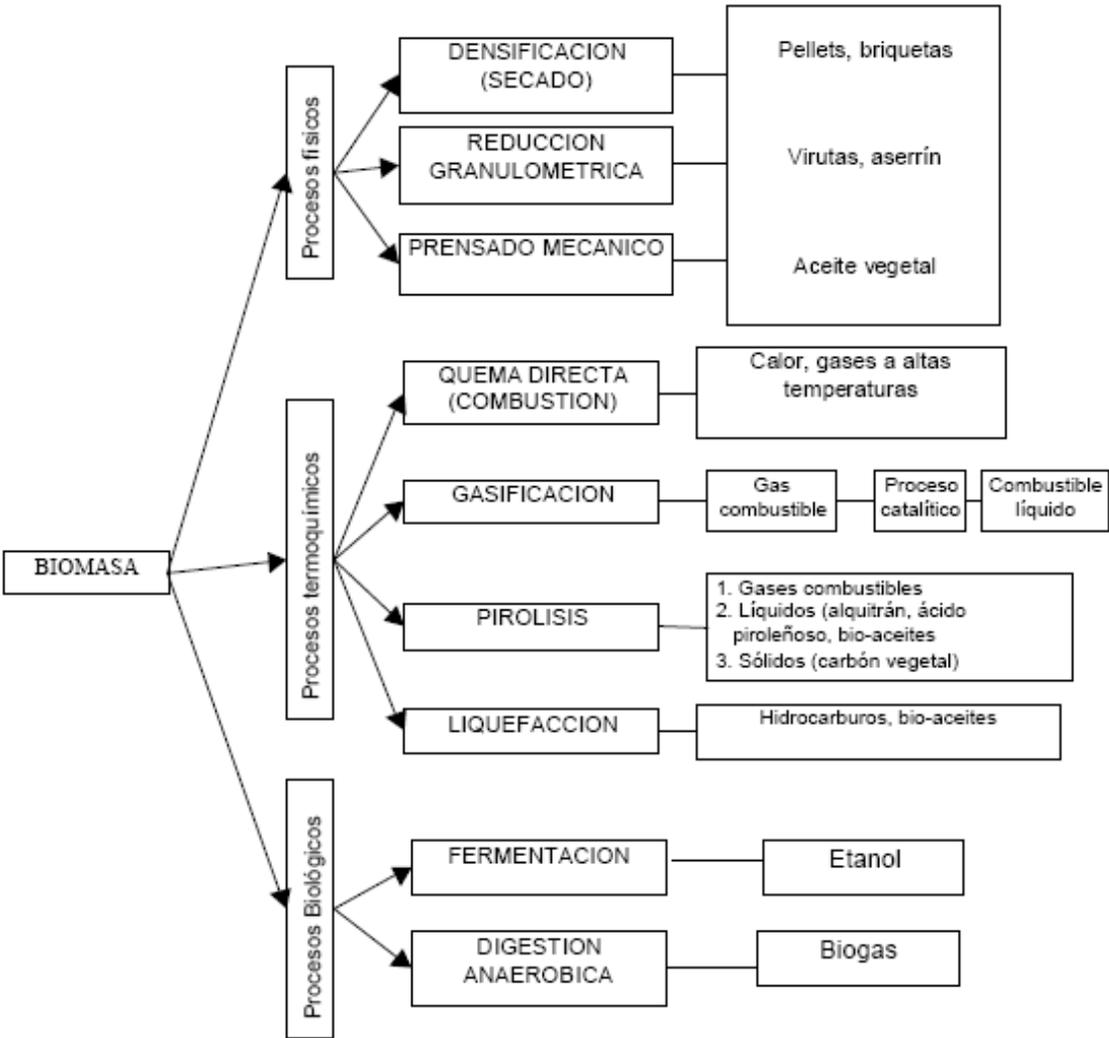
<http://www.caddet.org/>

<http://www.iea.org/index.asp>

<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/fuelcells/seca/>

<http://www.ciemat.es/>

**Apéndice A. Procesos de conversión energética de la biomasa.**



**Apéndice B. Especificaciones establecidas para el biodiesel y método de ensayo correspondiente.**

<i>Propiedad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Límites</i>		<i>Método de ensayo</i>
		<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	
Contenido en éster <sup>a</sup>	% (m/m)	96,5 <sup>b</sup>		EN 14103
Densidad a 15°C <sup>c</sup>	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C <sup>d</sup>	mm <sup>2</sup> /g	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679 <sup>e</sup>
Contenido de azufre	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado) <sup>f</sup>	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Índice de cetano <sup>g</sup>		51,0		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total <sup>h</sup>	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación		Clase 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6,0	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)		12,0	EN 14103
Ésteres de metilo poli-insaturados <sup>i</sup> (> = a 4 dobles enlaces)	% (m/m)		1	
Contenido de metanol	% (m/m)		0,20	EN 14110
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)		0,80	EN 14105
Contenido en diglicéridos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Contenido en triglicéridos <sup>j</sup>	% (m/m)		0,20	EN 14105
Glicerol libre <sup>j</sup>	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K) <sup>k</sup>	mg/kg		5,0	EN 14108 EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg) <sup>l</sup>	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10,0	EN 14107