

101
2 es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**“UTILIZACIÓN DE FUENTES ALTERNATIVAS DE
ENERGÍA EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

RODRIGO ROCHA MORENO

ASESORA: ING. MA. DE LA LUZ GONZÁLEZ QUIJANO.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

1998.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

267995



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:
"Utilización de Fuentes Alternativas de Energía en la Generación Eléctrica".

que presenta el pasante: Rodrigo Rocha Moreno
con número de cuenta: 8903022-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 18 de Junio de 199 8

PRESIDENTE	<u>Ing. Benjamín Contreras Santacruz</u>	
VOCAL	<u>Ing. Esteban Corona Escamilla</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Ma. de la Luz González Quijano</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Victor Hugo Landa Orozco</u>	

DEDICADO



A MIS PADRES:

DON RODRIGO ROCHA CHACÓN Y DOÑA IRENE MORENO CASTAÑEDA

"ESTA ES SÓLO UNA FORMA DE AGRADECERLES EL DARMELA OPORTUNIDAD DE VIVIR, POR QUE CON ESTO LES DEMUESTRO QUE NO SE HAN EQUIVOCADO EN APOYAR CON MUCHOS SACRIFICIOS UNO DE MIS GRANDES SUEÑOS, POR QUE CON ESTO LES DEMUESTRO LO MUCHO QUE LOS QUIERO"



A MIS HERMANOS:

OSVALDO, IRENE, HILARIO Y JAVIER†

"POR LOS GRANDES MOMENTOS QUE JUNTOS PASAMOS LOS PRIMEROS AÑOS DE NUESTRAS VIDAS, POR QUE A PESAR DE TENER TODOS CARÁCTER E IDEAS DIFERENTES SIEMPRE HAY UN PUNTO DE UNIÓN, DONDE LA MISMA SANGRE NOS HACE SENTIR LO MISMO, POR QUE SI LA DERROTA DE ALGUNO ES DERROTA DE TODOS, TAMBIEN EL TRIUNFO DE ALGUNO ES TRIUNFO DE TODOS"



A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS:

**DON PANTALEÓN ROCHA, DOÑA SOFÍA CHACÓN,
DON HILARIO MORENO Y DOÑA BEATRIZ CASTAÑEDA**

"CUANDO SE ENTREGA TANTA DULZURA Y CARIÑO, ACOMPAÑADA DE CONOCIMIENTO Y SABIDURÍA, NO QUEDA MAS QUE VOLVERSE INVOLVIDABLE, POR QUE DESDE DONDE ESTÉN CREO QUE NUNCA DEJARON DE APOYARME"



A MI AMIGA:

SILYIA GÓMORA P.

"POR CREER EN MÍ Y MOTIVARME A CONTINUAR CON UNA BATALLA QUE CASI DABA POR PERDIDA, POR ESTAR JUNTO A MÍ EN LOS MOMENTOS MÁS IMPORTANTES DE MI CARRERA"



A DIOS:

"POR TODO"

AGRADEZCO:



**A LA ING. MA. DE LA LUZ GONZÁLEZ Q.
POR SU ASESORÍA Y ENORME INTERÉS EN LA REALIZACIÓN
DE ESTA TESIS.**



**AL ING. BONIFACIO PAZ
POR SUS CONSEJOS Y VALIOSA AYUDA DURANTE LA REALIZACIÓN
DE ESTA TESIS.**



**A LA F.E.S. CUAUTITLAN, U.N.A.M.
POR DARME LA OPORTUNIDAD Y ESPACIO EN SUS AULAS DE HACER MI CARRERA
PROFESIONAL.**



**A TODOS MIS PROFESORES
POR PARTICIPAR EN MI FORMACIÓN ACADÉMICA.**



**A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS
DE I.M.E. GENERACIÓN 92
POR COMPARTIR MUTUAMENTE AÑOS INOLVIDABLES DE NUESTRAS VIDAS.**

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. GENERALIDADES	4
1.1 La electricidad	4
1.2 Electromagnetismo	15
1.3 Generadores	18
1.4 Principios de turbomáquinas	27
1.5 La energía	31
1.6 Desarrollo	38
2. ENERGÍA SOLAR	40
2.1 La energía solar	40
2.2 Sistema foltovoltaico	43
2.3 Colectores concentrados	62
3. ENERGÍA EÓLICA	70
3.1 La energía del viento	70
3.2 Sistema de generación eólica	73
4. ENERGÍA HIDRÁULICA	96
4.1 La energía hidráulica	96
4.2 Fuerza hidroeléctrica	96
4.3 Conversión de energía térmica oceánica	107
4.4 Energía de olas	116
4.5 Energía de mareas	126

5. ENERGÍA GEOTÉRMICA	136
5.1 La energía geotérmica	136
5.2 Plantas geotermoeléctricas	138
6. ENERGÍA BIOMASA	149
6.1 La energía biomasa	149
6.2 Sistemas de conversión	152
CONCLUSIONES	172
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica ha representado siempre un elemento fundamental para el progreso y desarrollo de la humanidad en todos aspectos, desde su aplicación en los más complejos procesos industriales hasta su uso en un simple foco de nuestro hogar.

La electricidad es producto de una transformación energética, realizada en las llamadas plantas generadoras, que convencionalmente pueden ser hidroeléctricas, geotermoeléctricas, nucleoeeléctricas y termoeléctricas, de las cuales las dos primeras utilizan fuentes de energía renovables y sin impacto ambiental nocivo, mientras que la nucleoeeléctrica usa como fuente energética material radiactivo considerado como inagotable pero con los serios riesgos que implica el manejo del material mismo y los desechos producidos durante la conversión energética necesaria para la producción de electricidad, y que decir de la termoeléctrica cuyo impacto ambiental nocivo es notable al emitir gases contaminantes derivados de la combustión en sus procesos de generación eléctrica, además de utilizar para ello recursos fósiles no renovables como fuente de energía.

Ante tales problemáticas de la no renovabilidad de los recursos energéticos y los efectos ambientales dañinos producidos durante la generación de electricidad también han sido creadas las plantas no convencionales, tales como patios solares, granjas eólicas, plantas maremotrices, que utilizan como fuente energética recursos renovables o inagotables como lo son: sol, viento, energía maremotriz y energía biomasa (producto de desechos orgánicos), dichos recursos además no producen impacto ambiental nocivo durante su utilización en los procesos de conversión energética, lo que las convierte junto con la energía

hidráulica y geotérmica en fuentes alternativas de energía en la generación eléctrica.

El objetivo de ésta tesis es mostrar las fuentes alternativas de energía así como los diferentes métodos aplicados en ellas para producir energía eléctrica, considerando los tipos de sistemas, su situación actual mundial, justificación de uso en base a costos y beneficios tanto económicos como ambientales, cabe señalar que al mencionar costos económicos se dan cifras en dólares, ya que sería inútil dar un valor en pesos mexicanos que talvez mañana no sea el mismo, también se da un panorama sobre el futuro de estos sistemas y se dan algunos datos generales para su aplicación.

Aunque cada fuente alternativa seguramente merece para su estudio una tesis completa dada su importancia, la idea fue abarcar en ésta tesis todas las fuentes consideradas alternativas, que por tal razón pueda parecer sencilla la exposición de éstas, pero se trata de señalar las consideraciones más importantes para su aplicación en la generación eléctrica.

Las fuentes alternativas que se encontrarán son, la energía solar, la energía eólica, la energía hidráulica, la energía geotérmica y la energía biomasa, dentro de las cuales existen sistemas de generación ya conocidos y tradicionalmente aplicados, pero también existen sistemas en fase de estudio e investigación que merecen ser considerados dada su aportación al campo energético alternativo.

La conservación de los recursos energéticos no renovables y la no contaminación ambiental son la preocupación fundamental que lleva a la humanidad a considerar otras fuentes de energía que den otras opciones para la generación eléctrica, fuentes abundantes, confiables, eficientes y limpias, porque no debe ser pretexto la generación de electricidad para contribuir en la

decadencia y destrucción gradual de nuestro planeta, con todo lo que en él se encuentra.

1. GENERALIDADES

1.1 LA ELECTRICIDAD

1.1.1 HISTÓRIA

Aunque solo en los tiempos modernos la electricidad empezó a ser útil, los griegos ya la habían descubierto, desde hace 2000 años.

Observaron que un material que nosotros conocemos como ámbar, se cargaba con una fuerza misteriosa después de frotarlo con ciertos materiales.

El ámbar cargado atraía a cuerpos livianos, tales como hojas secas y viruta de madera. Los griegos llamaban al ámbar electrón de donde se ha derivado el nombre de electricidad.

Alrededor del año 1600, William Gilbert, clasificaba los materiales eléctricos, según se comportaban como ámbar o no.

En 1733, un francés Charles Dufay, observó que un trozo de vidrio eléctricamente cargado, atraía algunos objetos también cargados, pero que repelía a otros objetos cargados. Concluyó entonces que existían dos tipos de electricidad.

Hacia la mitad de siglo XVIII, Benjamin Franklin llamó a estas dos clases, la electricidad positiva y negativa.

En la época de Franklin, los hombres de ciencia consideraban que la electricidad era un fluido que podía tener cargas positivas y negativas, pero actualmente, la ciencia considera que la electricidad se produce por partículas muy pequeñas llamadas electrones y protones.

Estas partículas son demasiado pequeñas para verlas, pero existen en todos los materiales.

1.1.2 ENERGÍA DEL ELECTRÓN

Aunque todo electrón tiene la misma carga negativa, no todos los electrones tienen el mismo nivel de energía. Los electrones cuya órbita está próxima al núcleo, contienen menos energía que los que se encuentran en órbitas externas.

Cuanto más lejanas están las órbitas electrónicas del núcleo, mayor será su energía.

Si se añade suficiente energía a un electrón, saldrá fuera de su órbita, hacia la órbita de orden inmediato superior, y si se aplica suficiente energía a un electrón de valencia, el electrón se desligará de su átomo, ya que no existe una órbita inmediata superior.

1.1.3 ¿CUÁNDO SE PRODUCE ELECTRICIDAD?

La electricidad se produce cuando los electrones se liberan de sus átomos. Puesto que los electrones de valencia son los más alejados de la fuerza atractiva del núcleo y además tienen el nivel de energía más alto, son los que pueden liberarse más fácilmente.

Cuando se aplica suficiente fuerza o energía a un átomo, los electrones de valencia se liberan. Sin embargo, la energía suministrada a una capa de valencia se distribuye entre los electrones en dicha capa. Por lo tanto para determinada cantidad de energía mientras más electrones de valencia haya, menor será la energía que tendrá cada electrón.

La electricidad se presenta cuando los electrones son atraídos por los protones, siempre los electrones se moverán hacia los protones. Cuando los electrones se mueven a lo largo de una trayectoria está fluyendo corriente

Los materiales en los cuales la corriente fluye fácilmente son llamados conductores, los materiales que no presentan esta facilidad para el flujo de corriente son llamados aislantes.

La electricidad es una de las principales formas de energía, usadas en el mundo actual.

Sin ella no existirían iluminación conveniente, comunicaciones de radio y televisión, servicio telefónico, procesos industriales y las personas tendrían que prescindir de aparatos eléctricos, ya que constituyen parte fundamental de hogar. Sin la electricidad, todas las comodidades que el ser humano actual requiere para desempeñarse en la vida cotidiana no sería posible. De tal manera se dice que

dependiendo del grado de consumo de energía eléctrica de un país depende su avance tecnológico.

1.1.4 CONDUCTORES

La capa de valencia puede contener hasta ocho electrones y cualquier energía que se aplique a uno de ellos se reparte entre todos los electrones de valencia. Por lo tanto, los átomos que tienen menos electrones de valencia, les dejarán liberarse más fácilmente. Los materiales cuyos electrones se liberan fácilmente se llaman conductores. Los átomos de los conductores tienen sólo 1 ó 2 electrones de valencia.

Los que tienen un electrón de valencia son los mejores conductores eléctricos.

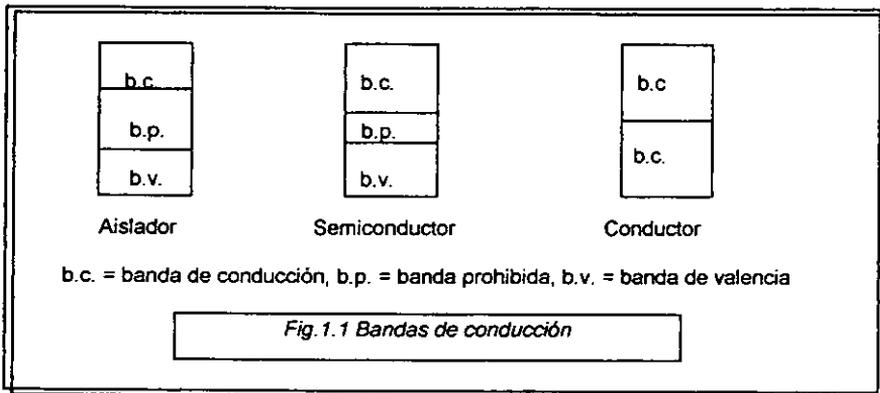
1.1.5 SEMICONDUCTORES

Son semiconductores aquellos elementos cuyas capas de valencia tienen la mitad de sus electrones, por lo que ni son buenos conductores ni son buenos aislantes. El silicio y el germanio son los mejores semiconductores.

A causa de que hay pocos electrones en la capa de valencia de un buen conductor, para liberar un electrón de valencia se requiere poca energía. Análogamente, a causa de que un buen aislante tiene sus capas de valencia llenas hasta más de la mitad, requiere más energía para liberar un electrón de

valencia. Los semiconductores requieren más energía que los conductores y menos que los aislantes para liberar un electrón de valencia.

La energía necesaria para liberar un electrón de valencia de los tres tipos de elementos corresponde a lo que se denomina *banda de conducción* y puede ser representado en forma de un diagrama de bandas de energía para poner de manifiesto la facilidad o dificultad de iniciación del proceso de conducción.



En un semiconductor la banda prohibida es pequeña, lo cual significa que se necesita una cantidad moderada de energía para liberar electrones de la banda de valencia y trasladarlos a través de la banda prohibida hasta la banda de conducción.

1.1.6 AISLANTES

Los aisladores son materiales que no dejan que sus electrones se liberen fácilmente. Los átomos de los aisladores tienen capas de valencia que están llenas con 8 electrones o bien llenas a más de la mitad.

Cualquier energía que se aplique a uno de estos átomos se distribuirá entre un número de electrones relativamente grande. Además estos átomos se resisten a desprenderse de sus electrones debido aun fenómeno que se conoce como estabilidad química.

Así pues, es difícil liberar a sus electrones, además los átomos aisladores también se opondrán a la producción de electricidad, debido a su tendencia a atrapar a cualesquiera electrones que pueden ser liberados. Los átomos con siete electrones de valencia, son los que tratan más activamente de llenar la capa de valencia y constituyen excelentes aisladores eléctricos.

1.1.7 CORRIENTE ELÉCTRICA

A la capacidad de flujo de electrones libres a través de un conductor se le llama corriente y se designa en general, por la letra *I*, que indica la intensidad del flujo de electrones; cuando una cantidad muy elevada de electrones (6.24×10^{18}) pasa a través de un punto en un segundo, se dice que la corriente es de 1 ampere.

1.1.8 VOLTAJE

Cuando una fuente de energía eléctrica se conecta a través de las terminales de un circuito eléctrico completo, se crea un exceso de electrones libres en una terminal y una deficiencia en el otro; la terminal que tiene exceso tiene una carga negativa (-) y la que tiene deficiencia carga positiva (+).

En la terminal cargada positivamente, los electrones libres se encuentran más espaciados de lo normal, y las fuerzas de repulsión que actúan entre ellos se reducen. Esta fuerza de repulsión es una forma de energía potencial; también se le llama energía de posición.

Los electrones en un conductor poseen energía potencial y realizan un trabajo en el conductor poniendo a otros electrones en el conductor en una nueva posición. Es evidente que la energía potencial de los electrones libres en la terminal positiva de un circuito es menor que la energía potencial de los que se encuentran en la terminal negativa; por tanto hay "diferencia de energía potencial" llamada *diferencia de potencial*; esta diferencia de potencial es la que crea la "presión necesaria para hacer circular la corriente".

Debido a que en los circuitos eléctricos las fuentes de voltaje son las que crean la diferencia de potencial y que producen la circulación de corriente, también se les conoce como *fuentes de fuerza electromotriz (FEM)*. La unidad básica de medición de la diferencia de potencial es el volt y por lo general, se designa con la letra V ó E.

1.1.9 RESISTENCIA

Debido a que los electrones libres adquieren velocidad en su movimiento a lo largo de un conductor, la energía potencial de la fuente de voltaje se transforma en energía cinética; es decir, los electrones adquieren energía cinética (la energía del movimiento). Antes de que los electrones se desplacen muy lejos, se producen colisiones con los *iones* del conductor. Un ion es simplemente un átomo o grupo de átomos que por la pérdida o ganancia de electrones libres ha adquirido una carga eléctrica. Los iones toman posiciones fijas y dan al conductor metálico su forma característica. Como resultado de las colisiones entre los electrones libres y los iones, los electrones libres ceden parte de su energía cinética en forma de calor o de energía calorífica a los iones.

Al pasar de un punto a otro en un circuito eléctrico, un electrón libre produce muchas colisiones y, dado que la corriente es el movimiento de electrones libres, las colisiones se oponen a la corriente. Un sinónimo de *oponer* es *resistir* de manera que se puede establecer formalmente que la *resistencia* es la propiedad de un circuito eléctrico de oponerse al flujo de corriente.

La unidad de resistencia es el ohm y se designa con la letra R.

1.1.10 LEY DE OHM

En 1825, un científico alemán, George Simon Ohm, realizó experimentos que condujeron al establecimiento de una e las más importantes leyes de la electricidad.

Tanto la ley como la unidad de resistencia eléctrica lleva su nombre en su honor.

Las tres maneras de expresar la ley de ohm son las siguientes:

$$\text{Ec. 1.1} \quad \text{Resistencia} = \text{Voltaje} / \text{Corriente} ; R = V / I$$

$$\text{Ec. 1.2} \quad \text{Corriente} = \text{Voltaje} / \text{Resistencia} ; I = V/R$$

$$\text{Ec. 1.3} \quad \text{Voltaje} = \text{Resistencia} \times \text{Corriente}; V = R \times I$$

dado que la ley de ohm presenta los conceptos básicos electricidad es importante tener en práctica su uso.

1.1.11 POTENCIA ELÉCTRICA

En cualquier sistema eléctrico la capacidad de realizar un trabajo se conoce como la *potencia*; ; por lo general se designa con la letra P y en honor a la

memoria de James Watt, inventor de la máquina de vapor, la unidad de potencia eléctrica es el watt; se abrevia w.

Para calcular la potencia en un sistema eléctrico se usa la relación:

$$\text{Ec. 1.4} \quad P = V I$$

Donde P es la potencia en watts, V es el voltaje en volts y la corriente en amperes es I .

La anterior se conoce como la ecuación de la corriente continua y se aplica a sistemas donde no se tiene parte alguna que pueda presentar fenómenos de inductancia o capacitancia.

En una red generalizada pasiva, en el dominio del tiempo, con un voltaje $v(t)$ y corriente resultante $i(t)$, la variable de tiempo o potencia instantánea en la red es el producto del voltaje por la corriente:

$$\text{Ec. 1.5} \quad p(t) = v(t) i(t) \text{ (W)}$$

Si $v(t)$ es senoidal, una vez terminado el periodo transitorio, el voltaje y la corriente periódicos dan una potencia periódica. Una potencia positiva corresponde a una transferencia de energía de la fuente a la red, y una potencia negativa a un retorno de energía de la red en la fuente. Naturalmente, para una red pasiva, la energía neta transferida debe ir de la fuente a la red; por lo tanto, la potencia promediada en tiempo será positiva o cero. La potencia promedio cero resultaría de una red puramente reactiva, donde el almacenamiento de energía puede ser periódico pero sin disipación de energía.

Para una red pasiva que contiene un elemento de un solo circuito inductivo, el voltaje senoidal aplicado $v = V_m \cos wt$ genera una corriente senoidal atrasada por 90° , $i = I_m \cos (wt - 90^\circ)$. Entonces la potencia instantánea está dada por:

$$\text{Ec. 1.6 } p = vi = V_m I_m \cos wt \cos (wt - 90^\circ) = \frac{1}{2} V_m I_m \sin 2 wt$$

En los intervalos donde v e i son del mismo signo, $0 < wt < \pi/2$, p es positiva. La energía será transferida de la fuente al elemento inductivo del circuito durante ese tiempo. En otros intervalos, como $\pi/2 < wt < \pi$, p es negativa y la energía es devuelta a la fuente por el elemento de circuito. En un ciclo entero, el valor promedio de p es cero.

Un caso más general se da cuando un voltaje como $v = V_m \cos wt$ resulta en una corriente $i = I_m \cos (wt - \theta)$ donde θ puede ser positiva o negativa, correspondiendo a inductancia equivalente inductiva o capacitiva, respectivamente.

Los valores efectivos o *rmc* de las funciones seno o coseno, son:

$$\text{Ec. 1.7 } V_{ef} = V_m / \sqrt{2}, I_{ef} = I_m / \sqrt{2}.$$

Por lo tanto:

$$\text{Ec. 1.8 } \text{Potencia promedio} = P = V_{ef} I_{ef} \cos \theta \text{ (W)}$$

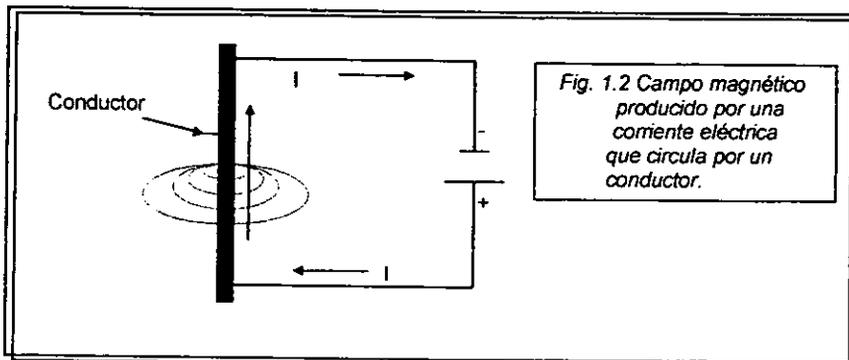
El producto $V_{ef} I_{ef}$ se llama *potencia aparente*, la cual tiene asignado el símbolo S y se mide en *voltamperes*, VA, donde $1 \text{ VA} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 1 \text{ W}$. El factor por el cual se debe multiplicar la potencia aparente para obtener el valor promedio se llama *factor de potencia*.

$$\text{Ec. 1.9} \quad \text{fp} = \cos \theta$$

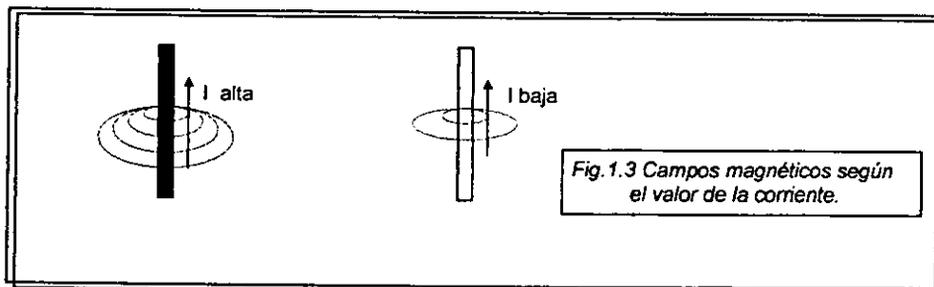
Cuando se cita el factor de potencia, se acostumbra incluir información acerca del signo de θ hablando de un fp que se retrasa si $\theta > 0$ (la corriente se *atrás* respecto al voltaje), o un fp adelantado si $\theta < 0$ (la corriente se *adelanta* al voltaje). En cualquier caso $0 \leq \text{fp} \leq 1$.

1.2 ELECTROMAGNETISMO

El físico danés Hans Christian Oersted, allá por el año 1819, encontró una relación entre el magnetismo y la corriente eléctrica, en virtud de haber podido demostrar que toda la corriente eléctrica que circula por un conductor produce un campo magnético que circunda éste, dicho fenómeno fue el que dió origen al electromagnetismo

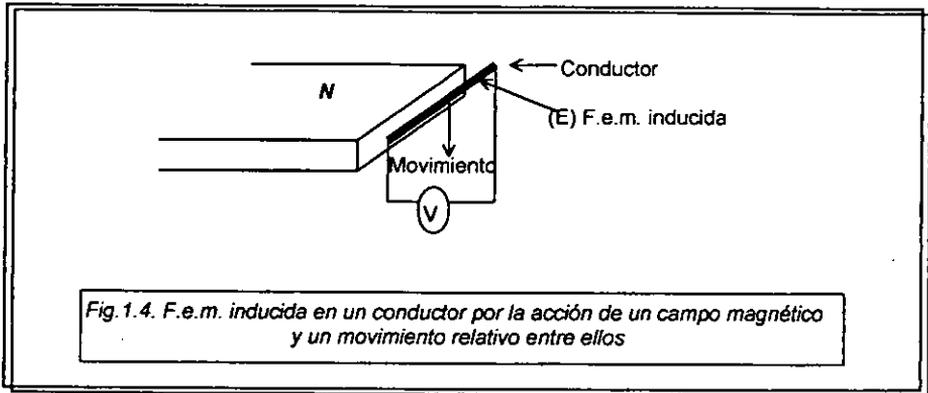


También comprobó que haciendo pasar por el mismo conductor mayor corriente, el campo magnético se incrementa.



1.2.1 LEY DE FARADAY

Esta ley establece que: "si dentro de un campo magnético (ϕ), se encuentra un conductor y existe un movimiento relativo entre ellos, ya sea que el campo magnético es el que se mueve y el conductor quede fijo o bien, que éste sea el que se mueva y el campo magnético permanezca fijo, en cualquier caso en dicho conductor se inducirá una fuerza electromotriz (E).



En la figura 1.4, el conductor es el que se mueve dentro de la acción de un campo magnético (ϕ) producido por un imán y por lo tanto se inducirá en dicho conductor, una fuerza electromotriz (E) que es medida por el voltímetro conectado entre sus extremos.

¿Pero que es la fuerza electromotriz?

La fuerza electromotriz es la fuerza necesaria para mover electrones en un circuito o bien, dicho de otra forma es la fuerza que hace que circule una corriente eléctrica en un circuito cerrado, se representa por la letra E, sus unidades son los volts y se abrevia F.e.m.

El valor de la F.e.m. inducida depende de tres condiciones:

1. Del poder del inductor para producir las líneas de fuerza que conforman el campo magnético, es decir, de la potencia de campo magnético. Sus unidades son los webers en el sistema M.K.S. y los maxwells ó líneas de fuerza en el c.g.s., se representa por la letra griega (ϕ) ϕ .
2. Del número de conductores ó espiras que tenga la bobina del inducido, se representa por N (espiras), y
3. Del tiempo en que la bobina del inducido corta las líneas magnéticas del campo magnético ó la rapidez con que el inducido atraviesa el campo magnético del inductor, sus unidades son el segundo y se representa por la letra t.

Por lo tanto el valor promedio de la fuerza electromotriz E inducida en una bobina de N espiras, se determina por la siguiente ecuación, conocida como "Ley de Faraday":

$$E = (-) N \dot{\phi}_t \text{ volts.}$$

(-) representa la Ley de Lenz (oposición de la fem E inducida a la causa que la origina)

1.3 GENERADORES

Tanto los generadores de c.a. como los de c.d. convierten la energía mecánica en energía eléctrica. Sin embargo los generadores de c.d. convierten energía mecánica en corrientes y voltajes de c.d. en tanto que los generadores de c.a. convierten la energía mecánica a voltajes y corrientes de c.a.

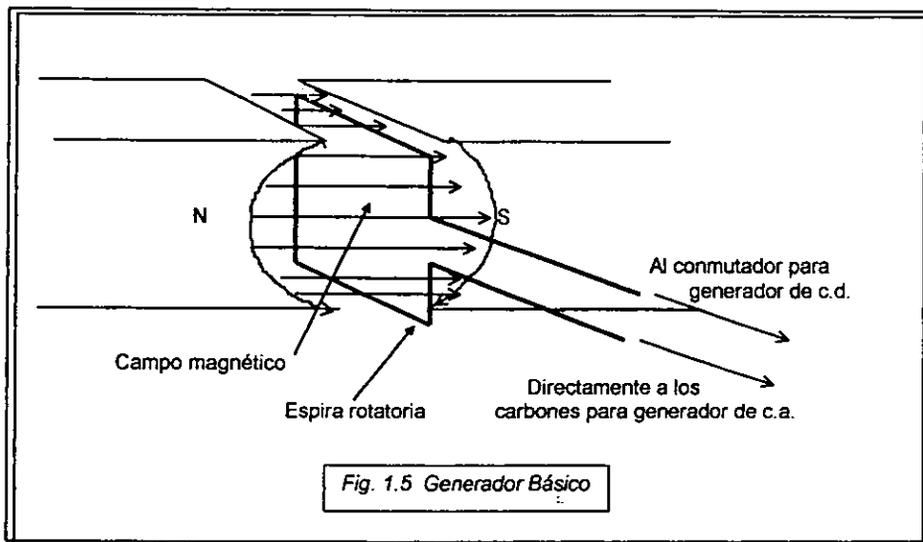
1.3.1 GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA (C.D.)

El generador más simple de c.d. consta de una sola espira de alambre que gira dentro de un campo magnético, más un conmutador y escobillas. Al girar la espira, se genera el voltaje de c.a. en sus dos extremos.

El voltaje de c.a. se convierte entonces en c.d. por la acción del conmutador y las escobillas. El conmutador cambia la c.a. en c.d. cambiando efectivamente la conexión de escobillas de un extremo a otro de la bobina rotatoria, cada vez que el voltaje inducido en la espira invierte su polaridad. Esta interrupción se efectúa de tal manera que una escobilla siempre está en contacto con el extremo positivo de la espira, en tanto que la otra escobilla siempre está en contacto con el extremo negativo de la espira.

Por tanto, el voltaje existente entre las escobillas que es el voltaje de salida del generador, es de c.d.

Si se elimina el conmutador, uniendo cada escobilla conectada permanentemente con el extremo de la espira rotatoria, el voltaje que hay entre las escobillas, sería exactamente igual al voltaje existente entre los extremos de la bobina. Como se sabe, éste es un voltaje de c.a., así pues, eliminando el conmutador y conectando permanentemente, en alguna forma, las escobillas a los extremos opuestos de la espira, el generador básico de c.d. se puede convertir en un generador simple de c.a.



El conmutador de un generador de c.d. cumple dos funciones:

1. Convierte el voltaje inducido de c.a. en c.d. y
2. Constituye un medio para comunicar el voltaje inducido a las escobillas y, en consecuencia, a un circuito externo. En un generador de c.a. todo lo que se necesita es un medio para comunicar el voltaje inducido a las escobillas.

Esto se logra instalando anillos metálicos en los extremos de la bobina rotatoria, cada anillo se ajusta a un extremo de la bobina y ambos anillos giran al girar la bobina, estos anillos se llaman anillos rozantes.

Cada anillo rozante está permanentemente conectado al extremo respectivo de la bobina rotatoria, de manera que el voltaje inducido en la bobina aparece entre los anillos. Las escobillas están unidas a los anillos rozantes haciendo contacto eléctrico con ellas. Al girar la bobina, los anillos rozantes se deslizan a lo largo de las escobillas manteniendo siempre contacto eléctrico con ellas.

Así pues, cada escobilla está en contacto con el anillo rozante correspondiente, el cual a su vez está permanentemente conectado a un extremo de la bobina. El resultado es que entre las escobillas se origina un voltaje de c.a. inducida en la bobina y éste puede transmitirse a un circuito externo.

1.3.2 GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA (C.A.)

La salida de un generador simple de c.a. de una espira es igual al voltaje inducido en la espira rotatoria. Este voltaje es igual a la suma de voltajes inducidos en ambos lados de la bobina al cortar éstos las líneas magnéticas de flujo.

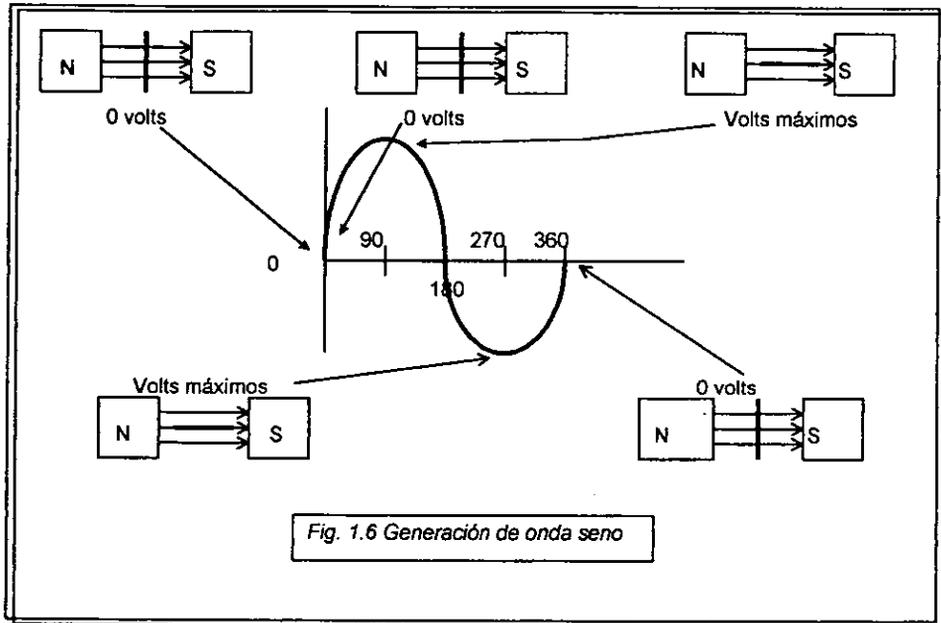


Fig. 1.6 Generación de onda seno

Como se aprecia en la figura 1.6, en un generador de c.a. de dos polos, el voltaje llega a cero y alcanza un máximo de dos veces durante una rotación completa de la espira. Estas variaciones siguen una onda seno, así pues para una rotación completa corresponden 360 grados eléctricos.

En la forma de onda anterior se aprecia que el voltaje de salida de un generador simple de c.a. es máximo cuando los lados de la espira pasan frente a los centros de los polos. La razón es que en estos puntos, los lados de la bobina cortan el número máximo de líneas de flujo. Si se usaran cuatro polos en lugar de dos, el voltaje de salida seguiría alcanzando su valor máximo cuando los lados de

la bobina pasaran frente a los centros de los polos. Sin embargo, como el número de polos se ha duplicado el voltaje será máximo cuatro veces durante cada rotación completa de la espira en lugar de dos veces, como ocurre en el caso de un generador.

Si entre los polos existen espacios iguales, esto significa que se genera un ciclo de onda sinusoidal en el voltaje de salida cada vez que la espira se transporta 180° , o sea la mitad de una rotación.

Por lo tanto, la frecuencia de voltaje de salida de c.a. es lo doble de la velocidad de rotación de la espira. Por ejemplo, si la espira gira 30 veces en un segundo, la frecuencia del voltaje es de 60 cps.

Es obvio que, para determinada velocidad de rotación cuanto mayor número de polos se tenga, más alta será la frecuencia del voltaje de generador. Una relación general entre la velocidad de rotación de una sola espira, el número de polos y la frecuencia, puede establecerse de la siguiente manera.

La frecuencia es igual al número de revoluciones por segundo, multiplicada por el número de pares de polos. Así pues, si se usan 6 polos y la espira gira 10 veces por segundo, la frecuencia del voltaje de salida es $10 \times 3 = 30$ cps. Nótese que lo que se usa para determinar la frecuencia es el número de pares de polos y no el número de polos individuales.

1.3.2.1 Producción del campo magnético

El campo magnético necesario para que funcione un generador de c.a. es producido por un devanado de campo, igual que en los generadores de c.d.

Téngase presente que el devanado de campo es un electroimán, y por lo tanto, necesita corriente para producir su campo magnético.

En un generador de c.d., la corriente para el devanado de campo puede obtenerse conectando el devanado a una fuente externa de voltaje y en este caso, el generador es un generador excitado independientemente, o bien la corriente de excitación del devanado de campo puede producirse conectando el devanado a la salida del generador, en esta condición se tiene un generador autoexcitado.

El devanado de campo de cualquier generador siempre requerirá de corriente directa de excitación, por lo tanto no se puede usar autoexcitación para los generadores de c.a., ya se salida es de corriente alterna. Entonces deben usarse fuentes de voltaje de c.d. separadas para alimentar la corriente de los devanados de campo.

1.3.2.2 Generador de c.a. monofásico

Si todas las bobinas de armadura se conectan en serie aditiva, el generador tiene una salida única. La salida es senoidal y en cualquier instante es igual en amplitud a la suma de voltajes inducidos en cada una de la bobinas. En este caso se tiene un generador monofásico.

1.3.2.3 Generador de c.a. bifásico

En un generador bifásico, las bobinas de armadura están devanadas de manera que el generador tenga dos voltajes de salida separados que difieren de fase, por 90 grados eléctricos. Cuando el voltaje inducido en una espira es máximo, el voltaje en la otra es cero y viceversa.

1.3.2.4 Generador de c.a. trifásico

Básicamente, los principios del generador trifásico son los mismos que los de un generador bifásico, excepto que se tienen tres devanados espaciados igualmente y tres voltajes de salida desfasados 120 grados eléctricos entre sí.

1.3.2.5 Clasificación de los generadores de c.a.

Todo generador de c.d. tiene una clasificación de potencia, expresada normalmente en Kilowatts, que indica la máxima potencia que puede ser constantemente alimentada por el generador. Por otra parte los generadores de c.a. no pueden generalmente clasificarse de la misma manera, ya que la potencia consumida en el circuito de c.a. depende del factor de potencia del circuito, lo cual significa que un generador de c.a. puede alimentar una cantidad moderada de potencia real para una carga "x", sin embargo, si el factor de potencia total o aparente que el generador produce realmente es muy grande el generador se puede quemar.

Por esta razón, los generadores de c.a. no deben clasificarse según la máxima potencia de consumo permisible de la carga, sino de acuerdo con la potencia aparente máxima que puede pasar.

Esto se hace expresando la capacidad en voltamperes o kilovoltamperes. Así pues, para determinado voltaje de salida se sabe la máxima corriente que el generador puede producir independientemente del factor de potencia de la carga.

1.3.3 GENERACIÓN POR SEMICONDUCTORES

La generación de electricidad también se logra con componentes semiconductores, como es el caso de la celda solar, que debe hacerse de un material semiconductor. Aunque es posible usar muchos materiales, el más común es una clase de silicio que es muy abundante (forma parte de más de un cuarto de la corteza terrestre). Las celdas solares son rectangulares o bien una plaquita circular.

El funcionamiento de una celda solar es muy simple. Cuando la luz del Sol calienta la superficie de la celda, los electrones se separan de los átomos y generan un flujo de corriente eléctrica. Los contactos metálicos en las partes superior e inferior de la celda permiten que la corriente fluya a través de un circuito externo para producir la energía eléctrica. La cantidad de electricidad producida por un dispositivo depende de la cantidad de luz solar a la que esté expuesto y de la eficiencia del dispositivo mismo.

Las celdas solares son modulares, es decir, que pueden poner juntas muchas para formar grandes unidades, produciendo grandes cantidades de energía. Las celdas se unen mediante cables y se montan en una estructura para formar "módulos" los cuales, a su vez, pueden unirse para formar "redes". La

electricidad reunida puede usarse directamente en las instalaciones de c.d. (las celdas solares siempre producen corriente directa, o energía c.d.), o almacenada en una batería para un futuro uso.

La generación fotovoltaica es explicada más ampliamente en el capítulo 2 de este trabajo.

1.4 PRINCIPIOS DE TURBOMÁQUINAS

Las turbomáquinas son máquinas rotativas que permiten una transferencia energética entre un fluido y un rotor provisto de álabes o paletas, mientras el fluido pasa a través de ellos. La transferencia de energía tiene su origen en un gradiente de presión dinámica que se produce entre la salida y la entrada del fluido en el rotor, por lo que también se denominan a estas máquinas de presión dinámica.

Cuando la transferencia de energía de efectúa de fluido a máquina se le da el nombre de turbina. Entre las turbinas figuran las hidráulicas, de vapor, de gas, de aire, etc, también para cualquier clase de fluido.

1.4.1 TURBINAS HIDRÁULICAS

- Turbinas Pelton

Las turbinas tipo Pelton se caracterizan por lo siguiente:

1. El agua pega al rodete a la presión atmosférica
2. El rodete consiste de una rueda provista en la periferia de cangilones.
3. Se utilizan para grandes caídas.
4. La energía disponible en forma de energía de posición se transforma por medio de una tubería rematando en un chiflón, en energía cinética.
5. Están provistas de una válvula esférica como medio de seguridad.
6. La regulación de esta máquinas se efectúa por medio de la acción de las agujas en el chiflón y por medio de deflectores.

- Turbinas Francis

Estas turbinas se caracterizan por lo siguiente:

1. Están formadas por un espiral que va a alimentar al rodete.
2. Se utilizan para caídas medianas.
3. Tienen un distribuidor que orienta el agua hacia el rodete.
4. A semejan una bomba centrífuga.
5. El agua no está a la presión atmosférica.
6. Descargan a contra presión.
7. Generalmente están provistas de una válvula de mariposa como órgano de seguridad.
8. La regulación se efectúa por medio del distribuidor que consiste en uno álabes móviles dispuestos en forma de persiana a la salida del espiral.

- Turbinas Kaplan

Se caracterizan por lo siguiente:

1. Se utilizan para bajas caídas.
2. El rodete recuerda la forma de una hélice de barco.

3. El ángulo de inclinación de las palas del rodete es regulable.
4. Se utilizan para gastos muy grandes.
5. La regulación se efectúa por medio de un distribuidor como en las Francis, y además con la inclinación de las palas del rodete.

Además de las turbinas anteriormente descritas existen, por ejemplo, las turbinas hélice que en algunos casos son semejantes a las Kaplan con la excepción de que los álabes no son móviles.

Otro tipo de turbinas reciben el nombre de tubulares. Estas turbinas asemejan una turbina Kaplan puesta en posición horizontal y seguida del generador impulsados por ella.

1.4.2 TURBINAS DE VAPOR

Una turbina de vapor es una máquina que convierte la energía del vapor en trabajo mecánico.

La turbina de vapor es la más simple, más eficiente y completa de las máquinas que usan vapor.

Su principio de operación es el siguiente:

El vapor entra a una tobera en donde se expansiona, obteniéndose un chorro de vapor con gran velocidad.

El vapor de alta velocidad puede ser aprovechado para mover una rueda, en dos formas diferentes:

1. La tobera se encuentra fija y el chorro de vapor se dirige en contra de una paleta móvil. La fuerza del chorro actúa sobre la paleta y la impulsa, produciendo el movimiento de la rueda. Este principio se conoce como ACCION o IMPULSO.
2. La tobera se encuentra montada en la rueda y puede moverse libremente. La alta velocidad del vapor de salida provoca una reacción en la tobera, haciendo que la rueda se mueva en sentido opuesto al chorro de vapor. Este principio se conoce como REACCION.

Las turbinas de vapor se clasifican de muchas formas, entre las principales están:

- De Acción
- De Reacción
- Combinadas

Las turbinas de Acción y las de Reacción pueden estar formadas por varios pasos o etapas. El vapor que sale de una ruedas de álabes pasa a otra y así sucesivamente, se les llama Turbinas de Etapas Múltiples, entonces se tiene un rotor con varias ruedas y sus respectivos discos de toberas.

Las turbinas combinadas están formadas por ruedas de dos tipos, las primeras ruedas son de Acción y las últimas de Reacción.

1.5 LA ENERGÍA

Se ha señalado a la energía como uno de los factores esenciales del desarrollo tecnológico. ¿Qué es la energía? *La energía es esa capacidad de la materia que hace posibles las transformaciones que se operan en la misma materia; la variación de energía libre de una sustancia da lugar a un trabajo que se mide en las mismas unidades de la energía.* Se marca de esta manera una equivalencia entre energía y trabajo.

La energía permite así operar transformaciones en las materias primas naturales según iniciativas y creaciones humanas. Ello exige conversiones energéticas que la mayoría de las veces implican una irreversibilidad del proceso, esto es, una pérdida de esa capacidad de cambio, una degradación energética que se cualifica y cuantifica por la *entropía*. Es así como en el universo se está incrementando la entropía, esto es, se está degenerando la capacidad de realizar trabajo.

Como la energía no se puede crear sino sólo transformar, se debe partir de fuentes energéticas naturales y en ellas operar las debidas conversiones. La búsqueda de fuentes de energía naturales abundantes y si es posible inagotables es un reto al hombre actual.

1.5.1 UNIDADES DE MEDIDA DE LA ENERGÍA Y EQUIVALENCIAS

Las unidades de medida de la energía son las mismas que las de trabajo con el cual encuentra equivalencia. El Sistema Internacional de Unidades la unidad fundamental es el *joule*.

$$1 \text{ joule} = 1 \text{ Newton-metro}$$

Otras unidades y sus equivalencias:

$$\text{Kilojoule (KJ)} = 10^3 \text{ joules}$$

$$\text{Megajoule (MJ)} = 10^6 \text{ joules}$$

$$\text{Gigajoule (GJ)} = 10^9 \text{ joules}$$

$$\text{Terajoule (TJ)} = 10^{12} \text{ joules}$$

$$\text{Electrón-volt (ev)} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ joules}$$

$$\text{Caloría (cal)} = 4.1868 \text{ joules}$$

$$\text{Kilocaloría (Kcal)} = 4.1868 \times 10^3 \text{ joules}$$

$$\text{Wattthora (Wh)} = 3.6 \times 10^9 \text{ joules}$$

$$1 \text{ BTU (British Termal Unit)} = 0.252 \text{ kcal}$$

1.5.2 FUENTES NATURALES DE ENERGÍA

La energía se presenta en el mundo en diversas formas que pueden reducirse a cuatro orígenes diferentes: a) la radiación solar, b) el calor subterráneo debido a la radiactividad natural, c) las fuerzas gravitacionales y rotacionales del sistema solar y d) las reacciones nucleares que implican un desprendimiento de energía provocada por la fisión o fusión nuclear.

En general los recursos energéticos están constituidos por reservas naturales que tienen su origen en alguna de las causas señaladas. La energía almacenada puede encontrarse en la forma de yacimientos de combustibles fósiles, de materias nucleares, de acumulación de agua, de calor telúrico, o bien

se pueden presentar en otros estados naturales antes de ser transformada por el hombre a formas mas fácilmente utilizables.

Si en ciertos casos es posible utilizar la energía directamente, sin almacenamiento a con un almacenamiento continuamente renovable, la mayor parte de las tecnologías industriales del mundo actual dependen fundamentalmente de recursos fósiles (carbón e hidrocarburos) que son fuentes de energía no renovables.

La fusión nuclear aunque en realidad es no renovable se suele considerar como casi inagotable por las posibilidades que ofrece. Si declina su aplicación es por los peligros que presenta su uso. La fusión termonuclear del hidrógeno se obtendrá del agua y volverá a ser agua; será una fuente ideal y sin peligros de contaminación. Otras fuentes de energía son: la energía hidráulica que es renovable; la energía solar que es inagotable para el hombre que vive en la Tierra; la energía geotérmica también inagotable, y la energía del viento que es renovable. Estas fuentes ofrecen las ventajas de ser inagotables y de no presentar contaminación ni trastornos en su uso. Sin embargo, la energía utilizable se advierte muy reducida en relación con las otras fuentes señaladas.

1.5.3 FUENTES DE ENERGÍA ACTUALES

En la actualidad la principal fuente de energía la encontramos en los *combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural*, los cuales suministran el 96% de la energía primaria que se consume en el mundo. Entre éstos, el más abundante en la naturaleza es el carbón, que es también el primero que fue

utilizado, y con seguridad, el último que se empleará, pues el petróleo y el gas natural se les dá una vida mucho más corta.

Pero el *carbón* presenta muchos problemas en el quemado directo, como son un alta relación de masa-energía liberada, con efectos fuertemente contaminantes de los gases producto de la combustión. También tiene alto costo de extracción. Con la conversión del carbón en gas y otros combustibles ligeros se mejora enormemente la relación de masa-energía, reduciéndose además los efectos contaminantes.

Otra fuente importante de energía la encontramos en el agua, la cual se hace capaz de almacenar energía potencial por la acción natural de evaporación producida por el sol, que la eleva formando nubes; estas las descargan sobre las montañas originando corrientes superficiales y ríos, donde la atajamos por medio de presas, creando embalses o depósitos de agua con energía potencial aprovechable en lo que llamamos *saltos de agua*. El ciclo es renovable y no se produce agotamiento de la fuente energética, lo que constituye una gran ventaja. Por otra parte, una vez realizadas las instalaciones de utilización los gastos de operación son mínimos.

La conversión de energía del agua en mecánica se realiza por simples procesos dinámicos con auxilio de turbinas hidráulicas, las cuales mueven generadores para convertirla en electricidad. La *energía hidroeléctrica* representa hoy en día aproximadamente un 3.5% del valor total de energía primaria en el mundo.

Una fuente nueva y significativa de energía es la *nuclear*, la cual tiene su origen en la reacción nuclear exotérmica producida por rotura de núcleos de elementos pesados, fácilmente fisionables, como el uranio 235 y el torio 232, ante un bombardeo de neutrones. La reacción tiene que ser debidamente controlada por elementos de bloqueo (cadmio, boro, por ejemplo) para evitar una violenta

acción en cadena. También se hace necesaria una masa crítica de material combustible y una eficaz protección contra la radiactividad. El calor generado se aplica a producir vapor y con él se mueven turbinas que accionan generadores eléctricos. Significa hoy en día cerca del 0.5% la energía total mundial utilizada.

Ante el posible agotamiento de combustibles fósiles, sobre los que descansa la economía del mundo en la actualidad, se intensifica la búsqueda de nuevas fuentes de energía que en su utilización no ocasionen, en lo posible problemas de contaminación ambiental. Entre estas nuevas fuentes adquiere cada día más importancia la *energía solar*, la cual es origen y motor de la vida en el mundo, presentándose como inagotable. Aunque todavía no se desarrollan sistemas de gran capacidad de captación y utilización que puedan ser competitivos con otros sistemas en uso, sí se advierten posibilidades de aprovechamiento a escala industrial si se incrementa la eficacia de los colectores y se crean sistemas de almacenamiento que permitan estar a cubierto de la acción intermitente de la radiación solar.

Otra fuente que se presenta también como inagotable es la *energía geotérmica* procedente del agua y el vapor hirvientes que brotan de la tierra. La aplicación del calor no sólo sirve para los sistemas de calefacción sino que tiene gran aplicación en la generación de electricidad mediante sistemas de conversión sencillos.

Finalmente la *energía del viento* o *eólica* que recientemente se ha desarrollado a pasos agigantados, existiendo ya plantas de generación eléctrica muy eficientes utilizando éste tipo de energía. Las turbinas de viento son de enorme desarrollo tecnológico que permite una fácil conversión de energía eólica en eléctrica.

No cabe duda que debemos fijar más atención en aquellas fuentes energéticas que permitan conversiones sencillas, limpias y eficaces.

1.5.4 FUTURO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El ritmo de la demanda de energía eléctrica depende de un número de variables diversas, entre las que se pueden señalar como más ponderables las siguientes: el producto nacional bruto, la aprovechabilidad que puede encontrar en múltiples usos, el precio a que puede adquirirse, y ventajas que puede ofrecer sobre otras formas de energía.

En las últimas décadas se ha observado una gran correlación entre el producto nacional bruto y la demanda de energía eléctrica, advirtiéndose que a más altos estándares de vida corresponde mayor consumo de electricidad, cuya forma de energía procura más confort y más facilidades de uso y aplicación tanto en servicios domésticos como industriales. Se advierte que los procesos industriales electrificados ayudan a mejorar la productividad.

En el pasado el consumo de energía eléctrica ha venido representando un porcentaje cada día más alto en el valor de la energía total consumida en el mundo, debido a su versatilidad y a las ventajas que ofrece su aplicación.

También se viene advirtiendo que un aumento en el precio de la electricidad puede frenar la demanda, supuestas invariables otros factores relacionados con otras fuentes de energía. Por lo contrario, un aumento en el precio de los sustitutos de la electricidad tiende a incrementar la demanda de ésta.

En una situación en la cual los precios de la electricidad y los sustitutos se elevan en forma notable se hace difícil determinar el efecto resultante.

Como sea, la subida brusca del precio de los combustibles frena el consumo de energía en general, repercutiendo también en el consumo de energía

eléctrica, particularmente en lo que se refiere a fines de industrialización. Sin embargo en los países desarrollados se espera un reacomodo en plazo relativamente corto, mientras se adaptan nuevos equipos a las exigencias de los nuevos sistemas dinámicos. Se advierte una fuerte demanda de energía eléctrica en el campo de los procesos metalúrgicos y de los procesos químicos.

Este crecimiento en el consumo de electricidad se espera que sea más sensible en los países en desarrollo que en los que ya tienen un alto nivel de consumo en la actualidad, como pasa por ejemplo en Estados Unidos donde es ya de 8,000 kwh por habitante y en México es apenas de 800 kwh, por habitante.

La capacidad instalada de generación de energía eléctrica pasó de 14,625 Mw a 31,649 Mw durante el período de 1980-1994. La hidroeléctricidad ha venido perdiendo participación a pesar del considerable aumento en su capacidad instalada. El crecimiento más elevado se encuentra en la capacidad de generación a base de hidrocarburos, que se incrementó en poco más de 100% desde 1980, con una tasa acumulativa de 51% anual. Aunque el aumento más rápido correspondió a plantas de ciclo combinado, la mayor parte de la capacidad instalada continúa correspondiendo a las centrales de vapor.

La demanda de energía eléctrica está determinada por numerosos factores, entre ellos el crecimiento demográfico, el estilo de desarrollo y el ritmo de la actividad económica, las condiciones climáticas y geográficas, los cambios tecnológicos, y los niveles tarifarios. El crecimiento promedio anual de la disponibilidad bruta de energía eléctrica observa tasas de crecimiento altas, superiores al ritmo de crecimiento poblacional y económico del país, lo que revela la persistencia de índices elevados de intensidad energética.

1.6 DESARROLLO

El mundo actual vive preocupado por el progreso tecnológico y por el desarrollo que del mismo se deriva. Esta preocupación es el rasgo más característico de nuestro momento histórico, hasta el punto que viene determinando una clasificación universal de los diferentes países que pueblan nuestro planeta, en países desarrollados y países en desarrollo.

Países desarrollados son aquellos donde la mayoría de los habitantes gozan de un alto nivel de vida, caracterizado por un alto PNB (producto nacional bruto), elevado consumo de energía, abundante producción y mucho confort. En los países subdesarrollados el nivel promedio es inferior al promedio mundial tanto en PNB como en los demás factores.

¿Dónde se fundamenta el desarrollo? Puede decirse que el desarrollo se fundamenta sobre tres pilares: *los recursos humanos, los energéticos y las materias primas*. La coordinación de estos tres factores determina básicamente el desarrollo tecnológico y el bienestar material.

De los tres factores básicos señalados: hombres, energéticos y materias primas, consideramos como más importante en el desarrollo de un país el primero, esto es, *la preparación, educación y nivel cultural de sus habitantes*. Así vemos países como Suiza, Francia, Japón, por ejemplo, que gozan de alto nivel de vida con escasísimos recursos materiales (energía y materias primas). Existen asimismo países con abundantes recursos energéticos o de materias primas que no han logrado salir del subdesarrollo. Esto nos lleva a la necesidad de un mejor preparación de los recursos humanos disponibles.

El hombre es quien debe señalar las metas y definir los sistemas operativos que procuren la mejor utilización de los demás factores. El éxito o fracaso del desarrollo dependerá de la profundidad de estudio y de análisis que hagamos de los recursos disponibles, de los procesos de conversión y transformación y de los demás sistemas de interacción dinámica para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades.

Los desaciertos en el desarrollo se pagan caros pues se producen desajustes y crisis socioeconómicas que crean un clima de incertidumbre en las garantías de progreso e incluso de supervivencia. La crisis actual es un "yo acuso" a las fallas del desarrollo.

Si bien todos los hombres deben tener conciencia de esta problemática, entendemos que los *ingenieros* se ven particularmente obligados por la responsabilidad que tienen del *manejo de la energía y de las materias primas*, dos factores fundamentales para las *transformaciones materiales* que propician el desarrollo tecnológico.

2. ENERGÍA SOLAR

2.1 LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar que recibe la superficie terrestre puede convertirse en energía útil (calorífica, mecánica o eléctrica) mediante muy diversas tecnologías. Las características importantes de la energía solar que deben tomarse en cuenta para plantear su aprovechamiento son: su distribución geográfica; su relativamente baja densidad energética, su carácter intermitente, con variaciones diarias, estacionales y las debidas a las condiciones atmosféricas prevalecientes.

La radiación solar total interceptada por la tierra es de unos 1.73×10^{14} Kw, o equivalente 1.51×10^{18} Kwh/año, o 5.4×10^{12} TJ/año. La radiación solar recibida fuera de la atmósfera terrestre es prácticamente constante, mientras que la recibida sobre la superficie terrestre varía considerablemente. La energía recibida del Sol en un área unitaria expuesta perpendicularmente a sus rayos, a una distancia promedio entre el Sol y la Tierra y en ausencia de la atmósfera terrestre recibe el nombre de *constante solar* y tiene un valor aceptado de 1.353 kW/m^2 (+ 1.5%), unos $11.85 \times 10^3 \text{ kWh/m}^2$ por año o 42.668 MJ/m^2 por año.

No toda la radiación recibida del Sol tiene la misma longitud de onda. El espectro solar comprende la región ultravioleta (de 0.115 a 0.405 micras) con 9.293% de la energía, la región visible (de 0.405 a 0.74 micras) con 41.476% de la energía (48.743% en la región de 0.740 a 5 micras). La máxima intensidad de la

energía solar ocurre en la región visible del espectro. Las características del espectro solar son importantes para seleccionar algunos de los materiales empleados en el aprovechamiento de esta fuente.

La radiación solar se altera considerablemente (por dispersión y absorción) al pasar a través de la atmósfera y el total incidente sobre la superficie horizontal terrestre rara vez excede de 1 kW/m^2 . La radiación solar puede descomponerse en directa y difusa. La primera de ellas se refiere al flujo de rayos solares recibidos desde la dirección del disco solar; la radiación difusa es la que llega a la superficie terrestre desde el resto del cielo y es producto de la dispersión que sufre la luz solar a través de la atmósfera terrestre. La proporción de cada una de ellas en la radiación total depende de la nubosidad, humedad, presencia de partículas suspendidas en la atmósfera y otras condiciones ambientales, pudiendo llegar a corresponder a la radiación difusa desde un 10% hasta un 85% de la total, siendo esta proporción menor en zonas tropicales. La composición de la radiación es importante dado que algunas de las tecnologías solares disponibles aprovechan sólo la insolación directa, mientras que otras aprovechan la total. Por otra parte, la radiación solar recibida es diferente para distintas latitudes y la que llega sobre superficies inclinadas difiere de la recibida sobre superficies horizontales.

La radiación total promedio anual sobre la superficie de la Tierra varía entre 2,000 y 2,500 kWh/m^2 en zonas de alta insolación (zonas áridas) y entre 1,000 y 1,500 kWh/m^2 en lugares localizados en latitudes altas.

Las variaciones estacionales de la radiación solar total pueden alcanzar proporciones del 1:2 en zonas de alta insolación y hasta de 1:10 en zonas de alta latitud. A pesar de esto, comparada con los combustibles fósiles, la energía solar esta mejor distribuida desde el punto de vista geográfico.

Existe un gran número de instrumentos para medir la radiación solar total o sus componentes directa o difusa, tanto en sus valores instantáneos como de los

integrados a lo largo de un cierto intervalo de tiempo. Entre los instrumentos de medición pueden distinguirse genéricamente los pirheliómetros de incidencia normal (radiación directa), los piranómetros (radiación total), y los difusómetros (radiación difusa); estos últimos son generalmente piranómetros con una banda o disco de sombra que impide al sensor detectar la radiación directa midiendo por tanto sólo la componente difusa. Si bien el actímetro de Herschel y el pirheliómetro de Pouillet están entre los primeros dispositivos de medición de la radiación solar incidente, los primeros instrumentos estándar para medir la radiación solar directa datan de principios de siglo. En la actualidad existe en el mundo un número importante de fabricantes de pirheliómetros y piranómetros (Eppley, Rebitsch, Bellani, etc). En México opera al menos un fabricante nacional de piranómetros; sus equipos son aún de calidad y confiabilidad relativamente pobres comparados con los de fabricantes de países industrializados, pero se ha ido mejorando paulatinamente, conforme se han precisado sus fallas más importantes. Sobre estos equipos se han adaptado localmente bandas de sombra que los convierten en difusómetros.

Además de las mediciones directas, la radiación solar puede determinarse a partir de otros datos meteorológicos mediante expresiones analíticas de diferentes tipos. Los procedimientos de cálculo indirecto de la radiación son frecuentes dado el número limitado de estaciones solarimétricas existentes. Recientemente se ha comenzado a utilizar métodos e interpretación de fotografías tomadas desde satélites.

Dos características básicas de la energía solar son fuente de la mayor parte de las dificultades tecnológicas para su aprovechamiento:

- su baja densidad por unidad de área, lo que hace necesarios dispositivos con gran extensión para captar cantidades importantes de energía, y

- su intermitencia, lo que implica que para muchas de sus aplicaciones potenciales se requieren dispositivos de almacenamiento energético que encarecen las tecnologías.

Estas dos características hacen suponer que los esfuerzos de investigación y desarrollo podrían dirigirse fundamentalmente hacia dos puntos: a) la tecnología de materiales en su más amplio sentido, y b) el almacenamiento de energía.

El almacenamiento de temporal de energía, a bajo costo, es una condición para que la utilización de la energía solar se lleve a cabo a escalas importantes.

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.2.1 LAS CELDAS SOLARES

Las celdas solares (fotovoltaicas) son dispositivos que absorben energía de los fotones presentes en la luz que incide sobre ellas y la convierten en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico ocurre en dispositivos en que: a) en uno de los materiales que los componen se generan portadores móviles de carga eléctrica mediante la absorción de la energía de los fotones presentes en la luz, y b) existe además una barrera de potencial que permite separar a los portadores de carga de la región en que se generan.

Los materiales semiconductores, en los que la brecha de energía entre la banda de valencia y la de conducción es suficientemente pequeña como para que

electrones de estados de energía cercanos a la parte superior de la banda de valencia alcancen la de conducción al excitarse térmicamente, satisfacen la primera condición. La conducción de energía eléctrica en los semiconductores ocurre por los electrones que saltan a la banda de conducción, y por los "huecos" dejados por ellos en la banda de valencia al pasar a la de conducción. Cuando el número de electrones y huecos que se forman son iguales, el semiconductor se denomina intrínseco. Agregando impurezas a un material semiconductor intrínseco se puede lograr que el número de electrones disponibles para la conducción sea mayor que el de huecos, en cuyo caso se habla de un semiconductor del tipo *n*, o que los huecos sean mayoritarios, recibiendo entonces el semiconductor la denominación de tipo *p*.

Al poner en contacto semiconductores tipo *n* y tipo *p* se tiene en la unión la barrera de potencial a que se refiere la condición anotada arriba. Los semiconductores no son los únicos materiales en que puede ocurrir el efecto fotovoltaico, ni éste está restringido a sólidos. Sin embargo todas las celdas solares fotovoltaicas son actualmente fabricadas a partir de semiconductores.

Los semiconductores aprovechan sólo los fotones cuya energía excede la brecha entre bandas de valencia y conducción. La luz solar presenta un espectro continuo con una concentración alrededor de longitudes de onda de entre 0.5 y 2 μ m (la energía de los fotones es inversamente proporcional la longitud de onda). Los semiconductores más comúnmente empleados tienen brechas de entre 1 y 2.5 eV entre la banda de valencia y la de conducción, y pueden clasificarse como de brecha directa o indirecta. Los materiales de brecha directa absorben fotones más fácilmente. Para un valor dado de la brecha, el grosor de un semiconductor de brecha directa requerido para absorber una fracción fija de fotones es bastante menor que el de uno de brecha indirecta.

En la actualidad pueden distinguirse los siguientes tipos de celdas fotovoltaicas según los materiales empleados en las capas que las forman (entre

paréntesis se anotan los valores de las eficiencias que se han obtenido con ellos en laboratorio).

- *Homounión*. Un mismo material base con diferentes impurezas para obtener los semiconductores tipo n y p . Los semiconductores más comunes y sus eficiencias AM1 (Air Mass 1; iluminación solar en intensidad de 1 kW/m^2) son: silicio monocristalino (18%), silicio policristalino (10%), silicio amorfo (7%), arsenuro de galio monocristalino (22%), fosfuro de indio (6%).
- *Heterounión*. El semiconductor base tipo n es diferente del tipo p . Las celdas más comunes y sus eficiencias son: $\text{Cu}_2\text{S/S}$ (5%), InP/CdS (14%) y CdTe/CdS (8%).
- *Schottky*. La unión está formada por un semiconductor y un metal. Tal es el caso de las celdas de AW_2Se y Al/Si , con eficiencias de 5 y 13 % respectivamente.
- *MIS (Metal Insulation Semiconductor)*. Unión tipo Schottky con una capa aislante de 10 a 15 micrones entre metal y semiconductor. En silicio se han obtenido eficiencias del 12% y en arsenuro de galio del 15%.
- *SIS (Semiconductor Insulator Semiconductor)*. Unión entre dos semiconductores con una capa aislante de 10 a 16 micras entre ellos. Por ejemplo ITO/Silicio (12%) y óxido de estaño/silicio (12%).
- *Electroquímicos*. Un semiconductor (arsenuro de galio monocristalino) con unión líquida de compuesto de selenio.

Las celdas homounión $p-n$ de silicio y arsenuro de galio monocristalinos son en las que se ha logrado una mayor eficiencia de conversión. Sólo algunos semiconductores resultan adecuados para la construcción de celdas homounión, mientras que un gran número de ellos pueden formar heterouniones.

Las celdas solares fotovoltaicas son modulares, no tienen partes móviles, operan a temperatura ambiente (salvo en sistemas de concentración), poseen una

vida útil larga, responden tanto a la radiación directa como a la difusa y prácticamente no requieren mantenimiento.

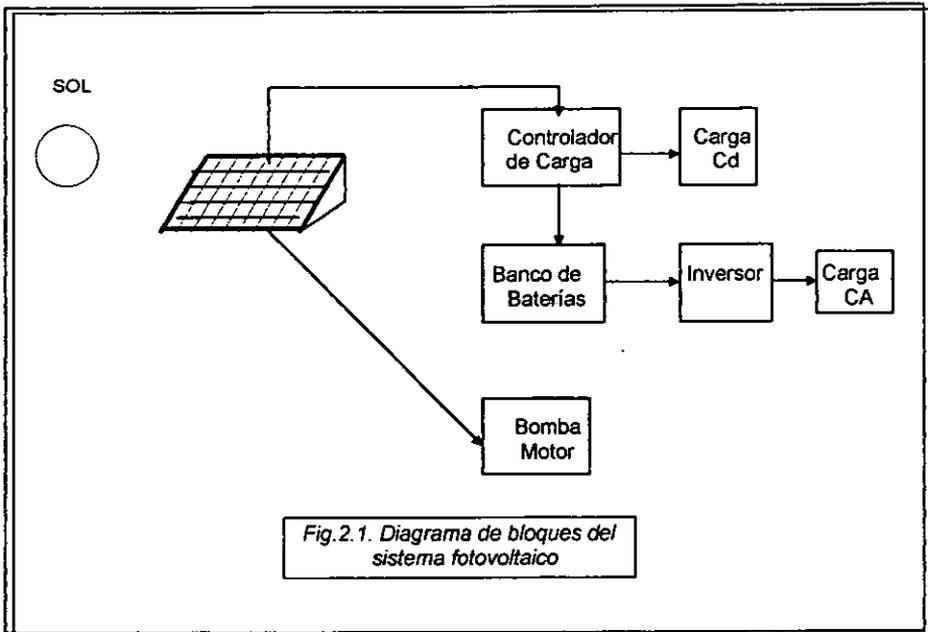
Las celdas fotovoltaicas son unidades pequeñas y generan bajas potencias, por lo que su aplicación requiere la conexión eléctrica de varias de ellas y encapsulamiento en un armazón que les proporcione soporte y protección formándose así lo que se conoce como un *módulo fotovoltaico*. La fracción del área expuesta al Sol de un módulo fotovoltaico cubierta por las celdas solares es de entre 75 y 90% , según la forma y distribución de éstas. Los módulos suelen reunirse en conjuntos, que se denominan *arreglos*, para adecuar el voltaje y potencia entregados a la demanda.

La energía eléctrica que por sí solas pueden suministrar las celdas, módulos o arreglos fotovoltaicos, sigue en el tiempo la curva de radiación solar incidente sobre ellos. Así, en aquellas aplicaciones que requieren de una alimentación sostenida de energía a cierto nivel de corriente y/o potencia, deben integrarse a los sistemas fotovoltaicos sistemas de almacenamiento de energía, en particular baterías eléctricas (típicamente de plomo ácido). Requieren además, en general, elementos eléctricos tales como reguladores de voltaje que protejan a las baterías y las conviertan de corriente directa a alterna.

2.2.2 EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos interconectados entre sí cuyo principal objetivo es transformar la energía solar en energía eléctrica.

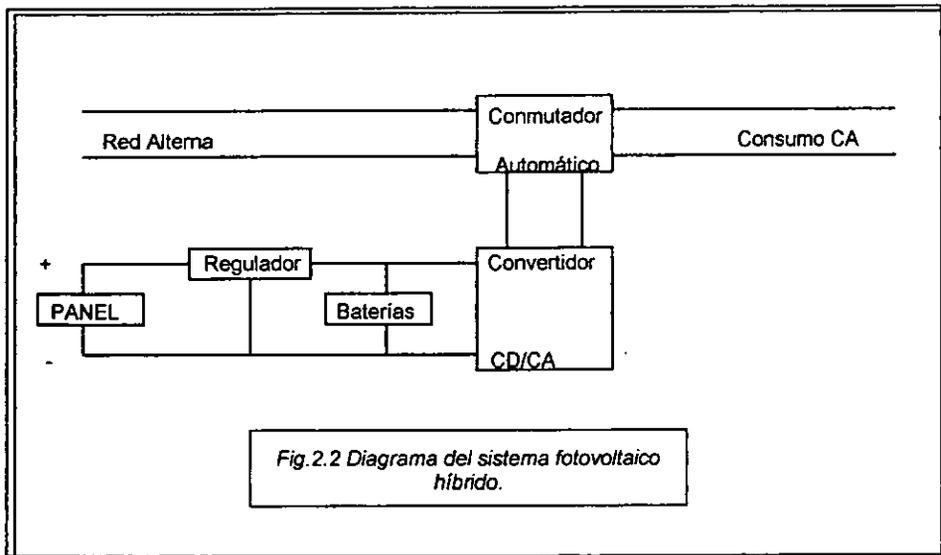
En la figura 2.1 se muestran los elementos principales que integran un sistema fotovoltaico.



La composición de un sistema fotovoltaico es variable, según el fin al que este destinado, en todos los casos, sin embargo, existe una estructura compuesta de tres subsistemas:

- Panel fotovoltaico (subsistema convertidor).
- Regulador y convertidor (subsistema electrónico).
- Baterías (subsistema acumulador).

Estos tres subsistemas se distribuyen en la forma que se refleja en la figura 2.2, en función de si el consumo de energía eléctrica se realiza en corriente directa o corriente alterna y de si existe o no apoyo con la red general.



- **Subsistema Convertidor**

La *célula solar*, como ya se explicó, es un dispositivo que convierte directamente la energía luminosa en energía eléctrica.

El *módulo solar*, es la unidad de generación fotovoltaica más pequeña que se dispone comercialmente. Consiste en un agrupamiento de células solares interconectadas entre sí y laminadas entre hojas de plástico y vidrio, para protegerlas del medio ambiente, con terminales para conectar el cableado al exterior.

Las células solares, en el módulo, se interconectan usualmente en serie para elevar su voltaje, ya que por sí mismas entregan un voltaje demasiado

pequeño (generalmente 0.5 V). Para elevar la corriente las células se conectan en paralelo.

Como norma general todas las células que van a ser conectadas en paralelo deben tener el mismo voltaje de circuito abierto y, más aún, el mismo voltaje de máxima potencia. Las células para ser conectadas en serie deben tener la misma corriente de corto circuito y la misma corriente de máxima potencia (estos datos son proporcionados por el fabricante). El desapareamiento de las características de las células solares produce malos módulos esto es debido a que las células de mayor fotocorriente y mayor fotovoltaje disipan su exceso de potencia en las células de menor característica eléctrica. La producción total de potencia se reduce, además, por un incremento de la temperatura del módulo debido a la disipación interna de potencia.

Se acostumbra agrupar entre 30 y 36 células solares para dar voltaje de carga a una batería convencional de 12 volts más las pérdidas del voltaje en el circuito que va desde los módulos solares a las baterías pasando por el controlador de carga.

Cada módulo solar tiene sus características propias de corriente y voltaje en función del nivel de insolación y de la temperatura de operación.

Las características que presenta un módulo frente a la radiación solar están definidas por los siguientes parámetros:

- Corriente de Corto Circuito (I_{sc}). Es la intensidad máxima de la corriente que se puede orientar en un modulo bajo determinadas condiciones de radiación solar. Esta corriente se obtiene midiéndose con un amperímetro entre bornes del módulo sin ninguna resistencia adicional, esto es, provocando un corto circuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.

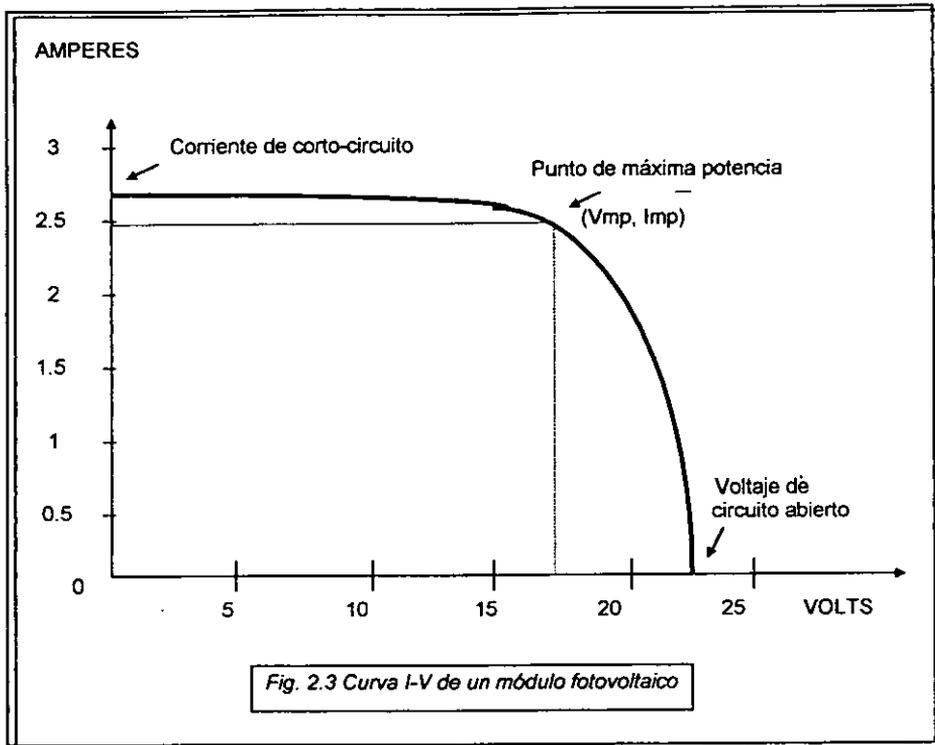
- Voltaje de Circuito Abierto (V_{oc}). Es la diferencia de potencial máximo que se obtiene midiendo con un voltímetro entre los bornes del módulo, es decir, en condiciones de circuito abierto.
- Corriente -Voltaje en un punto de operación (I, V). Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica lo usual es que un módulo produzca una determinada corriente que fluya a través de una carga que une los bornes del mismo y posee una determinada resistencia R . Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , decimos que la corriente de intensidad I se produce a un voltaje V .
- Potencia Máxima (P_M). En un as condiciones determinadas, la corriente tendrá un cierto valor comprendido entre cero e I_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre cero y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto de voltaje y corriente, ésta será máxima únicamente para cierto par de valores (I, V). Entonces, la potencia máxima de un módulo estará determinada por los valores V_m e I_m , tales que el producto sea máximo.

Eficiencia Total (η_T). Es el cociente de la potencia eléctrica producida por el módulo y la radiación incidente sobre el mismo.

En la figura 2.3 se muestra la curva característica de un módulo fotovoltaico bajo condiciones de temperatura y radiación constantes. En esta curva se pueden observar los conceptos definidos anteriormente.

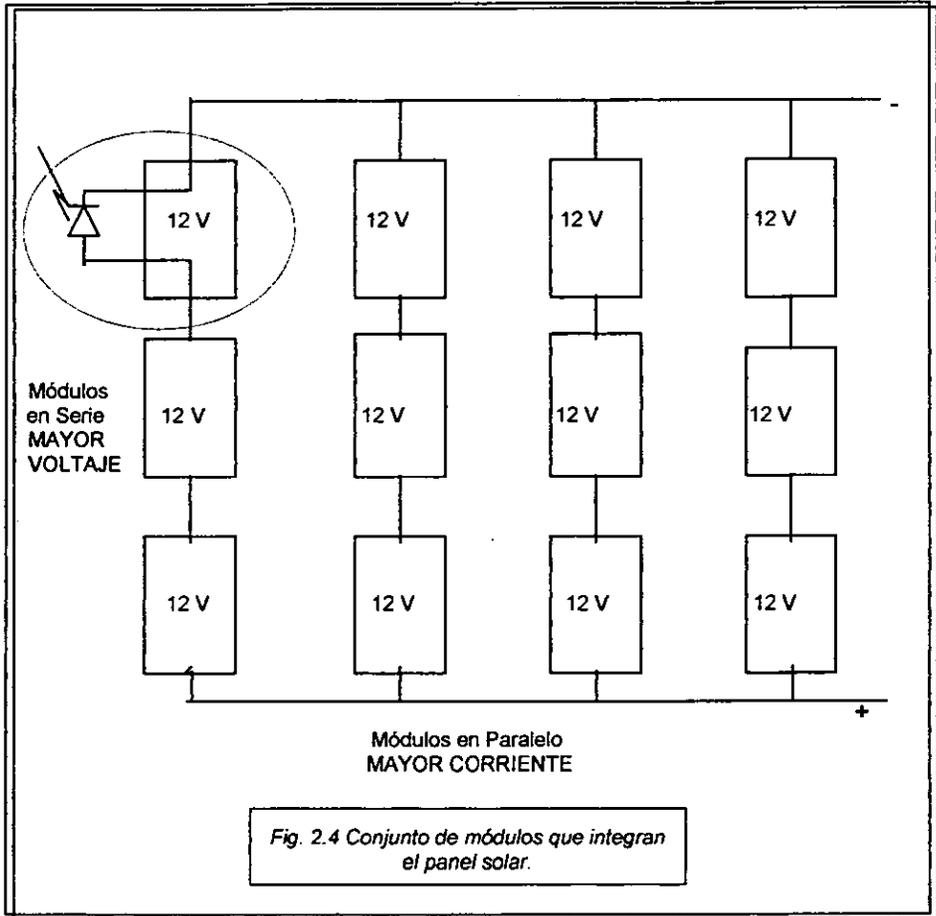
La curva característica del módulo, o curva I - V , se obtiene variando la resistencia R externa desde cero hasta infinito, midiendo por pares los valores (I - V).

En la gráfica, el punto A es un punto cualquiera representando el funcionamiento del módulo a un voltaje V y a una corriente I . El área del rectángulo definido con el punto A corresponde a la potencia del módulo. El punto B corresponde a la máxima potencia.



El *panel solar* es un conjunto de varios módulos solares interconectados en serie, en paralelo o en una combinación de ambos, como se observa en la figura 2.4.

Si los módulos solares se conectan en serie, el panel tendrá un voltaje de salida más alto., mientras que la corriente del panel será la misma que la de los módulos. El voltaje de salida es igual a la suma de voltaje de cada uno de los módulos. Para obtener una corriente de salida mayor en un panel, los módulos se conectan en paralelo entre sí, y el voltaje será el mismo que el de los módulos.



Cualquier periodo específico de potencia se puede satisfacer conectando el número adecuado de módulos en serie o paralelo.

En general, los paneles solares se montan rígidamente y orientados hacia el Sur con una inclinación cercana al ángulo de latitud del lugar donde se ubique.

Una ventaja que tienen los paneles solares, es que no necesitan mantenerse ópticamente limpios, excepto en caso de que estén instalados en lugares donde exista la posibilidad de quedar cubiertos por capas opacas de suciedad o nieve, la contaminación sólo afecta levemente a su buen funcionamiento. Aunque las superficies sucias difunden la luz solar y absorben poca energía, las células solares continúan funcionando bajo luz difusa.

- *Subsistema Electrónico*

Los módulos fotovoltaicos tienen una salida en tensión superior a la tensión nominal de las baterías o acumuladores usados en las instalaciones. Este hecho es debido fundamentalmente a dos causas:

1. La tensión del panel debe ser más elevada, para paliar la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura.
2. La tensión del panel fotovoltaico debe ser siempre mayor que la tensión de la batería, para poder cargarla adecuadamente. Para alcanzar un pleno estado de carga en una batería de 12 V nominales necesitamos una tensión mínima de 14 V.

La misión del *regulador* se centra, por lo tanto, en evitar que, debido a una tensión excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento sobrecargar el acumulador, con el consiguiente perjuicio que puede acortar la vida de la batería.

Esencialmente existen dos tipos de reguladores:

1. Regulador Shunt o Paralelo. Estos dispositivos conectados en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectan la tensión de los bornes de la batería y cuando este potencial alcanza un valor establecido de antemano, crean una vía de baja resistencia a través del grupo solar, derivando con ello la

corriente y apartándola de las baterías. Además estos reguladores disipan toda la corriente de salida del grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con sistemas grandes se requieren disipadores térmicos de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de costo elevado.

2. Regulador Serie. Estos aparatos se basan en el concepto de la regulación en serie, en el que el grupo solar se desconecta del sistema de baterías cuando se logra un estado de plena carga. En una palabra, este equipo es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia (miliohms) desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga, y un circuito abierto entre el grupo solar y la batería cuando ésta se encuentra plenamente cargada. En el regulador serie no se disipa nada de energía en uno u otro estado, porque cuando está en la posición cerrado no hay caída de tensión en el interruptor y cuando se encuentra en la posición de abierto, no hay paso de corriente.

El *convertidor de CC/CA* es un dispositivo cuya misión fundamental es convertir la tensión continua del panel o del acumulador en tensión alterna. Generalmente los convertidores son clasificables en dos grandes grupos, según la salida que suministran: de onda senoidal y de onda cuadrada. Estos últimos son de menor precio y suelen ser suficientes en gran número de aplicaciones, aunque tienen un menor rendimiento.

Cómo regla general práctica, en toda instalación de energía solar debemos utilizar lo menos posible los convertidores y tratar por todos los medios de alimentar los equipos en corriente continua. Esta afirmación se hace por dos motivos diferentes: uno es el costo final, que obligatoriamente será mucho mayor, y otro es una fiabilidad, ya que todos los equipos al estar alimentados por el convertidor quedarán sin funcionar si éste sufriera alguna avería.

- *Subsistema acumulador*

En la mayoría de los sistemas fotovoltaicos es imprescindible la utilización de algún sistema de acumulación de energía eléctrica, esta es la función de la *batería* o *acumulador*.

El acumulador es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. Las funciones de un acumulador se resumen en lo siguiente:

- *Suministro de energía en horas de no insolación o en épocas de menor insolación (invierno).
- *Garantizar autonomía en días nublados.
- *Garantizar, en conjunción con el regulador, una tensión de funcionamiento de la instalación bien definida.
- *Suministrar energía a aparatos de elevada potencia y corto periodo de utilización.

Gracias al subsistema de acumulación se pueden utilizar equipos cuya potencia es superior a la pico de los paneles fotovoltaicos. En efecto, los acumuladores electroquímicos clásicos pueden ser descargados en un amplio margen de intensidades sin ser dañados.

La capacidad de un acumulador se mide en Amperes-hora (AH), para un determinado tiempo de descarga. Si este tiempo es muy corto, la capacidad de la batería disminuye, mientras que si el tiempo de la descarga aumenta, ésta se hace lenta, aumentando la capacidad de la batería.

Se define la capacidad como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado.

Esta capacidad es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa, calculada hasta que alcanza la tensión final. Esto es, si tenemos un acumulador de 180 AH medido en 10 horas de descarga, significa que el acumulador puede darnos 18 A durante 10 horas

La misión principal del acumulador dentro de un sistema solar fotovoltaico consiste en suministrar energía tal y como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del panel en este preciso momento.

Cumple por otra parte, una misión de fiabilidad ya que también tiene el trabajo de poder alimentar a la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a condiciones meteorológicas adversas.

Las condiciones que debe cumplir un acumulador para ser usado en una instalación fotovoltaica son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.
- Fácil transporte e instalación.
- Baja autodescarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

Existen diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo ácido.

Las primeras presentan unas cualidades excepcionales pero, debido a su elevado precio, no se hacen muy cómodas para su utilización en los sistemas solares.

Por el contrario, las baterías de plomo-ácido en sus diferentes presentaciones son las más usadas para aplicaciones solares, ya que se adaptan a cualquier corriente de carga y su precio no es muy elevado.

Entre las características que se pueden mencionar de los acumuladores de níquel-cadmio tenemos las siguientes:

- Resistencia a bajas temperaturas e incluso a la congelación de su electrolito, una vez que éste se descongela el acumulador podrá operar normalmente otra vez.
- Pueden soportar los cortocircuitos, sin que se dañen, al juntar las terminales de los postes por error humano.
- Pueden soportar la falta de agua de su electrolito, dejando, de funcionar temporalmente hasta que se le añade.
- Pueden ser empleados en aplicaciones fotovoltaicas en lugares remotos o de difícil acceso ya que casi no requieren mantenimiento.
- No emiten gases corrosivos, ya que su electrolito no es ácido sino una solución de agua (80%) e hidróxido de potasio (20%).

Las características de las baterías de plomo-ácido son:

- Bajo costo.
- Disponible comercialmente.
- Poca tolerancia a descargas profundas.
- Requiere añadir agua.
- Buena tolerancia a temperaturas altas.
- Auto descarga importante al envejecer.

Otro tipo de baterías empleadas son las baterías herméticas que son utilizadas principalmente en sistemas fotovoltaicos pequeños, en donde los consumos son muy bajos o el tiempo de uso de estos es muy corto. Estas baterías pueden ser de plomo-ácido o níquel-cadmio, con las características de cada tipo, pero también otras ventajas:

- Totalmente herméticos, por lo que no existe peligro de pérdida del electrolito.
- Son libres de mantenimiento.
- No emiten gases corrosivos.
- Amplio rango de temperaturas (en modelos Ni-Cd pueden trabajar de -60°C a 60°C).

2.2.3 ACTUALIDAD

En la actualidad hay un gran número de situaciones donde el uso de los sistemas fotovoltaicos han sido considerados como la mejor solución a las necesidades energéticas.

En general los sistemas fotovoltaicos no se encuentran limitados en aquellos casos donde se requiera el suministro de energía eléctrica ya sea en alta o en baja escala.

Dependiendo de las necesidades energéticas, un sistema fotovoltaico podrá satisfacer "relativamente" pequeñas y medianas demandas de consumo de

energía eléctrica, por lo que un sistema de este tipo podrá ser tan grande, o tan pequeño, como se requiera.

En general, las principales aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Viviendas aislada: electrificación de casas rurales, viviendas de medio consumo, utilizadas en fines de semana, viviendas de medio consumo utilizadas en vacaciones, viviendas de uso permanente.

b) Comunicaciones: en cabinas de emergencia instaladas en las carreteras, en cabinas telefónicas instaladas en las carreteras.

c) Ayuda a la navegación: faros en el mar, sirenas de nieblas, instrumentos de guiado para aterrizaje, en la carga de baterías de veleros y algunos pequeños barcos.

d) Ferrocarriles: señalización de cruces, semáforos, energía auxiliar para vagones.

e) Agricultura: bombeo y riego, iluminación de naves de crianza, invernaderos.

f) Alumbrado: iluminación de señales de tránsito, iluminación de carteles publicitarios, iluminación de cruces de carreteras, iluminación de calles y avenidas.

Además de estas aplicaciones, cabe mencionar que hace escasamente algunos años, la única utilización conocida de los sistemas fotovoltaicos era como generadores de energía eléctrica en satélites artificiales, hasta que se les dieron aplicaciones terrestres como algunas de las ya mencionadas.

Gracias al desarrollo que han tenido los sistemas fotovoltaicos, actualmente se están considerando como fuentes alternativas de energía a gran escala, tal es

el caso de la creación de centrales solares, en particular la central fotovoltaica construída en España la cual genera una potencia de 1 Mw

2.2.4 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Su costo inversión + operación es menor que extender una línea eléctrica hasta el lugar donde se localiza (12 centavos de dólar por kW/h generado) y se requiere de energía eléctrica; su costo es menor que operar un equipo de combustión interna, aún cuando la inversión inicial de un sistema fotovoltaico puede ser más alta que un generador diesel o gasolina, el ahorro de combustible y el mantenimiento hacen más rentable al sistema fotovoltaico en aquellas aplicaciones donde la carga es menor a 10 Kw-hora/día.

Su instalación es muy rápida. Un sistema fotovoltaico típico puede transportarse y estar en operación en menos de una semana, mientras que extender una línea eléctrica puede tardar meses; la instalación de un sistema fotovoltaico tiene un impacto mínimo en la ecología del sitio en comparación con una extensión de una línea eléctrica, lo cual puede significar derribar decenas de árboles y operar una planta diesel que contamina el aire y produce ruido.

2.2.5 FUTURO

En el futuro, se espera que los sistemas fotovoltaicos reduzcan su aún alto costo, pero con un aumento en su eficiencia de conversión, lo que limita la industrialización a gran escala de este tipo de tecnología.

Para estos sistemas se predice una reducción importante en los costos para los próximos años, si bien, todavía está a discusión lo barato y lo rápido, dependiendo de los fondos con que cuente la investigación y desarrollo para ésta tecnología y con cuanta rapidez se alcancen niveles de eficiencia. No obstante se puede esperar una reducción en el costo en un 60% para el año 2030.

Los proyectos de electrificación se van extendiendo hacia los países en vías de desarrollo, se está logrando un gran progreso en diversos países como por ejemplo República Dominicana, en las islas de la Polinesia Francesa y Grecia.

Además de los sistemas que ya existen, hay impresionantes proyectos en fases de planeación. Cinco países en Sahel, África Occidental (Gambia, Guinea, Biesau, Mauritania y Senegal) han comisionado a dos compañías alemanas para establecer estaciones solares de bombeo de agua en sus territorios. El proyecto involucrará muchos sistemas fotovoltaicos descentralizados para dar energía a bombas de riego y otros componentes, y generará 640 Kw de electricidad en total. Se espera que el proyecto incluya la construcción de 410 sistemas de bombeo, 89 de enfriamiento, 303 de iluminación y 33 de carga de baterías.

El futuro de los sistemas fotovoltaicos, es como observamos, prometedor y bastante convincente, cada vez más países han decidido enfocar su atención a la energía solar como alternativa energética para apoyo en sus necesidades eléctricas.

2.2.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: El Sol.
2. Disponibilidad del energético: Abundante.
3. Sistema de generación: Sistema fotovoltaico.
4. Eficiencia del sistema: Buena.
5. Ubicación de la planta: Zonas de alta insolación (zonas áridas)
6. Sugerencias de ubicación en México: norte de Sonora y Chihuahua, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Puebla y Oaxaca.
7. Costo de generación: 12 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Ninguno.

2.3 COLECTORES CONCENTRADOS

Con los colectores concentrados (algunas veces llamados tecnologías eléctricas térmicas solares), se dió un gran paso hacia el uso en gran escala de la energía solar. Estas tecnologías pueden producir temperaturas más altas y, por lo tanto se usan en mayores aplicaciones, como directamente para empresas industriales, o para crear vapor y electricidad. Debido al amplio rango de uso y los mercados posibles (servicios públicos, industria), el mercado para los colectores concentrados es importante. En la década de los 90's los sistemas térmico solares suministran aproximadamente 200 Mw de energía en el vecino país de Estados Unidos.

Existen cuatro tipos de colectores concentrados:

- canales parabólicos,
- reflectores parabólicos,
- receptores centrales y
- estanques solares.

Un colector concentrado emplea superficies reflectoras para concentrar la radiación solar y después usarla para calentar líquidos y generar electricidad o bien procesar calor. Las tecnologías térmicas solares tienen la ventaja (sobre la fotovoltaica) de poder almacenar la energía térmica solar a fin de extender la operación hacia las horas en que no hay luz de día o en los días solares, colocando el líquido caliente en tanques aislados de almacenamiento. También pueden producir vapor para procesos industriales.

2.3.1 CANALES PARABÓLICOS

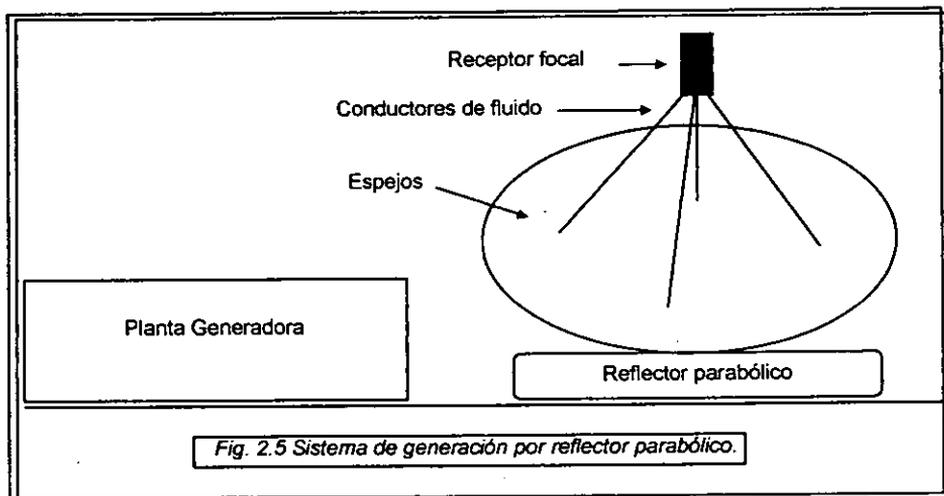
Los canales parabólicos son espejos en forma de U que concentran la luz del Sol dentro de un receptor lineal, generalmente un vidrio al vacío o tubo metálico que corre a lo largo del punto focal del canal. Los tubos se llenan con aceite o agua que alcanzan temperaturas superiores a los 340°C. esta clase de sistema generalmente sigue al Sol en uno y a veces dos ejes.

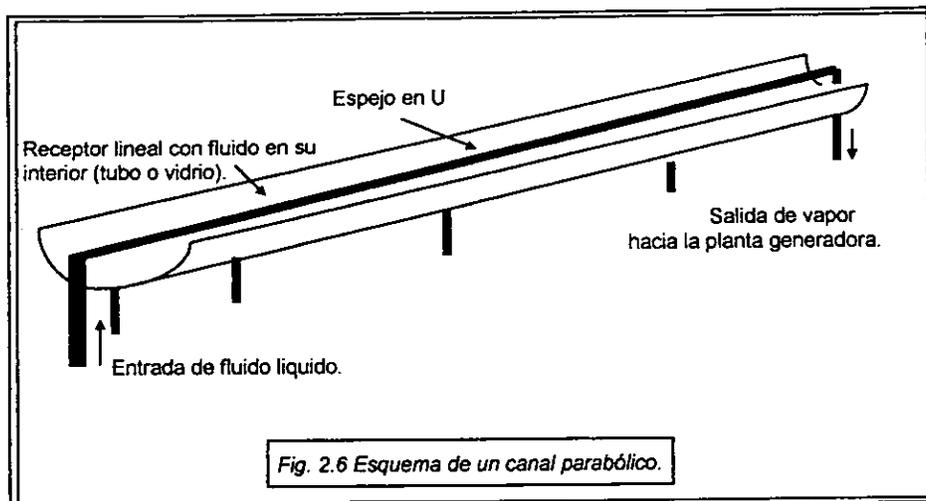
Los sistemas de canales parabólicos son modulares y pueden unirse para producir grandes cantidades de líquido caliente. Este líquido se transporta a una instalación cercana para generar electricidad. Su diseño modular también significa que se pueden crear un número mayor de estaciones de energía más grandes, según se necesiten y sin inconveniente alguno.

2.3.2 REFLECTORES PARABÓLICOS

Los colectores de reflectores parabólicos también se llaman colectores de "foco crítico". En este diseño la energía solar se concentra en un receptor localizado en el punto focal al frente de la parábola reflectora. Estos colectores ofrecen una concentración más elevada de la energía del Sol y, por lo tanto, producen la temperatura más alta de todas las tecnologías de colectores concentradores de corriente. Se han alcanzado temperaturas de hasta 2,000°C, aunque para la mayoría de los usos no se necesitan temperaturas tan altas.

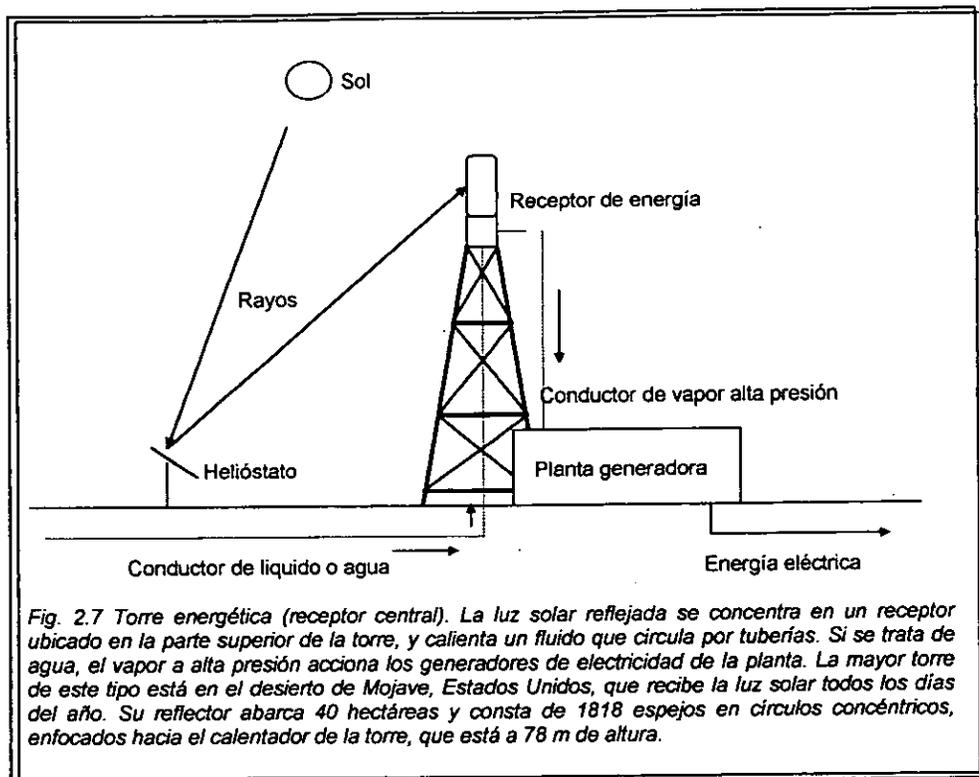
Debido a que el diseño dirigido por computadora del reflector parabólico permite que el colector se enfoque directamente en los rayos solares en todo momento, este tipo de sistema es muy eficiente. Los reflectores parabólicos prototipo y de laboratorio han alcanzado niveles de eficiencia de 31%.





2.3.3 RECEPTORES CENTRALES

Los sistemas parabólicos se llaman sistemas distribuidos, en comparación con los sistemas receptores centrales, los cuales usan muchos espejos grandes llamados helióstatos, que concentran la luz solar en un receptor localizado en una torre. Este receptor retiene líquido transmisor de calor que circula por todo su interior; el cual puede calentarse a temperaturas que van desde los 537°C a los 1,480°C. Este tipo de sistema también emplea controles computarizados para seguir al Sol de manera constante.



2.3.4 ESTANQUES SOLARES

Los estanques solares representan la forma más simple de colector concentrado. Son estanques de agua salada que atrapan el calor en el fondo, bajo tres capas de agua con diversos grados de salinidad. El agua tibia generalmente se eleva, pero las capas del estanque bloquean esta acción, atrapando el agua caliente en el fondo con sal, lo que la hace demasiado densa para elevarse a la

parte superior y enfriarse. El agua caliente entonces se almacena como calor o se usa para proporcionar calor para otras aplicaciones, el calor por ejemplo puede utilizarse para evaporar un fluido con punto de ebullición bajo, cuyo vapor active una turbina y generador eléctrico, de ésta manera estableciendo una planta generadora con este tipo de colector.

2.3.5 ACTUALIDAD

Las plantas térmicas solares más grandes del mundo se localizan en California. Estas plantas producen 354 Mw de energía eléctrica y se han planeado plantas adicionales que produzcan 320 Mw adicionales.

Las altas temperaturas alcanzadas por los reflectores parabólicos hacen particularmente adecuadas para la generación de electricidad (para empresas) y en laboratorios donde se realizan investigaciones de altas temperaturas.

El calor reunido desde los receptores centrales puede usarse directamente para aplicaciones industriales o para activar una turbina con la consecuente generación eléctrica.

La naturaleza única de los estanques solares en comparación con otros colectores impide que se extienda su uso, pero también les proporciona muchas ventajas. Aunque los estanques no pueden tener muchas aplicaciones porque son muy específicos en cuanto a su sitio, se han establecido muchos lugares alrededor del mundo. Israel encabezó, a nivel mundial, la investigación relacionada con los estanques solares en 1958 y construyó el primer estanque solar generador de electricidad en 1979 en las playas del Mar Muerto. El estanque suministraba más de 200 Kw de electricidad de carga pico en el sistema de energía nacional israelí.

El último proyecto del país produce hasta 5 Mw de electricidad durante los periodos pico. Los estanques solares están suministrando energía en otras partes del mundo también. En Australia, un estanque prototipo suministra hasta 20 kilowatts de electricidad en forma intermitente.

2.3.6 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

El costo de la energía proveniente de las tecnologías térmicas solares se ha reducido significativamente durante los últimos diez años. Actualmente el costo es de 12 centavos de dólar por kilowatt/hora tomando como base su costo en Estados Unidos, y se espera que el costo baje hasta unos 5 centavos de dólar por kilowatt/hora, lo que representa casi un tercio del costo de generación por una planta nuclear. Se planea que las tecnologías térmicas solares puedan ser absolutamente competitivas económicamente en los próximos diez años.

Las plantas térmicas solares no generan emisiones ni desperdicios de gas. El principal impacto ambiental de la generación de energía térmica solar se encuentra en el espacio terrestre usado. Las plantas más recientes de Luz Internacional en el sur de California deben usar menos de cinco acres por Mw producido. Si bien este requisito puede parecer elevado, no lo es más que la tierra que necesitan las plantas carboeléctricas y nucleoeeléctricas cuando la extracción del combustible primario y otros uso de tierra se toman en cuenta, del mismo modo, las plantas térmicas solares emplean mucho menos agua que las plantas nucleares y de carbón.

Las tecnologías térmicas solares tienen ventajas adicionales sobre los métodos tradicionales de generación de electricidad. Por ejemplo los tiempos de construcción son significativamente más cortos. Las primeras plantas eléctricas

térmicas solares del sur de California se construyeron en nueve meses, en comparación con los seis a doce años para las plantas convencionales de energía.

2.3.7 FUTURO

La tecnología térmica solar se está desarrollando y recibiendo cada vez más atención en muchos países. Esa investigación internacional está mejorando la competitividad en términos de costo, la confiabilidad y la eficiencia de los colectores solares.

Países como México, Italia, Argentina, Japón, Portugal, Qatar, y Kuwait tienen futuros proyectos sobre el aprovechamiento de tecnologías térmicas solares.

2.3.8 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: El Sol.
2. Disponibilidad del energético: Abundante.
3. Sistemas de generación: Plantas eléctricas térmicas solares.
4. Eficiencia de los sistemas: Buena.
5. Ubicación de las plantas: Zonas de alta insolación.
6. Sugerencias de ubicación en México: Norte de Sonora y Chihuahua, Durango, Zacatecas, Puebla y Oaxaca.
7. Costo de generación: 12 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Ninguno.

3. ENERGIA EÓLICA

3.1 LA ENERGÍA DEL VIENTO

El movimiento de masas de aire atmosférico en sentido horizontal se denomina viento. Tiene su origen en diferencia de presiones que se crean en diversos puntos de la Tierra, las que a su vez tienen su causa en la acción termal que el Sol provoca en las masas de aire de la atmósfera en los diferentes lugares, de acuerdo con la incidencia de la radiación y con la potencia de ésta, influida por la actividad de la atmósfera solar y por las manchas solares. Las corrientes de aire en sentido vertical son de tipo convectivo y no tienen la energía dinámica del viento. La energía del viento depende fundamentalmente de su velocidad, ya que la masa específica varía poco a nivel del suelo, siendo constante la masa atmosférica terrestre, es evidente que los vientos serán sólo corrientes circulatorias de aire. Por otra parte, los vientos tienen una importancia capital en el régimen de lluvias que tanto influyen en la climatología de las diferentes regiones de la Tierra.

La *dirección del viento* que sopla próximo a la superficie terrestre, donde puede encontrar aplicación la energía del mismo, se indica por una simple flecha con amplia cola en forma de aspa, en la que actúa la corriente de aire obligándola a tomar su misma dirección. La punta de la flecha señala la procedencia del viento. Se acompaña de un indicador de los cuatro puntos cardinales.

La *velocidad del viento* se mide generalmente con un *anemómetro* de copas, en sistemas fijos, este consiste en un juego de cuatro copas semiesféricas o cónicas montadas en los extremos de una cruceta, sustentada por un eje vertical en el punto de cruce y mantenida en posición horizontal. La sección ecuatorial de las copas se coloca en planos verticales que contienen también a la misma varilla de sustentación. Por la acción del viento, el sistema gira, calculándose su velocidad por la acción dinámica del mismo, traducida en número de vueltas por unidad de tiempo que registra un contador de revoluciones.

El *tubo de Pitot* es otra forma sencilla y generalizada de medir la velocidad del viento; se emplea en los aviones u otros móviles y en experimentación. El tubo de Pitot mide la presión estática por un lado y por otro la estática más la dinámica. Por diferencia se obtiene el valor de la presión dinámica $\rho V^2/2$ y el de la velocidad.

Un método muy antiguo que data de 1660 consistía en hacer incidir el viento sobre una placa que adquiría mayor o menor deflexión ante la acción dinámica del flujo, sólo hacía falta calibrar el sistema para valores conocidos.

Para medir la velocidad del viento a cierta altura, de varios cientos de metros sobre el suelo, se emplean globos sonda que tienen una ascensión sensiblemente constante. Un teodolito permite seguir al globo en su deriva, calcular el azimut y la altitud y determinar velocidades en distintas posiciones. En la noche el globo debe estar provisto de luz para ser localizado fácilmente.

Para que la energía del viento encuentre utilización en un sistema de conversión con fines prácticos es preciso que el viento ofrezca ciertas *características mínimas* para el nivel de utilización que se pretende. Sin duda la más importante es la *regularidad* con que se manifiesta el viento, unida a ciertas condiciones de *velocidad* más o menos constantes. De esta manera la turbina de conversión o dispositivo de aprovechamiento de la energía dinámica del viento

podrá concebir con determinadas características que permita obtener rendimientos aceptables justificando la inversión que exige la instalación de esta índole.

Los vientos que ofrecen mayor garantía son los alisos y las brisas del oeste, y en ciertos casos los vientos periódicos. Los contralisos sí son regulares, pero circulan a un nivel muy alto sobre el suelo a la energía de los vientos circunstanciales no se le encuentra utilización.

En el territorio mexicano son aprovechables fundamentalmente las corrientes de los alisos, particularmente en el SE, centro y norte. Los vientos alisos pueden ser utilizados en zonas de la Tierra comprendidos entre los 15° y 30° de latitud norte y sur. Las brisas del oeste se benefician en los litorales occidentales de los continentes. Típicos son los molinos de viento de Holanda, por ejemplo, la utilización de la energía del viento se efectúa en todo el mundo, en mayor o menor grado, según las características de las diferentes zonas de la Tierra.

Sin embargo, no se puede decir que la energía del viento se use ya a escala industrial en ninguna parte del orbe. Es verdad que representa una economía, que no produce contaminación, que la energía está disponible para todo el mundo; pero sólo puede ser tomada en pequeñas proporciones, limitadas por las dimensiones de las máquinas de conversión, el volumen de aire en movimiento es grande, pero su masa específica es muy pequeña; sólo con dispositivos de gran tamaño se puede aumentar la cantidad de energía captada. La acción dinámica del fluido $\rho V^2/2$ se ve desde luego más influida por la velocidad que por la masa, pero las velocidades de los vientos que pueden ser utilizables (regulares y periódicos) son bajas o moderadas (del orden de 20 a 40 km por hora), con lo que tampoco se puede ganar mucha energía a base de velocidad. De esta manera se tiene limitada la potencia disponible por unidad que le impide a esta fuente de energía una incorporación al régimen industrial actual, donde las unidades de conversión son cada vez de mayor capacidad, sin

embargo, se investiga en este campo y se advierten buenas posibilidades en un futuro próximo.

3.2 SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA

3.2.1 AEROTURBINAS

La energía cinética del viento puede convertirse en energía mecánica rotacional en forma *directa*, cuando se extrae por medio de superficies que están en contacto directo con el viento y acopladas a motores mecánicos, o en forma *indirecta*, cuando interviene un elemento intermedio para su conversión. La energía mecánica rotacional puede ser a su vez convertida en energía eléctrica o térmica. Las aplicaciones de interés corresponden todas a aprovechamientos directos.

La turbina eólica (aeroturbinas) constituye el principal elemento de los sistemas de aprovechamiento de energía, constituida por un arreglo de aspas, soportadas por una torre, que giran al ser atravesadas por una masa de aire.

Existe una gran variedad de diseños de aeroturbinas; en la figura 3.1 se esquematizan los más conocidos. Las aeroturbinas pueden agruparse en dos grandes conjuntos:

- de *eje horizontal* y
- de *eje vertical*

de acuerdo a la posición del eje con respecto a la superficie terrestre.

- *Aeroturbinas de eje horizontal*

Las aeroturbinas de eje horizontal pueden tener una, dos, tres o más aspas. A mayor número de aspas corresponde una mayor superficie de contacto con el viento. La razón entre la superficie en contacto con el viento y el área barrida por las aspas de una aeroturbina se denomina "solidez". Cuanto mayor es la solidez, la aeroturbina tiene menor velocidad de giro y un par de arranque mayor, obteniéndose un mayor par a bajas velocidades del viento. Por otra parte, las aeroturbinas con menos solidez capturan una mayor cantidad de energía por unidad de costo con vientos de alta velocidad.

En las aeroturbinas de eje horizontal (de dos o tres aspas) las aspas pueden estar colocadas viento arriba o viento abajo de la torre que las soporta, las aeroturbinas de baja potencia suelen emplear una configuración de viento arriba, principalmente porque permite que con una simple veleta colocada en la parte posterior de la aeroturbina ésta se reorienta sola al cambiar la dirección del viento, manteniéndose así el área de barrido de las aspas siempre perpendicular a la dirección del viento, maximizando la energía captada, la configuración de viento abajo es utilizada habitualmente por los aerogeneradores de gran tamaño, en los que la veleta no resulta práctica requiriéndose normalmente de otros mecanismos para reorientar la turbina. La configuración de viento abajo puede emplearse también para aeroturbinas de pequeña potencia, pero entonces se presentan problemas de oscilaciones constantes sobre el eje vertical, además de otras dificultades ocasionadas por la "sombra" de la torre (que actúa como barrera contra el viento y en consecuencia las aspas no están sometidas a esfuerzos constantes, causándose fatiga y disminución de resistencia en sus materiales).

Las aeroturbinas de eje horizontal de dos o tres aspas utilizan mecanismos automáticos de control que permiten girar todo el dispositivo dejando su eje de rotación perpendicular a la dirección del viento cuando éste sopla a velocidades

excesivas. Se emplean además otros mecanismos para controlar el ángulo de ataque de las aspas con el viento logrando de esta manera que el rotor de la aeroturbina gire a su velocidad constante.

La elección entre una configuración de dos aspas o una de tres se basa fundamentalmente en un compromiso; con tres se distribuyen mejor los esfuerzos estructurales a que está sometida la aeroturbina, pero con dos aspas se reduce el costo y se obtienen mayores velocidades de giro. En general las aeroturbinas de gran tamaño tienen dos aspas y entre las pequeñas no existe preferencia por una u otra configuración.

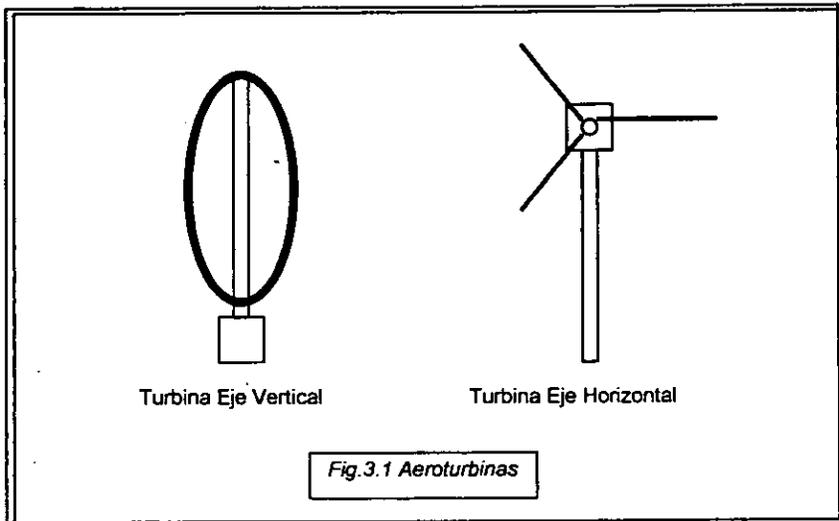
- *Aeroturbinas de eje vertical*

Entre las aeroturbinas de eje vertical pueden distinguirse tres tipos importantes: *Savonius*, *Darrieus* y *Ciclogiro*. Las de menor eficiencia son las de rotor tipo *Savonius*, que presentan una superficie de contacto al viento siendo por ello de baja velocidad y par inicial muy alto. Un rotor *Savonius* consta de dos mitades de un cilindro partido verticalmente de arriba hacia abajo, unidas de tal modo que en un corte horizontal cualquiera forman una especie de S.

Las aeroturbinas de eje vertical más utilizada es la de rotor tipo *Darrieus*, cuyas aspas asemejan las de una batidora. Normalmente tiene dos o tres aspas soportadas en la parte superior e inferior de la flecha, cuya geometría presenta una curva suave conocida con el nombre de "Troposkien", disminuyendo la forma de estas aspas los problemas de pandeo. Estas aeroturbinas necesitan una potencia adicional no eólica para iniciar su operación, lo que representa una desventaja. Algunos prototipos emplean pequeños rotores *Savonius* para iniciar su operación y una vez iniciada son de alta velocidad.

El tercer tipo de aeroturbinas de eje vertical de importancia es el ciclogiro; es semejante al Darrieus, con dos diferencias importantes respecto: primero, las aspas son rectas y, segundo, su orientación se modifica constantemente durante la rotación a fin de maximizar el par inducido por el viento, requiriendo por ello un mecanismo de reorientación de aspas. La potencia pico predicha para este tipo de aeroturbinas es más alta que para cualquier otro:

Las aeroturbinas de eje vertical tienen ciertas ventajas sobre las de eje horizontal. Los rotores de eje vertical no requieren de un sistema de reorientación; cuando se utilizan para generar energía eléctrica sólo requieren de un anillo colector que transmita la energía a la base de la torre y no necesitan un mecanismo de control para regular la inclinación de las aspas. Inherente a la tercer ventaja, las aeroturbinas de eje vertical tienen como desventaja que la orientación de las aspas con respecto al eje rotor permanece constante y no siempre tiene la mejor orientación con respecto al viento.



La eficiencia aerodinámica de las aeroturbinas se denomina coeficiente de potencia C_p y se define como la razón entre la energía útil disponible y la energía primaria de donde se obtuvo. Las pérdidas de energía de la aeroturbina pueden atribuirse principalmente al movimiento rotacional que las aspas provocan en el aire al entrar en contacto con él y a la fricción entre aspas y viento.

El coeficiente de potencia depende del tipo y características de las aspas del rotor y varía con la razón de la velocidad tangencial, definida como la razón instantánea entre la velocidad de punta del aspa y la velocidad del viento. La eficiencia de conversión de energía eólica en mecánica es máxima sólo para un valor de la razón de velocidad tangencial, misma que tiene un rango característico que depende de la solidez de la aeroturbina de que se trate.

Cuando la velocidad nominal de la aeroturbina corresponde al valor máximo de C_p y se desea que la velocidad de la flecha sea constante, desviaciones de la velocidad del viento con respecto del valor de diseño resultan en una disminución de C_p máximo para todo rango de velocidades de operación.

De lo anterior resultan de manera natural dos modos básicos de conversión de energía eólica en mecánica rotacional:

- sistemas de velocidad constante, en los que la velocidad del rotor de la aeroturbina se mantiene constante cambiando el ángulo de ataque de las aspas y/o las características de la carga, y
- sistemas de velocidad variable, que permiten que la velocidad del rotor de la aeroturbina varíe proporcionalmente a la velocidad del viento, lo que a su vez garantiza una eficiencia de conversión máxima para buena parte del intervalo de operación.

En el caso de las aeroturbinas de eje vertical tipo Darrieus se han alcanzado eficiencias de 35% y en las de tipo Savonius, que presentan el comportamiento más pobre, se alcanzan eficiencias máximas de sólo un 15%.

Las eficiencias aerodinámicas de las diferentes configuraciones es sólo uno de los factores que deben considerarse para evaluar las aeroturbinas. Otro criterio importante es el costo por unidad de potencia instalada o por unidad de energía útil obtenida.

Las aspas de las turbinas presentadas en párrafos anteriores tienen superficies aerodinámicas y generalmente están hechas de acero, aluminio, madera, tela, plástico, fibra de vidrio o combinaciones de estos materiales. Actualmente se emplea principalmente aluminio o aleaciones de aluminio, en ocasiones madera y para algunos prototipos se ha utilizado tela, fibra de vidrio o plástico. Los perfiles aerodinámicos tienen como objetivo que la relación aerodinámica sustentante-arrastre (lift/drag) sea relativamente alta para pequeños ángulos de ataque de las aspas. El perfil de las aspas con que se han construido exitosamente los rotores Darrieus, es el NACA 0012.

El coeficiente de sustentación está dado por:

$$\text{Ec. 3.1} \quad C_L = L / 0.5\rho V^2A$$

y el arrastre por:

$$\text{Ec. 3.2} \quad C_D = D / 0.5\rho V^2A$$

donde L es la fuerza de la sustentación, D la fuerza de arrastre, ρ la densidad del aire, A es el área del aspa y V la velocidad del viento.

Las aeroturbinas de eje horizontal son construidas con aspas de perfil aerodinámico variable; que es similar al NACA 0012 en el extremo y mucho más grueso en la base del aspa; además dicho perfil se va torciendo a medida que se aleja de la base; la torsión del aspa es necesaria en todas las aeroturbinas de eje horizontal. Las aspas deben soportar todos los esfuerzos que se producen en ellas ocasionados por turbulencias provocadas al girar con el viento.

3.2.2 TORRES DE SOPORTE

Desde el punto de vista estructural, los elementos más críticos en los sistemas de conversión eólica son la aeroturbina y la torre de soporte. Las torres deben soportar principalmente dos tipos de fuerzas. Una de levantamiento, producida al operar la aeroturbina, que tiende a levantar la torre junto con la aeroturbina, y otra que corresponde al peso de todo el sistema conversor de energía eólica.

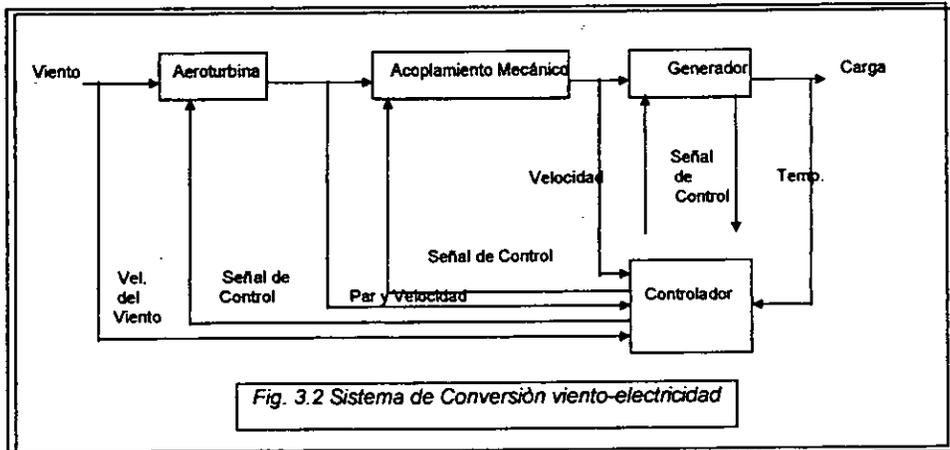
Las torres suelen ser estructuras de concreto o metal, existen básicamente dos tipos de amarre para las torres: a) contraventeadas, aseguradas por tirantes de acero, o b) empotradas, ancladas en bases de concreto. La altura apropiada para una torre es de por lo menos 15 m. mayor que los obstáculos que puedan encontrarse a menos de 15 metros de ella, las torres más usadas son de metal, normalmente estructuras modulares de tubo o perfiles de acero.

3.2.3 SISTEMAS CONVERSORES DE ENERGÍA EÓLICA

Los sistemas conversores de energía eólica en eléctrica suelen subdividirse en dos grupos:

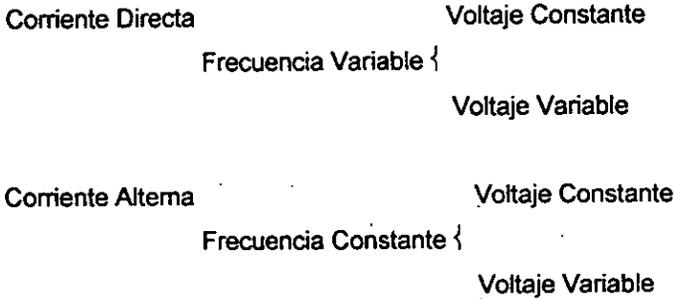
- de pequeña escala, que proporcionan, parte de la energía eléctrica utilizada en una casa en determinado tipo de equipo, y
- de gran escala, en que la energía extraída del viento es alimentada a una red eléctrica convencional, por lo que el sistema debe ser capaz de producir potencial compatible con la fase y frecuencia de la red.

En el siguiente diagrama se indican los componentes básicos de un sistema de conversión viento-electricidad:



Los sistemas de conversión viento-electricidad pueden ser clasificados en base a tres factores básicos:

A) Tipo de salida



B) Velocidad de Rotación de la Aeroturbina

- Velocidad Constante
- Velocidad Variable

C) Utilización de la Energía Eléctrica Obtenida

- Almacenamiento en Baterías
- Otras Formas de Almacenamiento
- Interconexión de Redes Convencionales

El esquema apropiado para generación de energía eléctrica depende del tipo de salida requerida y del modo de operación de la aeroturbina. Uno de los esquemas más simples consiste en utilizar un alternador de imán permanente; la salida del estator del alternador puede ser bifásica o trifásica. La frecuencia de salida es igual a la velocidad angular multiplicada por la mitad del número de polos. En condiciones de circuito abierto (sin carga) el voltaje de salida es también proporcional a la velocidad angular. Si la aeroturbina es operada a velocidad constante, la salida bajo condiciones de carga es de frecuencia constante pero el voltaje variable. Si la aeroturbina es operada a velocidad variable, la salida será de

frecuencia y voltaje variables. Ambas salidas pueden ser convertidas en señales de frecuencia y voltaje constantes con una combinación inversor-rectificador de estado sólido.

La generación de c.a. a frecuencia y velocidad constantes se puede hacer con un generador síncrono que debe girar a velocidad constante (velocidad síncrona). Cuando este tipo de configuración se opera en paralelo con las redes de potencia el requerimiento de velocidad constante es muy estricto; sólo pueden aceptarse fluctuaciones de alrededor del 1 o 2% durante periodos de fracciones de segundo. Satisfacer este requerimiento es complicado debido a:

- las constantes fluctuaciones de la velocidad del viento;
- la sensibilidad de la salida eléctrica a los cambios de velocidad, y
- la capacidad del generador para trabajar como motor.

Este tipo de problemas puede ser disminuido con acoplamientos mecánicos apropiados entre la flecha de la aeroturbina y la del generador.

Para evitar los problemas de sincronía puede utilizarse un generador de inducción, con lo que el mantenimiento, el control y la operación del sistema se vuelven mucho más simples. Un generador de inducción gira a una velocidad cercana a la síncrona (entre 1 y 5% por arriba, variaciones muy pequeñas en comparación con las de la velocidad del viento). Una vez que la aeroturbina excede la velocidad de operación, un mecanismo de control regula el ángulo de ataque de las aspas con respecto al viento (en el caso de aeroturbinas de eje horizontal) para controlar la velocidad. Si la aeroturbina no es autoarrancable (eje vertical de tipo Darrieus) se puede utilizar el generador de inducción como motor de arranque y una vez alcanzada la velocidad necesaria, como generador.

Para obtener frecuencia constante a partir de una aeroturbina de velocidad variable se han desarrollado diferentes esquemas que utilizan conmutadores mecánicos y/o dispositivos electrónicos a base de tiristores y diodos. Los siguientes esquemas han sido propuestos en este caso:

- generador de campo modulado
- ac - dc - ac
- generador de inducción de doble salida
- generador conmutador de ac

Los sistemas conversores viento-electricidad empiezan a generar potencia a partir de una velocidad de viento mínima (llamada corte de entrada) y dejan de operar cuando la velocidad del viento alcanza un umbral de velocidad máxima (velocidad de corte de salida), por arriba del cual la aeroturbina ya no opera en forma segura. Para valores de velocidad de viento intermedios la potencia de salida está determinada por el coeficiente de potencia de la aeroturbina y las eficiencias del acoplamiento mecánico y el generador eléctrico.

A bajas velocidades de viento los sistemas de velocidad constante operan a mayor relación de velocidad de punta; debido al mecanismo que controla el ángulo de ataque de las aspas, dando como resultado valores del coeficiente de potencia menores que el óptimo. Los sistemas de velocidad variable operan a relaciones de velocidad de punta constante y consecuentemente pueden mantener coeficientes de potencia más altos, aun a bajas velocidades de viento.

En sistemas de velocidad constante, una vez que la salida del generador está en su valor nominal, la velocidad se mantiene aun para altas velocidades de viento (a no ser que se alcance el valor de salida), este esquema de operación desperdicia parte de la energía disponible en el viento a altas velocidades, pero impide sobrecargas en el generador eléctrico.

La elección entre sistemas de velocidad constante y velocidad variable no puede hacerse pensando únicamente en la eficiencia de conversión, dependiendo

del tamaño de la aeroturbina, otro tipo de factores, tales como su estabilidad mecánica, pueden ser más importantes.

3.2.4 LA GRANJA EÓLICA

Un ejemplo contundente de aplicación de los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de la energía eólica lo encontramos al norte de Palm Springs, California, donde existen más de 4000 aeroturbinas de alta tecnología, que giran con la fuerza del viento que bate por el paso de San Gorgonio. Situadas en la única abertura en donde el aire fresco sopla desde la costa para remplazar el aire caliente del desierto, las turbinas de viento se extienden por kilómetros hacia los 3.490 m del monte San Gorgonio. Esas montañas crean un túnel de viento que la Comisión de Energía de California estima que es el área con la fuente de aire individual más grande del estado, en la que se canalizan 3,300 megavatios obtenidos de la fuerza del viento. Y con los científicos enfrascados en la búsqueda de alternativas confiables para substituir los combustibles fósiles, la fuerza del viento está probando ser una solución viable.

La industria del viento en California es la mayor del mundo, y supe suficiente electricidad por sí sola en la década de los 90's, para satisfacer las necesidades residenciales de una ciudad del tamaño de San Francisco.

El paso de san Gorgonio es una de las tres ubicaciones principales de las granjas eólicas de California. Las otras dos están en el Paso de Altamont, y el Paso de Tehachapi. En esas granjas eólicas se han instalado más de 17,000 turbinas comerciales, con una capacidad de generación cúspide de unos 1,500 MW. Según el Departamento de Energía de los E.U.A., la generación de 1,800

millones de kV/h de electricidad desplaza el equivalente de 3.3 millones de barriles de petróleo.

El viento se origina con el calentamiento disperejo de la atmósfera por el Sol, debido a la variable topografía de la superficie de la Tierra. A medida que el aire caliente asciende y el aire frío desciende, la diferencia en la presión atmosférica hace fluir hacia tierra adentro el aire frío y denso del océano, hacia las zonas de bajas presiones de los calientes desiertos y valles interiores. Según los valles y montañas se calientan y se enfrían a diferentes intervalos, se crean patrones de viento predecibles. Esos patrones ayudan a determinar las localizaciones más idóneas para las granjas eólicas.

Las altas velocidades del viento ocurren a medida que el aire frío de la costa sopla a través de los pasajes de las montañas. Con la influencia del terreno, la velocidad del viento aumenta con la altura a medida que fluye a mayor altitud. Cambios significativos ocurren sobre cerros y colinas, y las cumbres de las montañas crean mayor aceleración.

Según la Asociación de la Energía del Viento del Desierto (DWEA), durante la temporada de viento, en el Paso de San Gorgonio, el viento puede alcanzar fuerzas de ventarrón durante días. En el mes de mayo, la velocidad del viento excede los 56 km/h durante 336 horas continuas.

Para maximizar la salida, las aeroturbinas son diseñadas para sacar provecho de esas altas velocidades del viento, los cambios pequeños causan grandes cambios en la energía cinética producida y, por lo tanto, en la potencia desarrollada por la turbina. Si la velocidad del viento se duplica, la máquina producirá ocho veces más de potencia. Por ejemplo, un aumento en la velocidad del viento de sólo 3.2 km/h, desde 16 km/h hasta 19.3 km/h, representa un 78% de aumento en la generación de energía. Las turbinas en el Paso de San Gorgonio funcionan cuando los vientos están entre 22.5 y 80.5 km/h.

Una turbina de viento es diseñada para funcionar bajo las variantes condiciones de corte de entrada y corte de salida. Como ya se mencionó se le llama corte de entrada a la mínima velocidad del viento en la cual la turbina comienza a producir energía. Corte de salida es la máxima velocidad del viento sobre la cual no se espera producción de energía. Las aspas del rotor de la turbina deben girar a una velocidad fija con el propósito de producir una frecuencia constante de 60 Hz, de manera que pueda ser acoplado en una rejilla eléctrica utilitaria. Los vientos muy fuertes pueden causarle daños estructurales a la turbina, porque las ráfagas mayores que la velocidad para la cual fue diseñada aumenta la tensión torsional del tren de mando. Por lo tanto, en el diseño de la turbina es esencial controlar la velocidad rotacional de las aspas.

Como en las alas de un avión, el aire pasa por la superficie de las aspas en forma de un plano aerodinámico. La diferencia de las presiones entre la superficie superior y la de la base crea un levante aerodinámico. El levante es la fuerza que impulsa las aspas en un movimiento circular, para activar al generador de inducción de tres fases ubicado en la nácelo de la turbina. La proporción de la energía del viento usada para generar electricidad es controlada por el ángulo del aspa contra el viento. Un ángulo mayor captura más viento, permitiendo que la turbina funcione a menores velocidades del viento, un ángulo menor le permite funcionar a altas velocidades del viento.

Dentro de la turbina, la transmisión aumenta la relación de 50 rpm del eje de mando, para que se equipare a la del generador, de 1200 rpm. Al incrementar el viento, el generador aumenta su salida, la que es medida en kW. Idealmente la mejor turbina sería una que no tuviese caja de engranajes, ya que en la transmisión es dónde las fuerzas de frenado y de impulso se reúnen, poniendo esfuerzo sobre el sistema. Si no hubiera una caja de engranajes, se tendría en el generador un eje recto. Se están haciendo investigaciones y desarrollos para

construir un generador que pueda producir electricidad a 50 rpm y enviar a la rejilla eléctrica utilitaria una corriente alterna de 480 volts.

Los frenos que controlan las velocidades de rotación pueden ser aerodinámicos (como en las aletas en los extremos de las alas) o mecánicos (como en los frenos de discos). Estos son activados por una señal de anemómetro que lee la velocidad del viento o por una fuerza centrífuga que se va acumulando a medida que aumenta la velocidad de las aspas. El freno de disco tiene acopladores de caucho que le dan flexibilidad a medida que mantiene constante las rpm o detiene el sistema para que se le dé mantenimiento. Un sistema de desviación de la dirección conectado al anemómetro y a una veleta de viento mantienen a la turbina de frente a la dirección del viento.

Pero las turbinas de velocidad fija tienen un bajo factor de capacidad, si son comparadas con otras fuentes de energía, dada la naturaleza intermitente del viento y a sus variaciones de velocidad. El tomar ventaja sólo de las altas velocidades, disminuye la capacidad potencial de producción de la turbina. Para capturar la energía del viento con una eficiencia máxima, la empresa U.S. Windpower Inc., ha desarrollado un prototipo de velocidad variable y alcance variable, el modelo 33M-VS, ésta turbina tiene un sofisticado sistema electrónico que suaviza las cúspides de salida de potencia de sus generadores gemelos. Este convertidor electrónico le permite al rotor y al generador acelerar con las ráfagas de los vientos más fuertes. La energía rotacional aumentada entonces es convertida en más electricidad, sin que aumente la torsión en el tren de mando. El convertidor mantiene los 60 Hz de salida, a pesar de los cambios de frecuencia de salida del generador. El programa del sistema hecho a la medida también ajusta el alcance de la hoja, para que se adapte a las variaciones de la velocidad del viento.

Al girar las aspas con mayor velocidad que las rpm estipuladas, esa fuerza es capturada como energía. El generador de la turbina canaliza esta electricidad a través de un cable que desciende los 30.5 m de la torre hasta los cables

subterráneos. Estos están conectados a los bancos de transformadores que fijan el voltaje para conducirlo hasta un área central de recolección o subestación. En la subestación es donde la electricidad generada es conectada a un sistema principal o servicio público.

El servicio público inspecciona la rejilla de la granja de viento para cerciorarse de que es compatible con su rejilla. Cuando las dos rejillas se igualan con voltajes y factores de potencia exactos, la electricidad pasa de la granja eólica al sistema eléctrico del servicio público. La potencia fluye dentro de la subestación a 12, 21.5 ó 34.5 kV. Esta es enviada a las líneas en la parte superior del servicio público ya sea a 34.5, 115 ó 230 kV, dependiendo de la transmisión del voltaje local.

Un transformador convierte esos volts en corriente doméstica de 120 ó 240 volts. El nivel de alto voltaje es necesario para compensar la pérdida de voltaje a medida que la electricidad es transmitida.

La subestación también tiene equipo de medición que determina la cantidad de electricidad producida por la granja eólica. El servicio público le debe pagar a los desarrolladores de la granja eólica en base a la cantidad recibida. La tarifa de pago es regulada por el gobierno a través de un contrato de 30 años. La energía es comprada al "precio evitado" por el servicio público. Esto es, el costo en que hubiera incurrido de otra, al generar la misma cantidad de electricidad en una planta activada por combustible.

Cada año las aeroturbinas funcionan de 3000 a 5000 horas. El mantenimiento es vital para mantener esas máquinas listas y funcionando al máximo de eficiencia cuando el viento debe soplar. El mantenimiento es periódico, luego que el generador ha estado funcionando cierta cantidad de horas. Cada tres meses, los equipos de mantenimiento hacen una revisión menor de todos los equipos, como es la inspección de las almohadillas de los frenos para ver que no estén desgastadas, instalado repuestos y haciendo ajustes. A las computadoras

conectadas a las turbinas de la granja se tiene acceso a través de las Pcs de la oficina. Estas brindan información de rendimiento y ayudan a notificarle al mantenimiento cuando una turbina se daña. Las turbinas requieren de trabajos mayores de inspección dos veces al año.

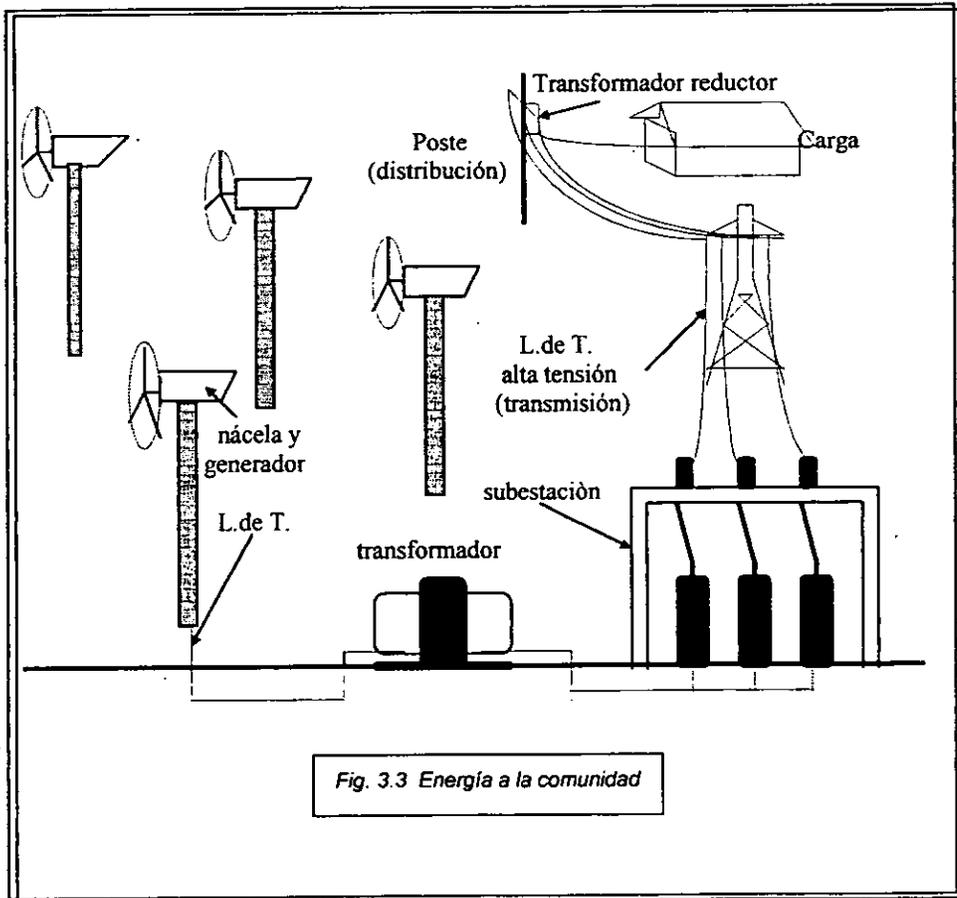
3.2.5 ACTUALIDAD

Los sistemas de conversión de energía eólica en electricidad pueden ser clasificados de acuerdo con su potencia de salida en:

- Baja potencia: hasta 100 kW
- Mediana potencia: de 100 a 200 kW
- Media-alta potencia: de 200 a 1,000 kW
- Alta potencia: de 1 a 3 MW

Los sistemas de baja potencia tienen un mercado muy disperso, aplicándose en residencias rurales, en la agricultura o en localidades remotas. Los sistemas de este tipo, inicialmente utilizados entre los años de 1850 y 1930, fueron desplazados por las compañías eléctricas. Actualmente en el mercado en Estados Unidos se calcula es de entre 75 y 125 aerogeneradores por año, con potencias nominales de salida de entre 1 y 25 kW (menos de 1 MW/h año en total). Los pequeños aerogeneradores que hoy se fabrican presentan variaciones significativas en sus diseños, pero pueden ser caracterizados como aeroturbinas de eje horizontal, de dos o tres aspas, como un número variable de revoluciones por minuto, que producen ya sea c.d. o c.a.. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de a lo sumo dos terceras partes del 59% máximo teórico alcanzable; es decir tienen una eficiencia total de 30-40%. Los factores de carga (potencia/promedio nominal) varían entre el 20 y el 30%. La energía anual

obtenida es función del diámetro del rotor y las velocidades del viento del lugar de instalación. De los cerca de 50 modelos actualmente disponibles en Estados Unidos a nivel comercial más de la mitad tienen generadores de corriente alterna, de inducción o síncronos. Los pequeños aerogeneradores que hoy se encuentran en el mercado reflejan la tecnología de los que se fabricaban ya en 1930, pero carecen de la confiabilidad y longevidad de sus predecesores.



Los pequeños aerogeneradores son utilizados principalmente en zonas remotas que tienen un buen potencial eólico y usualmente compiten con pequeños generadores Diesel.

Los generadores de potencia media, media-alta y alta, en el intervalo de 100 kW (30 a 40 m de diámetro) a 3 MW (60 a 90 m de diámetro), se empezaron a desarrollar a partir del año 1975 pensando que pudieran interconectarse a redes eléctricas de transmisión ya existentes.

Actualmente están en operación algunos aerogeneradores de tamaño considerable. Suecia tiene una unidad de investigación de 63 kW con una turbina de 18 m de diámetro. Alemania posee una unidad de 100 kW operando desde hace varios años. Un grupo privado danés tiene en operación el aerogenerador mas grande del mundo, con una capacidad nominal de 2 MW y 54 m de diámetro de las aspas.

En general los aerogeneradores de mediana y gran escala son de tipo propela de eje horizontal, aunque se investigan también los de tipo Darrieus como sistemas alternativos.

Actualmente existen aproximadamente 28,000 aeroturbinas operando alrededor del mundo, generan más de 7.8 Terawatts/hora de electricidad anualmente. Las granjas eólicas más importantes se localizan en:

- California

Altamont Pass, genera 1.2 Tw/h anual, utiliza 6000 aeroturbinas.

San Gorgonio Pass, utiliza 4000 aeroturbinas.

Tehechapi Pass, genera 1.3 Tw/h anual, utiliza 5000 aeroturbinas.

- Asia

India

- Europa

Dinamarca, genera 1 Tw/h anual, utiliza 3700 aeroturbinas.

Alemania, genera 2.5 Tw/h anual.

Holanda, genera 2 Tw/h anual.

- Reino Unido

Cumbria, Inglaterra.

Irlanda del Norte.

Yorkshire, Inglaterra, genera 170 Mw, utiliza 100 aeroturbinas.

Todos los lugares mencionados utilizan aeroturbinas de eje horizontal, cuyos diámetros de rotor son de 17 a 19 m, y se encuentran a una altura del suelo de 35 a 40 m.

El aprovechamiento de energía eólica en México se limita a aeroturbinas de eje horizontal con aspas múltiples, instaladas en localidades rurales del norte y sudeste del país. Existe un fabricante de aerogeneradores que produce actualmente dos modelos. Uno de los modelos consiste en una aeroturbina de eje horizontal con tres aspas, cara al viento, montada en una torre de metal de 20 m de alto, con una cola estabilizadora; un generador, un panel de control automático, y un banco de baterías en el suelo. El segundo modelo puede interconectarse a las redes de distribución y requiere un inversor síncrono en lugar del banco de baterías. El aerogenerador tiene una potencia nominal de 6 kW a velocidades de viento de 11.6 m/s y con velocidades de viento de 13 m/s alcanza una potencia máxima de 8 kW. La velocidad de viento mínima que requiere para empezar a generar es de 5 m/s. Tienen instalada una unidad en el Ajusco y otra en el oeste de Michoacán. El precio del modelo es de 12,000 dólares, sin incluir el costo de instalación, que puede ir desde 500 hasta 2000 dólares.

3.2.6 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Los costos para producir electricidad generada por el viento se ha reducido radicalmente en los últimos diez años. Los avances de la tecnología, la fabricación en gran escala, y una mayor experiencia han jugado un papel muy importante para ayudar a disminuir el costo de producción de la energía eólica.

La Comisión de Energía de California (CEC) calcula que bajo las condiciones actuales y operadas por un servicio público inversionista/propietario, las plantas de energía pueden generar electricidad de 4 a 7 centavos de dólar por kilowatt/hora. La CEC establece que el viento es una de las fuentes menos costosas de cualquier nueva capacidad generadora disponible en ese estado y que ha llegado a competir con la energía nuclear y de carbón.

Los costos de operación y mantenimiento de la energía eólica también pueden ser bastante bajos, casi un tercio de los costos que se derivan por operación y mantenimiento en una nucleoelectrónica.

También es importante considerar los costos a largo plazo de la energía eólica. Hay que recordar que el combustible real -el viento- es gratis. Por ello el uso a largo plazo de la energía eólica, en comparación con los combustibles fósiles, puede garantizarse a un precio relativamente estable y, quizá lo más importante, el suministro constante. A la larga, conforme el suministro se reduce, los precios del combustible fósil inevitablemente aumentarán. En tales circunstancias, una fuente gratuita y renovable como la energía eólica proporciona una alternativa a las fuentes tradicionales de energía más confiable y costeable.

La tecnología de la energía eólica ofrece importantes oportunidades económicas que cualquier otra tecnología energética, según la Asociación Americana de Energía Eólica.

Los servicios públicos que emplean la energía eólica obtienen flexibilidad en el uso y la planeación de su energía. La modularidad y sencillez de la generación de la energía eólica permite a los servicios públicos desarrollar mayores suministros de energía cuando se necesiten, gradualmente. (En vez de construir una planta de energía completa, pueden agregar turbinas conforme se necesiten). El hecho de que se puedan instalar pronto las turbinas y en incrementos variables, también se reduce el riesgo financiero para una empresa de servicios públicos que elige esta fuente de energía. Del mismo modo, cuando un servicio público agrega la energía eólica como fuente de suministro global, tiene un suministro más confiable. A diferencia de la energía solar, la eólica puede generarse de día o de noche.

3.2.7 FUTURO

No hay duda de que la energía eólica se desarrollará mundialmente y contribuirá más al suministro global de energía. Dinamarca, Holanda, el Reino Unido, Italia, España e India tienen programas de tecnología de energía eólica más ambiciosos que los Estados Unidos. Un signo particularmente estimulante es que Francia, un país orgulloso durante mucho tiempo de su industria nuclear, está volviendo a lanzar un pequeño programa de energía eólica. En un interesante desarrollo, Dinamarca ha iniciado el desarrollo de una granja eólica en la costa: la primera planta de energía que se va a desarrollar en la costa. El lugar ofrece la oportunidad de aprovechar los fuertes vientos marítimos al mismo tiempo que se evitan las quejas por el ruido y alteraciones visuales. Se espera que la granja

eólica costera genere 12 millones de kW/h de electricidad anualmente cuando entre en operación, proporcionada por once turbinas de 450 kW. El potencial para la generación de energía alrededor del planeta es enorme. Se ha calculado que podría proporcionar a muchos países una quinta parte o más de su electricidad. El norte de Europa, el norte de África y Sudamérica se encuentran entre las regiones con el mayor potencial.

Conforme continúe la experiencia internacional y doméstica con la energía eólica, sus costos y eficiencia mejorarán todavía más. Por ejemplo, la Secretaría de Energía de Estados Unidos y los analistas de la industria proyectan que durante los próximos veinte años los costos de la electricidad eólica en lugares con recursos de viento moderados podrían llegar a los 0.03 centavos de dólar por kW/h. Lugares con vientos más fuertes pueden ser más económicos. En resumen: las tecnologías de la energía eólica han demostrado ser eficientes, confiables y eficaces en términos de costo. Sólo resta a los gobiernos y a la industria desarrollarlas en todo su potencial.

3.2.8 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: El viento.
2. Disponibilidad del energético: Abundante.
3. Sistema de generación: Granjas eólicas.
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: Lugares con vientos regulares de velocidad constante.
6. Sugerencias de ubicación en México: Zonas de vientos fuertes(La Ventosa, Oaxaca y La Bufa, Zacatecas), Zonas costeras (Guerrero y Baja California).
7. Costo de generación: 4 a 7 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Ninguno.

4. ENERGÍA HIDRÁULICA

4.1 LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Existen varias formas de atrapar la energía del agua que fluye, que van desde enormes plantas de fuerza hidroeléctrica hasta sistemas que pueden explotar la fuerza de las mareas y de las olas. También se ha desarrollado un interés nuevo en la conversión de energía térmica de los océanos, explotando la diferencia en temperatura entre las profundidades de las mareas y la superficie de las aguas, sólo unas cuantas instalaciones comerciales o de exhibición se han desarrollado para aprovechar la fuerza de los océanos a través de las mareas, las olas o la diferencia de temperatura entre la superficie y las aguas profundas; la mayor parte de las instalaciones que trabajan en estas áreas son a la fecha experimentales. Por otra parte, durante muchos años la fuerza hidroeléctrica se ha usado a través de diques o sistemas de corrientes de ríos.

4.2 FUERZA HIDROELÉCTRICA

La fuerza hidroeléctrica es considerada por muchos como una forma de energía solar, porque el Sol realmente absorbe el agua de la Tierra mediante la evaporación. El agua regresa después a la Tierra cuando llueve, llenando los ríos y corrientes que, finalmente fluyen hacia los océanos. En esta agua que fluye en

los ríos sus corrientes son utilizadas para la generación convencional de fuerza hidroeléctrica.

La idea detrás de la fuerza hidroeléctrica es bastante directa: aprovecha la energía cinética del agua que cae, la cual se almacena en un dique o fluye naturalmente a lo largo de un río, el cual ataca tangencialmente los álabes de una rueda haciéndola girar. Esta es una rueda de impulso o rueda Pelton que permite aprovechar la energía del agua en la forma de energía dinámica. La rueda Pelton o turbina Pelton mueve un generador de electricidad, en cuya forma la energía encuentra fácil aplicación.

En otros casos, cuando el agua es detenida por una cortina, se origina un embalse en el propio cauce del río, cuya cola puede llegar a varias decenas de kilómetros y con capacidad de algunos miles de millones de metros cúbicos. Entre el nivel de agua en el embalse y el del río aguas abajo de la presa se crea una altura de salto que permite establecer un ducto de descarga en el que se puede instalar una turbina de las del tipo de reacción que puede aprovechar la energía de presión del agua y también, en parte, la energía de velocidad. Según la altura del salto y el caudal disponible, la turbina puede ser del tipo Francis (cargas y caudales medios) o tipo Kaplan (cargas pequeñas y caudales grandes). Estas turbinas hidráulicas mueven también grandes generadores eléctricos.

La hidroeléctricidad es la forma más antigua de generación eléctrica aún utilizada. Generalmente se la considera la más confiable también, aunque en las sequías puede afectar notablemente su suministro. Por ejemplo en un sólo año de sequía puede reducir la producción de electricidad en un 25%. A escala global, las fuentes de fuerza hidroeléctrica proporcionan más de la cuarta parte de la electricidad mundial.

4.2.1 PLANTAS HIDROELECTRICAS

Los sistemas hidroeléctricos aparecieron a mediados de 1800 en Estados Unidos, y eran relativamente pequeños. La primera planta importante se hizo en las Cataratas del Niágara en 1878. Durante la década de los 30's, la fuerza hidroeléctrica suministraba el 40% de la energía eléctrica de este país. (En esta época la construcción de grandes diques mayores se llevaba a cabo en otros países, como Rusia e India.) Con el transcurso de los años, otras fuentes de energía se han hecho más importantes y el porcentaje de energía eléctrica proporcionado por las fuentes hidroeléctricas se ha reducido lentamente. En 1965, esta cantidad había disminuido a casi el 20% y esta tendencia a la baja ha continuado hasta el presente.

Durante la década de los 70's, los sistemas hidroeléctricos mundiales comúnmente eran diques de gran escala que se usaban para suministros en la red nacional. Esta tendencia ha cambiado durante los últimos años, y hoy en día los nuevos proyectos hidroeléctricos son sistemas tradicionalmente más pequeños. Algunas de las razones para este cambio son el número siempre decreciente de lugares adecuados para grandes presas así como los intereses ambientales y económicos.

La mayoría de los sistemas hidroeléctricos usan un dique o alguna otra estructura para capturar y almacenar agua, la cual finalmente será liberada a través de una turbina (ver figuras 4.1 y 4.2). Un método menos común es colocar las turbinas en túneles a mitad de la corriente de un río, evitando así la necesidad de bloquear el flujo del agua. Dado que estos sistemas redujeron el impacto ambiental y los costos de construcción, estos aparatos en las corrientes de los ríos están aumentando en popularidad. Las grandes instalaciones hidroeléctricas invariablemente son diques o presas, mientras que los sistemas más pequeños

pueden usar un dique o un sistema de flujo. Por último, un tercer tipo de generación de fuerza hidroeléctrica es el método de almacenaje bombeado, en donde el agua se bombea durante las horas que no son críticas hacia una reserva más alta para usarse posteriormente.

Dos factores que determinan la cantidad de energía que un sistema hidroeléctrico puede crear son la *cabeza* y el *flujo de agua*. La cabeza es la altura del agua que cae desde el punto en el que comienza su descenso hasta el punto más bajo, debajo de la turbina. El flujo es la velocidad a la que el agua pasa a través del sistema. Si bien pueden usarse varias combinaciones de cabeza y flujo, una instalación con una cabeza alta y un flujo debajo es más económica que un sistema con alto flujo y cabeza baja.

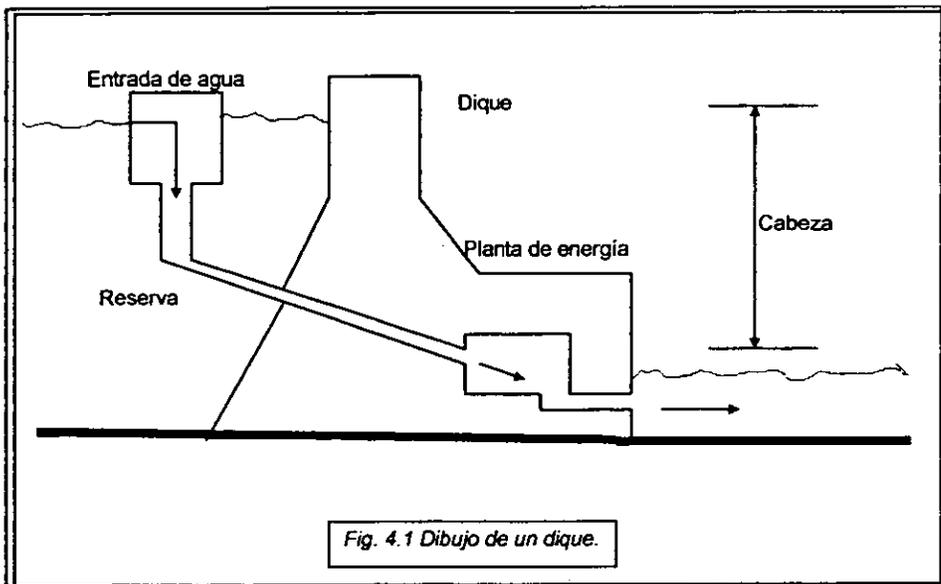


Fig. 4.1 Dibujo de un dique.

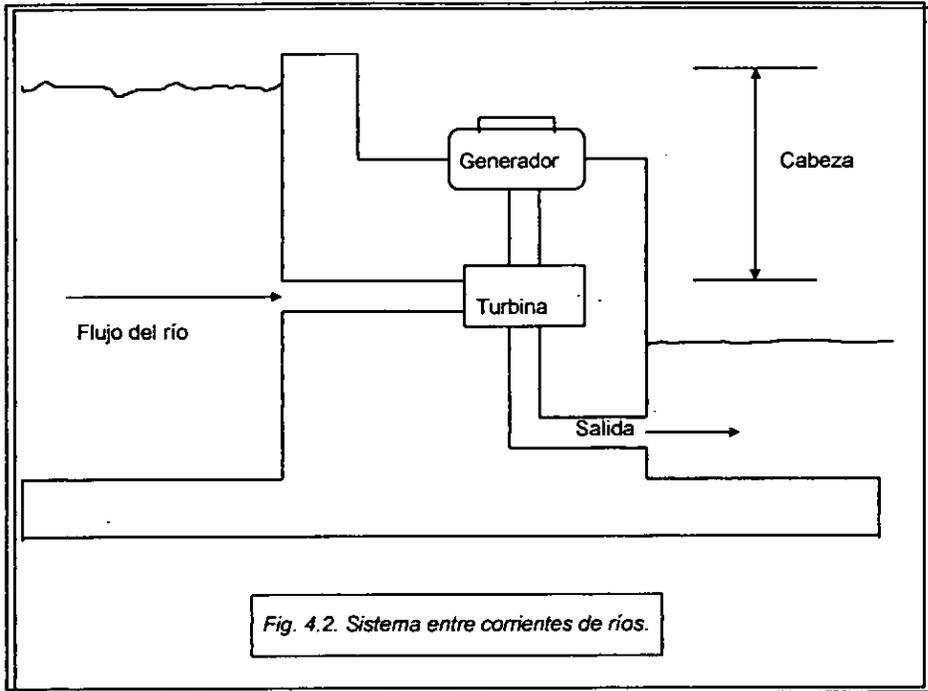


Fig. 4.2. Sistema entre corrientes de ríos.

Con una instalación grande usando un dique u otra estructura, el agua se bloquea y almacena hasta que se necesita. Entonces el agua se libera a través de caídas, grandes túneles que dirigen el agua a la turbina en la planta de energía. La turbina se conecta al generador, que se activa debido a la energía del agua que fluye y produce electricidad. Las líneas de transmisión envían la energía desde la planta hasta el sistema de distribución eléctrica.

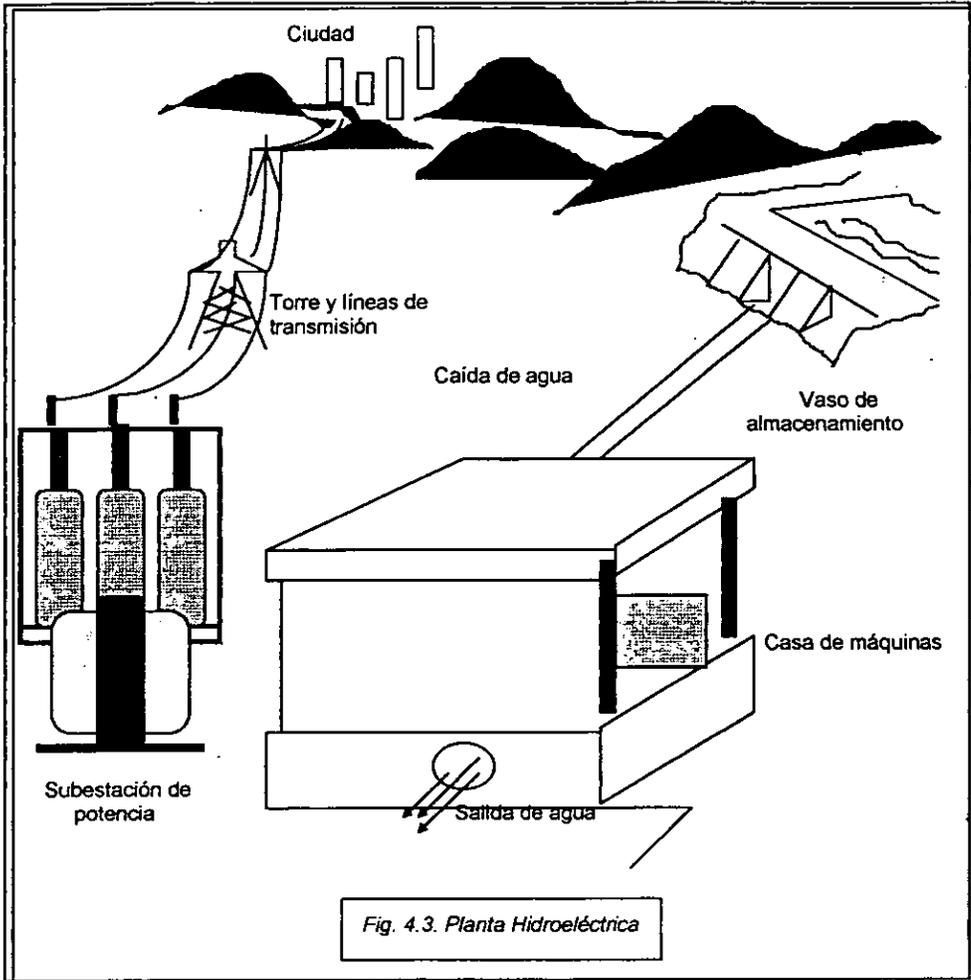
Las instalaciones en las corrientes de los ríos colocan los túneles directamente en el flujo de una corriente con turbinas en los túneles. Esto permite que parte del río siga fluyendo naturalmente mientras la instalación puede capturar

energía del agua que pasa a través de las turbinas en los túneles. El almacenaje bombeado es un método para reutilizar el agua que ha atravesado la turbina y la almacena para un uso posterior, cuando es más conveniente en términos de costo de urgencia. El agua se bombea a través de una turbina reversible desde una reserva baja hacia una alta. Los sistemas de almacenaje de bombeo realmente usan más energía de la que producen, pero son útiles en los servicios públicos porque pueden operar en momentos en que es más costoso producir la electricidad. (El bombeo se hace durante horas que no son críticas, cuando la energía está en su costo más bajo).

4.2.2 ACTUALIDAD

A nivel mundial, las instalaciones hidroeléctricas proporcionan aproximadamente 25% del suministro de electricidad. Hay plantas hidroeléctricas en 68 países. Se dice que en los últimos cuarenta años la cantidad de agua capturada detrás de grandes diques ha aumentado 25 veces y ahora llega a 5,000 km cúbicos. También se observa que todas las reservas artificiales poseen ahora 13% de todos los ríos del mundo que corren hacia los océanos.

Algunos de los diques más grandes son el Hoover Dam (1,455 MW) y el Grand Coulee Dam (6,180 MW) en Estados Unidos, y el Guri Dam (10,000 MW) en Venezuela. En India se han construido diques más grandes que ningún otro país. La red hidroeléctrica del Río Columbia, que consta de 19 diques grandes (incluyendo el Grand Coulee) y más de 100 diques adicionales de propósitos múltiples, es el sistema de fuerza hidroeléctrica más grande del mundo. El sistema entero puede producir un promedio de 12,000 MW.



La fuerza hidroeléctrica es indispensable para servicio doméstico y cualquier tipo de empresa, debido a su capacidad para dar energía con base en la demanda: una instalación hidroeléctrica puede producir energía en segundos, algo que los combustibles fósiles y las instalaciones nucleares no pueden hacer.

La mayor parte de las más grandes fuentes de fuerza hidroeléctrica de los países industrializados ya se ha explotado; y las que no, han sido asignadas como áreas protegidas. Estos países industrializados están recurriendo ahora a los diques modificados para obtener más energía de ellos, o bien recurriendo ahora a los diques modificados para obtener mas energía de ellos, o bien recurriendo a instalaciones más pequeñas. Los países en vías de desarrollo están construyendo instalaciones grandes y pequeñas.

4.2.3 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Los costos relacionados con la generación de la fuerza hidroeléctrica actual y futura son específicos del lugar de que se trate. Los costos de construcción, del ajuste a los aspectos ambientales, al flujo del río y su energía resultantes, son, todos, factores que juegan un importante papel en el costo final de la energía generada a partir de un lugar específico. Actualmente la fuerza hidroeléctrica se considera como la fuente de electricidad más económica disponible.

Como es común en lo que respecta a las fuentes de energía renovable, los costos iniciales son relativamente altos y bajos en cuanto a operación y mantenimiento.

En el futuro, los costos dependerán en gran medida del tipo de sitio que se utilice. Los lugares existentes que han pasado por un proceso de modificación y

modernización pueden llegar a ser la estrategia más económica, seguidos por instalaciones eléctricas que se añaden a los diques ya existentes y que no cuentan con instalaciones hidroeléctricas.

La adición de una planta de fuerza hidroeléctrica a un río o incluso la modificación retroactiva de instalaciones hidroeléctricas en un dique existente, pueden tener efectos perjudiciales en el ecosistema local. (En general los grandes diques son más nocivos que las instalaciones en la corriente del río). La vida acuática y vegetal resulta afectada, al igual que la calidad del agua y la tierra de los alrededores.

Se afecta a los peces porque sus vías de desove pueden estar bloqueadas por un dique y porque la instalación hidroeléctrica afectará la cantidad y velocidad del flujo del agua en el río, temperatura y contenido de oxígeno. El efecto negativo de la industrialización en la vida animal ha sido evidente en muchos lugares

La acumulación de sedimentos, mencionada anteriormente, afecta tanto la eficiencia del sistema de fuerza hidroeléctrica a la mano, como el ecosistema del río. Dado que estos sedimentos transportan nutrientes que benefician a los peces y las áreas agrícolas que estén corriente abajo, su bloqueo puede privar a los peces y cualquier otro tipo de vida marina del alimento necesario, y a la tierra agrícola de nutrientes vitales. La calidad del agua también resulta afectada de otras maneras. Los cambios de temperatura, los niveles de oxígeno, o el contenido de sal y minerales también afectan el ecosistema del río.

Desde luego existen al menos soluciones parciales para muchos de estos problemas. "Unas escaleras para peces" les permiten pasar las instalaciones eléctricas y continuar corriente arriba; mallas y otras barreras pueden montarse para evitar que los peces y otros animales lleguen a ser atrapados en las turbinas; se pueden hacer esfuerzos para mantener a cierto nivel el índice mínimo de flujo de un río. Los cambios de temperatura pueden modificarse colocando de manera

cuidadosa estructuras de admisión y el aumento de la turbulencia ayuda a mantener alto el nivel de oxígeno, estas técnicas tienen el potencial de mitigar muchos de los peligros ambientales relacionados con la generación de fuerza hidroeléctrica y, de hecho, se están incorporando, dada vez más con mayor frecuencia, los sistemas nuevos y modificados.

Sin embargo, muchos talvez preferirán los impactos ambientales del sistema de fuerza hidroeléctrica sobre los que provocan las fuentes de energía competidoras. Por ejemplo, el uso de la fuerza hidroeléctrica no crea impresionantes cantidades de contaminación de aire, mientras la quema de combustibles fósiles sí lo hace; y, a diferencia de la energía nuclear, la fuerza hidroeléctrica no origina desperdicios tóxicos.

Hemos visto que a pesar de los peligros ambientales y los altos costos iniciales, la fuerza hidroeléctrica elimina la preocupación por las emisiones contaminantes y los desperdicios nocivos. También hemos visto que los costos de operación y mantenimiento, y el cargo de energía por ahora, son bastante baratos en comparación con otras fuentes. Otra importante ventaja es que puede echarse a andar pronto y la producción puede ajustarse rápidamente. Para finalizar, la fuerza hidroeléctrica es suministrada por una base de fuente local que permite, al país poseedor, ser autosuficiente de gran parte del suministro. Cualquier nación que desarrolle sus fuentes hidroeléctricas está explotando una fuente nacional, permitiéndose depender menos de fuentes externas.

4.2.4 FUTURO

El futuro de la fuerza hidroeléctrica, en cuanto a la tecnología aplicada, no tendrá grandes variaciones, seguirán usándose los diques como sistema de

almacenamiento de agua para generación eléctrica, solo sufrirán alguna modificaciones que permitan una explotación menor del agua almacenada, es decir generar energía con un flujo menor de agua en sus turbinas.

La problemática futura para esta fuente de energía, radica esencialmente, en los cambios climáticos mundiales que alterarán los ciclos de lluvia en las diferentes regiones del mundo, provocando largas temporadas de sequía que obligarán un uso racional del agua, que repercutirá en una generación restringida de energía eléctrica.

4.2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: Corrientes de agua que fluye en los ríos.
2. Disponibilidad del energético: Abundante.
3. Sistema de generación: Plantas hidroeléctricas.
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: Sobre cuencas de los ríos.
6. Sugerencias de ubicación en México: Existen varias cuencas hidrológicas, entre las más grandes tenemos: Lerma-Santiago, Balsas, Planicie Costera, Bravo, Baja California, Península de Yucatán, Pánuco y Nazas.
7. Costo de generación: 3 a 6 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Provoca algunos efectos en la vida acuática sobre todo en las vías de desove de los peces, pero son corregibles colocando escaleras para peces.

4.3 CONVERSIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA OCEÁNICA

Los océanos son una fuente de energía con carácter de inagotable. La razón que hace enfocar nuestra visión energética hacia esa fuente es muy interesante, ya que el 71% de la superficie de nuestro planeta es cubierto con el agua del océano.

En un año los océanos absorben más de 100,000 Mw/hr de energía solar, esto es equivalente a 100,000 millones de wathoras de energía eléctrica.

La conversión de energía térmica oceánica (CETO), tiene que ver con la explotación de las diferencias de temperatura entre el agua templada de la superficie y las capas profundas más frías. Particularmente en las latitudes tropicales la diferencia de temperaturas en la superficie y la de las aguas profundas de unos 1,000 metros, puede variar en 20°C. Esta diferencia de temperatura puede utilizarse para generar electricidad al vaporizar y condensar de manera alternada un fluido de trabajo.

En 1881, el físico francés Arsene d' Arsonval fue el primero en proponer que la electricidad podía generarse explotando las diferencias de temperatura de los océanos. Sin embargo, no fue sino hasta casi 50 años después, que uno de los alumnos de d' Arsonval, Georges Claude, realmente intentó poner en práctica el concepto de la CETO construyendo una pequeña planta cerca de la costa de Cuba.

La fuente de energía potencial representada por la tecnología CETO es importante. La relativa regularidad de las temperaturas oceánicas significa que los sistemas CETO pueden brindar niveles constantes de energía, lo que los hace más aptos para un uso de carga fundamental (el nivel mínimo de energía

continua) para los servicios públicos. También tienen potencial para lugares lejanos a nivel de costa que tienen pocas o ninguna otra opción de energía.

Debido a la necesidad de variación de temperatura, los sistemas CETO sólo se aplican en ciertas partes del mundo. Cuando se toman en cuenta las variaciones anuales de temperatura, el recurso térmico CETO útil está principalmente entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio, con los lugares más atractivos en el Pacífico, en donde una gran área ha demostrado diferencias de temperatura de 24° C. La ubicación real de una instalación varía según las características locales. Por ejemplo, el sistema puede estar flotando, con base en la tierra o fijo a alguna especie de torre.

4.3.1 PLANTAS CETO

Hay dos tipos de sistemas para convertir en energía las diferencias de temperatura de los océanos:

- el sistema de ciclo cerrado y
- el sistema de ciclo abierto

Los dos sistemas son relativamente similares: CETO funciona como un motor de calor que utiliza el agua templada de mar para vaporizar el fluido de trabajo, freón o amoníaco son los típicos fluidos utilizados en este proceso; el vapor entonces acciona una turbina. El agua de mar fría bombeada desde los niveles más bajos del océano, condensa el vapor al accionar la turbina. El proceso de condensación proporciona el impulso necesario para que el fluido corra, el cual puede ser agua de mar templada o cualquier otro líquido como amoníaco.

En el último caso, el vapor condensado bombea de vuelta al evaporador, formando un ciclo cerrado. En el primer caso, el vapor condensado se descarga.

Cada sistema tiene ventajas y desventajas. Las opiniones se dividen respecto a cuál es el mejor sistema. Mientras algunos creen que los sistemas de ciclo cerrado ofrecen lo mejor para una aplicación comercial a corto plazo, otros opinan que las plantas de ciclo abierto serán las más eficaces en términos de costo a la larga, en particular si se consideran los subproductos, como la acuicultura y el agua fresca, relacionados con esta tecnología.

4.3.1.1 Sistemas de ciclo cerrado

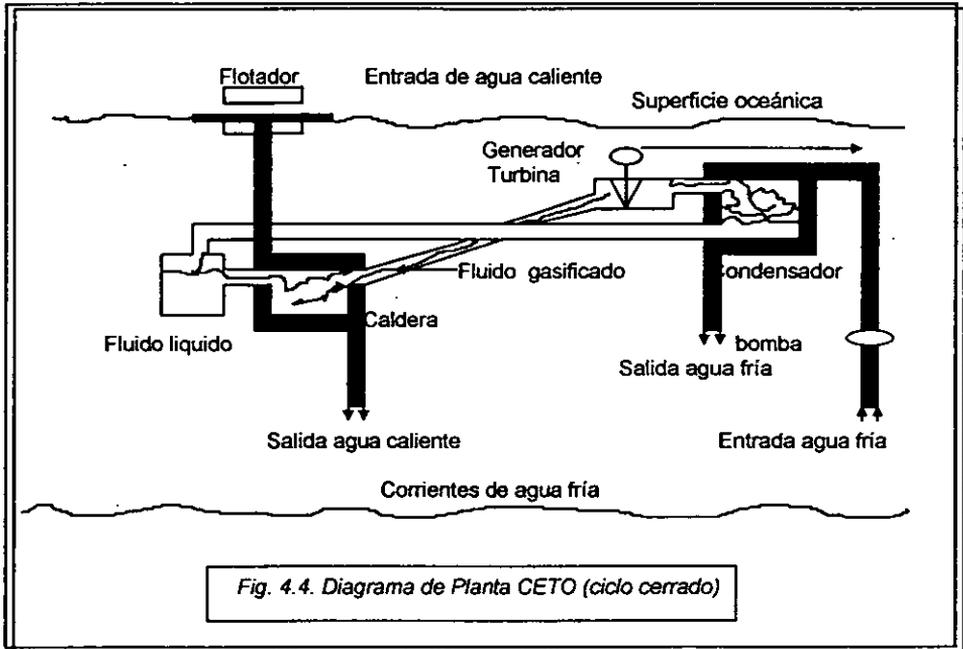
Las plantas de ciclo cerrado usan turbinas más pequeñas que las grandes de baja presión empleadas en el sistema de ciclo abierto. Problemas tales como el costo, la corrosión, eficiencia y biodescomposición (cuando la materia marina queda atrapada en el sistema) de los intercambiadores de calor todavía tienen que resolverse.

4.3.1.2 Sistemas de ciclo abierto

El sistema de ciclo abierto es más fácil de construir porque no tiene que soportar una presión tan alta. A su favor también está el potencial de ventajosos subproductos como la acuicultura y el agua desalada. Las principales desventajas de este sistema, por otra parte, son que sus componentes deben mantenerse bajo un elevado vacío y que requiere de una turbina más grande (porque el vapor es mucho menos denso que el de un fluido de trabajo en un sistema típico de ciclo

cerrado). Además, las plantas de ciclo abierto con mayor capacidad generadora de energía todavía tienen que desarrollarse.

Los sistemas híbridos también existen; utilizan un condensador y una turbina más pequeños que en un sistema de ciclo abierto y pueden producir agua desalada como en dicho ciclo.



Existen muchos componentes en un sistema CETO, muchos de los cuales constituyen una tecnología bien desarrollada y alguno otros están en proceso de investigación. Los principales que se están estudiando son las pipas de agua fría y los intercambiadores de calor. Los aspectos que se investigan son la resistencia a la corrosión, a la presión, a la temperatura y a la tensión. La inaccesibilidad de

estas pipas también provoca problemas de mantenimiento. Para vencer los problemas estructurales reales relacionados con las pipas se están llevando a cabo experimentos con diversos materiales, como el concreto, acero, aluminio, polietileno y otros plásticos.

Los intercambiadores de calor (el evaporador y el condensador) se consideran los componentes más costosos de un sistema CETO de ciclo cerrado. Los problemas que se están investigando con estos componentes incluyen la biodescomposición, la corrosión y la durabilidad. AL igual que con los túneles de agua fría, se están considerando diversos materiales, incluyendo combinaciones de titanio y aluminio, aleaciones de cobre y níquel y diversos plásticos.

4.3.2 ACTUALIDAD

En Japón, Francia, el Reino Unido y Hawai se han hecho demostraciones de los sistemas CETO. EL proyecto en Hawai, en el Laboratorio de Energía Natural de Hawai (NELH), es de particular interés debido a la diversidad de la investigación que se está llevando ahí. Además de trabajar con sistemas de ciclo abierto y cerrado, el centro de Hawai observa las industrias que trabajan junto a la tecnología CETO y significan una buena oportunidad de hacer redituable el sistema.

Hawai ofrece las condiciones ideales para la CETO: mientras las aguas de la superficie tienden a estar alrededor de los 26°C, la temperatura 2,000 pies abajo llega hasta los 6°C. Esto ha conducido al desarrollo de programas de investigación de los sistemas de ciclo abierto y cerrado en el NELH. La Secretaría de Energía de Estados Unidos apoya la investigación de los sistemas de ciclo abierto, siendo

su principal interés la investigación en el desarrollo de sistemas de ciclo abierto de 2 a 15 MW para utilizarse sólo cerca de las costas.

Parte de la investigación en el NELH se concentra en aliviar los problemas que se trataron en la sección anterior y otros esfuerzos se dirigen a la solución del problema de tubos de agua templada en los sistemas de ciclo cerrado que se atascan de organismos marinos. Uno de los aspectos más interesantes de la investigación es el desarrollo de subproductos tales como la desalinización y la acuicultura. Estas industrias "anexas" prometen ayudar a hacer a la CETO financieramente viable en un tiempo inmediato.

El potencial de agua fresca obtenida de la CETO es enorme, pues se ha calculado que una planta de 100 MW, en el clima apropiado, puede producir unos 15 millones de galones de agua fresca diariamente. La acuicultura es otra área que posee un gran potencial. Con los investigadores de la CETO, los empresarios están produciendo un amplia variedad de productos, que van desde algas, las cuales pueden venderse para aplicaciones biomédicas, hasta el salmón, la langosta, el abalone, ostras, erizos de mar y algas marinas. También conviene hacer notar que los edificios del NELH reciben aire acondicionado gracias a los sistemas que emplean del agua de mar fría.

La tecnología CETO se está estudiando en otros países también. Como ya se dijo, Japón, Francia y el Reino Unido, al igual Taiwán, India, y las Islas Vírgenes, tienen proyectos de investigación en diversas etapas del desarrollo. El proyecto en Hawaii es el más avanzado. No hay instalaciones de la CETO comercial actualmente en existencia, aunque se calcula que esta tecnología entrará el mercado como una industria viable durante los próximos años.

4.3.3 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Los altos costos iniciales de la CETO están obstaculizando su desarrollo. El equipo inicial, especialmente el evaporador, el condensador y la pipa de agua fría, comprenden aproximadamente el 70% del costo total del sistema CETO. Los costos de mantenimiento también pueden ser más altos que los de las plantas convencionales activadas con combustibles, pero a la larga esta fuente de energía puede ser bastante costeable por estas razones:

1. Los costos de combustible de CETO no existen, así que, dependiendo de la vida de una planta CETO , los costos a largo plazo se reducen considerablemente.
2. Esta tecnología es particularmente apropiada para países pequeños, que generalmente pagan elevados costos de combustible para generar electricidad, como ya se mencionó anteriormente. En tales circunstancias se espera que el sistema CETO ofrezca una fuente costeable generadora de energía.

La capacidad para atraer fondos es un problema constante para instalaciones de CETO. La combinación de una lenta recuperación de la inversión y el hecho de que las instalaciones CETO todavía se encuentran en fase de experimentación, sin plantas comerciales en existencia, hace difícil obtener financiamiento. ES posible que se necesite del gobierno o de un crédito cooperativo internacional para vencer este obstáculo. Se ha calculado que si los inversionistas pudieran estar seguros que una planta CETO se operará durante treinta años sin reparaciones generales importantes, podrían aceptar la oportunidad de construir este tipo de plantas en la actualidad. Pero la falta de una historia observable de la tecnología CETO para ese periodo de tiempo, hace dudar a los inversionistas.

Existen varios aspectos ambientales de la CETO que deben tomarse en cuenta, y los cuales tienen que ver principalmente con la liberación ya sea de químicos o de agua residual de vuelta al océano circundante.

En los sistemas de ciclo cerrado existe el peligro de que el fluido de trabajo escape hacia el mar circundante si el sistema está flotando, o dentro de la tierra, si tiene su base allí. Es evidente que se pueden tomar precauciones para reducir ese riesgo. Además, dado que los intercambiadores de calor se limpian con una clorinación intermitente, se pueden emitir quejas por el cloro que se libera en el ambiente circundante. Sin embargo, es posible recoger el cloro sin liberarlo.

Esta descarga de agua templada o fría en el agua circundante con una temperatura diferente también representa preocupación. La tecnología actual permite a los desarrolladores liberar agua a una temperatura apropiada, así que no necesariamente es un problema si se maneja con propiedad. Sin embargo no hay que perder de vista que interferir con el agua profunda de los océanos puede tener efectos ambientales imprevistos.

El efecto de un sistema CETO en los cardúmenes circundantes es tema de especulación. Algunos huevecillos y larvas pueden quedar atrapados en el sistema, lo cual puede afectar la distribución local de estas especies; asimismo, los cambios en la salinidad y temperaturas locales pueden afectar el ecosistema local.

Las desventajas ambientales analizadas previamente se consideran relativamente menores y parecen poder controlarse. Más importante es el hecho de que la CETO es una fuente renovable que no contamina ni origina gases de invernadero. Los beneficios adicionales son tanto económicos como políticos. La CETO ofrece el potencial de subproductos económicamente valiosos, así como un cierto grado de autosuficiencia para los países que desarrollen esta enorme fuente de energía. Por último, el suministro constante de energía CETO le brinda una

ventaja sobre las fuentes de energía renovable que son ligeramente menos regulares en su producción de energía.

4.3.4 FUTURO

Al igual que con otras fuentes de energía renovable, la CETO tendrá que vencer obstáculos de financiamiento para poder lograr una aplicación más amplia. La tecnología está ahí para que esta fuente de energía se desarrolle y se espera que juegue un importante papel en nuestro futuro suministro de energía

La CETO ciertamente tiene un papel en el futuro suministro de energía a muchas áreas, particularmente los países que se encuentran en islas y las zonas costeras tropicales. Por ejemplo para Estados Unidos, la CETO podría suministrar una importante capacidad generadora para Hawaii, Puerto Rico, las Islas Vírgenes, Guám, Micronesia y Samoa Americana. Los países en islas que deben pagar costos muy altos por combustibles, o que tienen fuentes limitadas de energía, son los mercados ideales para la CETO; Además de las aplicaciones remotas y pequeñas, CETO también es ideal para la generación de energía de carga fundamental, un beneficio que la separa de muchas otras fuentes renovables.

Una de las ventajas de la CETO de ciclo abierto que hace más probable su éxito futuro es su capacidad para originar subproductos que pueden ser extremadamente redituables en su propio derecho. Estas actividades mejoran notablemente la eficacia general en costos, al tiempo que ofrecen sus propios beneficios sociales y económicos.

4.3.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: Diferencia de temperaturas entre agua templada de la superficie y capas profundas frías de los océanos.
2. Disponibilidad del energético: Aprovechable sólo en ciertas zonas del planeta.
3. Sistema de generación: Plantas CETO (ciclos abierto y cerrado).
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: En la zona oceánica comprendida entre los los trópicos de Cáncer y Capricornio en el Pacífico.
6. Sugerencias de ubicación en México: En los litorales del Pacífico , en los estados de Nayarit, Jalisco, Colima, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.
7. Efectos ambientales nocivos: Mínimos.

4.4 ENERGÍA DE OLAS

Las olas son creadas por el viento y afectan la superficie del océano. La cantidad de energía que puede extraerse de una ola, depende de su altura (la cantidad de agua que el viento desplaza del nivel superficial del océano) y la velocidad de las olas. La energía de una ola es proporcional al cuadrado de su altura. Así, una ola de 60 cm tiene cuatro veces de energía y una ola de 90 cm tiene nueve veces de energía de una ola de un pie. Los aparatos para la energía de olas toman esta energía de ellas y la convierten en energía mecánica o eléctrica.

Como la CETO, el potencial de la energía de olas es mayor en ciertas partes del planeta. El área entre las latitudes de 40° y 60° en los hemisferios norte y sur, ofrece el mayor potencial para la energía de olas. Otro factor importante es lo que se conoce como "abra": la distancia sobre la cual el viento ha soplado sobre el mar, sin interrupción, antes de alcanzar el punto de interés. Las costas localizadas al final de una larga abra tienen el potencial de una energía de olas importante. Las costas de ciertos se encuentran en el lugar apropiado dentro de las latitudes señaladas, así como algunos al final de una abra, haciéndoles ideales para el desarrollo de la energía de olas. Algunos de los lugares más favorables mundialmente son la costa este de Japón y las costas oeste de Escocia, Noruega, y Estados Unidos.

La primera referencia histórica de nuestro interés por el uso de la energía inherente a las olas se cree que data de 1779. La primera patente de un aparato de energía de olas se dio en esta fecha en París, de un padre y su hijo de apellido Girard. El aparato que los Girard registraron no era muy diferente de los que se estudiaron a principios de la década de los 80's. Sin embargo, a partir de fines del siglo XVIII y hasta hace veinte años, no se había trabajado mucho en esta tecnología. Uno de los primeros esquemas de años recientes, se estudio en la isla de Mauricio. Se inició la investigación en un proyecto que teóricamente pudo haber proporcionado toda la energía necesaria para la población entera de la isla, pero el proyecto se canceló en 1966 por el descenso en los precios del petróleo.

4.4.1 PLANTAS DE ENERGÍA DE OLAS

La energía de olas puede producirse ya sea a partir de un aparato flotante en la superficie del océano o de una planta de energía fija al suelo marino. Una planta fija puede tener su base en tierra o localizarse alejada de la costa en mar

adentro. De los numerosos dispositivos inventados y probados en los últimos años, la mayoría se encuentra en alguna de las tres categorías principales:

- seguidores de superficies,
- dispositivos activados a presión y
- aparatos de concentración.

4.4.1.1 Seguidores de superficie

Los seguidores de superficies utilizan la conexión mecánica entre un dispositivo que flota en la superficie del océano y un pivote fijo para convertir en electricidad los movimientos ascendentes y descendentes de la ola. Un ejemplo de un seguidor de superficie es el aparato conocido como el Pato de Salter, desarrollado por Stephen Salter, de la Universidad de Edimburgo en Escocia. La Comunidad Europea está estudiando la viabilidad de este pato, que sube y baja rápidamente en la superficie de océano para extraer la energía de las olas. El Pato de Salter ha demostrado una eficiencia de absorción de más del 80%.

4.4.1.2 Dispositivos activados a presión

Los aparatos activados a presión se valen del nivel cambiante del agua para producir una presión variable. Un ejemplo de este tipo de mecanismo es uno que utiliza cambios de presión para impulsar aire a través de una aeroturbina, la cual entonces se enciende para producir electricidad. Una columna de agua oscilante (CAO) es un aparato de energía de olas activado a presión. Funciona a partir de la subida y bajada de las olas. Cuando el nivel de agua baja, el aire se

succiona hacia adentro de la turbina desde la atmósfera. La turbina gira en la misma dirección, sin importar de dónde provenga el aire, por lo que puede trabajar mientras el agua sube y baja en la columna de agua. Las CAO se han construido por menos de 1,900 dólares por kilowatt, y el aparato ha generado energía por 4 a 6 centavos de dólar por kW/h: tasas que resultan competitivas con otras fuentes de energía actuales.

4.4.1.3 Dispositivos de concentración

Los aparatos de concentración utilizan barreras físicas para redirigir las olas, concentrando su energía. Más específicamente: las olas se dirigen hacia un canal estrecho e inclinado que impulsa el agua hacia arriba hasta una altura suficiente para que pueda derramarse dentro de una cisterna de desagüe. Aunque los aparatos de concentración son los más sencillos de la tecnología de la energía de olas, se creó que tienen excelente potencial para producir grandes cantidades de energía.

4.4.2 ACTUALIDAD

Ha sido durante los últimos diez o veinte años que la energía de olas se ha considerado de una manera seria, como fuente potencial de energía eléctrica. A pesar de esta breve historia, los desarrollos tecnológicos en el campo han sido impresionantes.

Noruega presentó las primeras plantas de energía de olas en 1986. Una de estas plantas es un dispositivo de concentración, una reserva de 5,500 m² que está abierta al mar en un canal cónico, mientras que la otra es un aparato activado

a presión, una CAO. Si bien son diseños prototipo, los fabricantes de la CAO ofrecen sus sistemas para que se vendan comercialmente. El éxito de estas plantas a provocado pedidos de otras similares de otros países: Portugal e Indonesia, por ejemplo, han concluido los contratos para comprar aparatos de energía de olas.

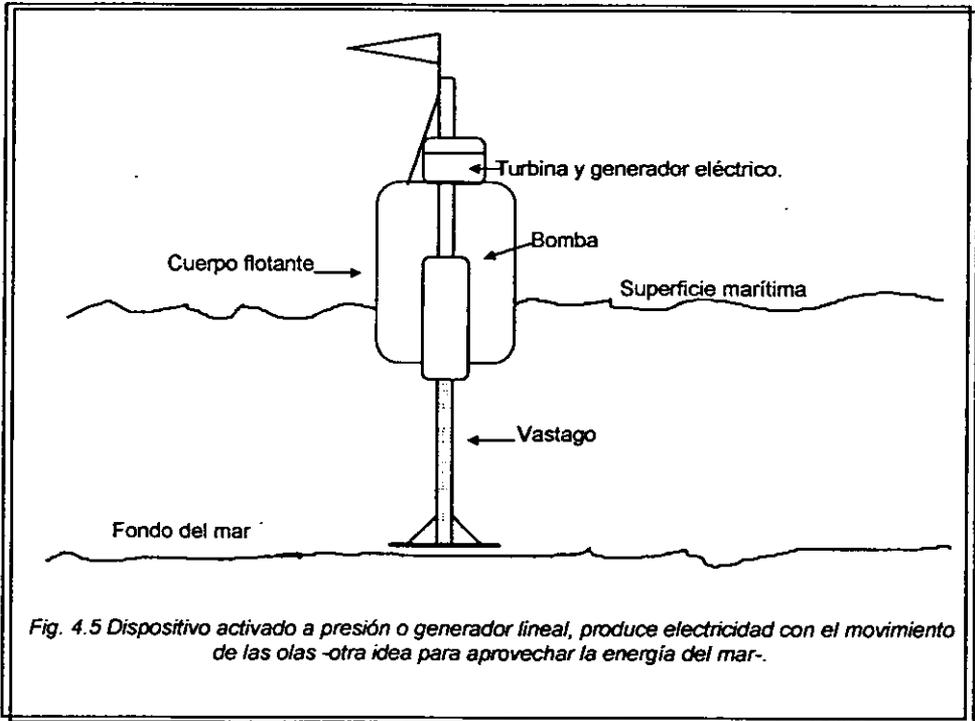


Fig. 4.5 Dispositivo activado a presión o generador lineal, produce electricidad con el movimiento de las olas -otra idea para aprovechar la energía del mar-.

Japón también ha estado usando los aparatos de energía de olas durante varios años, aunque a menor escala. Cientos de pequeñas boyas de navegación con capacidades generadoras de aproximadamente 0.5 a 3 kW se están usando en los mares que rodea este país. Otros países también utilizan pequeñas cantidades de estas boyas. Aunque hay relativamente pocos modelos de energía de olas en funcionamiento en el mundo, son varios los países que están trabajando en el desarrollo de su tecnología, tales como: Japón, Escocia, Noruega, Gran Bretaña e India.

Japón ha sido el lugar de varios proyectos internacionales de investigación en el campo de la energía de olas. Un generador de energía de olas de 40 kW, fijo en lecho marino se instaló en 1983 cerca de un pueblo llamado Sanze. Estudios anteriores han probado también un generador de energía de olas flotante en la forma de barcaza, llamado *Kamei*. Ambos proyectos permitieron a los investigadores obtener valiosa información acerca del funcionamiento de estos tipos de plantas generadoras de energía de olas.

Kamei fué construido en 1976 por el Centro de Tecnología y Ciencia Marina de Japón, y la Agencia Internacional de Energía lo adoptó como un proyecto internacional. Su primera etapa de pruebas comenzó a finales de la década de los 70's; después de varios años de inactividad, *Kamei* inició nuevamente su trabajo en 1985. El tiempo transcurrido desde la construcción de *Kamei* hasta el final de su segundo periodo de pruebas fue de casi diez años, tiempo que sirvió para obtener importante información sobre el carácter de las olas y del dispositivo mismo. Las pruebas iniciales del *Kamei* demostraron la factibilidad de la generación de la energía de olas a gran escala y produjeron una exitosa transmisión a pequeña escala de la energía generada para instalaciones con base en tierra. También demostró que un sistema del tipo flotante de energía de olas puede obtener una larga vida: el casquillo, las amarras, el cable de energía a la playa, las turbinas y los generadores todos pasaron el periodo de

prueba en buenas condiciones, con problemas menores. Las pruebas de la energía de olas abordo del *Kamei* han llevado a los investigadores que han participado en el proyecto a decir que la energía de olas pondría, teóricamente, generar el equivalente de has 50% de las necesidades energéticas de Japón.

El generador de energía de Sanze, fijo a la playa, se instaló después de que se terminaron las puebas del *Kamei* . Este generador era un aparato de columna de agua oscilante, y el desempeño de este sistema se encontró superior al de la barcaza del *Kamei*. Durante un periodo de una semana el sistema generó un promedio de energía eléctrica de entre los 30 a los 40 kW .

La Comunidad Europea, desde 1991 comenzó a conceder dinero a los estudios en ese campo dentro de los países miembros de la organización. Los investigadores durante mucho tiempo han pensado que Europa ofrece un gran potencial para la producción de energía de olas. Las encuestas han demostrado que hay un potencial de 110 GW (equivalente a un 85% de la actual demanda de electricidad de la Comunidad Europea) de energía de olas disponibles a lo largo de las costas europeas. Países como Irlanda, Escocia y Portugal podrían recibir, teóricamente, toda su electricidad a partir de la energía de olas.

Hasta ahora, los pequeños generadores para boyas y faros están comercialmente disponibles, como lo están también el aparato noruego oscilante. Otros dispositivos todavía se encuentran en fase de investigación y demostración.

4.4.3 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Los cálculos del costo de la energía proveniente de los proyectos de energía de olas varían mucho. El creador del molino de mar, un aparato similar a

los molinos de viento, el cual gira debajo del agua, calcula que su aparato producirá electricidad por una cantidad tan pequeña como 1 a 3 centavos de dólar. La teoría detrás de este aparato es que funcionaría de manera similar a los verdaderos molinos de viento, pero la fuerza en las corrientes es, típicamente, diez veces más concentrada que la del viento. Otros calculan que el costo de la energía de olas es de tres veces el estimado.

Dado que todavía hay relativamente pocas aplicaciones comerciales, se necesitará más tiempo para obtener una evaluación precisa de los costos involucrados. Otro factor que dificulta los cálculos es que las condiciones específicas de la ola en cada lugar potencial serán diferentes y, por lo tanto, afectarán los costos. La columna de agua oscilante usada en Noruega ha generado electricidad por 4 a 6 centavos de dólar por kWh; si esto es un indicio, la perspectiva de la competitividad en términos de costo de al menos esta tecnología específica es buena.

Como con muchas de las fuentes de energía alternativa basada en agua, los costos para las tecnologías de energía de olas son muy altos al inicio, con la construcción e instalación de los aparatos; también hay que considerar los costos de mantenimiento, pero la fuente de energía durante la vida de energía es ¡gratis!

A diferencia de la energía generada por los combustibles fósiles, la energía de olas no produce emisiones ni subproductos nocivos; y dado que las olas de los océanos son una fuente de energía renovable constante, lograr atrapar su fuerza elimina el peligro de agotar los preciosos recursos naturales del planeta.

Es difícil hacer generalizaciones respecto al impacto ambiental de la tecnología de la energía de olas por dos razones: para esta fecha, relativamente pocas investigación se ha hecho; además, existe una variedad de tipos distintos de aparatos que se están desarrollando en el campo. Sin embargo, es posible

hacer algunas observaciones sobre los aparatos mecánicos flotantes y dispositivos de barrera.

Los aparatos mecánicos flotantes se consideran tener muy poco impacto ambiental. El único peligro potencial sería si el aparato se llega a desprender de su ancla y pueda representar un peligro para la navegación. Incluso si el aparato no se desprende, si es pequeño y está cerca de la superficie del nivel del agua, puede ser difícil de detectar y, por lo tanto, significar un peligro. Este problema puede resolverse fácilmente, si se le agrega alguna especie de luz o iluminación o señal electrónica en la parte superior del poste.

Los dispositivos de barrera probablemente pueden causar alguna clase de cambio ambiental, estén o no alejados de la costa. Es muy posible que cambien ligeramente los patrones locales del movimiento de las olas y de las mareas, lo cual puede afectar a algunas especies del ecosistema de la región. Asimismo, los hábitos migratorios de algunas especies de algunas especies de peces también pueden verse afectados.

La energía de olas es potencialmente más valiosa que la energía eólica como fuente de energía: las olas no vienen y van en ráfagas; se desarrollan de manera gradual, sobre grandes distancias y largos periodos de tiempo y permanecen mucho tiempo después de que el viento que las ha creado se ha ido.

Si bien varias tecnologías actualmente disponibles para atrapar la energía inherente en las olas todavía necesitan ser desarrolladas, sí son prometedoras y pueden llegar a formar parte de los futuros suministros de energía.

4.4.4 FUTURO

El potencial de la energía de olas es grande, particularmente en los países que se encuentran dentro de las latitudes correctas y al final de las largas abras, los estudios han demostrado que la energía de olas finalmente podrá contribuir, de manera notable, al suministro de energía de muchos de estos países.

Se espera que los generadores de olas a pequeña escala, con capacidades de 100 watts a 1 kilowatt se produzcan cada vez más durante los próximos años, asimismo, los convertidores de energía de olas con base en la playa pueden usarse de manera práctica en el futuro cercano. Los aparatos de columna de agua oscilante parecen ser los más avanzados desde el punto de vista técnico, así como en cuanto a su costo y funcionamiento.

Uno de los aspectos que hay que tomar en cuenta en los sistemas de energía de olas es la necesidad de que las instalaciones resistan tremendas tormentas, aún cuando éstas puedan ser raras.

Dada la irregularidad de las olas, no se espera que esta fuente de energía se aplique a una generación de energía para servicios públicos; efectivamente tiene aplicaciones para suministros remotos de energía y en áreas costeras específicas. El tema de la irregularidad puede manejarse, al igual que con otras fuentes de energía renovable, con la inclusión de algún medio de almacenamiento de energía.

4.4.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: Las olas del mar.
2. Disponibilidad del energético: Abundante pero aprovechable sólo en algunas partes del planeta.
3. Sistema de generación: Plantas de energía de olas.
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: En las zonas marítimas entre las latitudes de 40 y 60 grados en los hemisferios norte y sur.
6. Sugerencias de ubicación en México: Costas de Baja California Norte.
7. Costo de generación: 4 a 6 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Ninguno.

4.5 ENERGÍA DE MAREAS

Las mareas son creadas por la gravedad del Sol, la Luna y el movimiento de rotación de la Tierra. Estos cuerpos que se mueven en relación uno de otro crean ciclos anuales de mareas en todo el planeta. Una gran variedad de elementos afecta las mareas. Los ciclos anuales de mareas modifican el rango de las mareas en determinadas épocas del año, y las características geográficas locales como la inclinación, reflexión y resonancia juegan también un papel importante.

La energía real disponible de las mareas se genera de la energía cinética del agua que se mueve de una elevación más alta a una más baja de un modo no muy distinto al de los diques hidroeléctricos. En los sistemas de energía de mareas, el agua se captura cuando se eleva y después se libera y dirige a través de turbinas, generando así electricidad. La fuerza que puede aprovecharse de las mareas es proporcional al cuadrado del rango de la marea. Así, por ejemplo, una marea de tres metros genera nueve veces más energía que una marea de un metro.

Hasta hace unos cuantos años se observó el poder de la marea como una posible fuente de generación de electricidad.

4.5.1 PLANTAS DE ENERGÍA DE MAREAS

Hay dos diseños principales para la generación de energía de mareas:

- la generación en una dirección, y
- la generación en dos direcciones.

4.5.1.1 Generación en una dirección

La generación en una dirección (marea menguante o descendente) permite que el agua fluya a través de canales hacia una presa (un dique artificial) cuando la marea sube. Todos los pasajes se cierran poco después de la marea alta para atrapar el agua que quede retenida detrás de una presa hasta que la marea ha bajado lo suficiente para permitir un diferencia conveniente en el nivel de agua

capturada y la del océano. En este punto el agua se libera y conforme fluye a través de las turbinas, genera electricidad. Cuando los niveles de agua en cualquiera de los lados de la presa se acercan mucho, el sistema se cierra hasta que llega el momento para empezar a capturar el agua nuevamente, punto en el cual el proceso vuelve a comenzar. Este es el método más común de generación eléctrica de mareas.

4.5.1.2 Generación en dos direcciones

La generación en dos direcciones produce energía de la misma forma que la generación en reflujo, pero también puede generar energía mientras la marea fluye en el otro sentido. Esto presenta la ventaja de ofrecer un periodo más largo de generación de electricidad, sin embargo, sus desventajas: son principalmente un elevado gasto inicial, la producción de un poco menos de energía que la del tipo de reflujo, y las alteraciones a los puertos y la navegación la hacen relativamente menos común.

La tecnología de energía de mareas está probada; los mecanismos que se emplean son parte de una tecnología bien establecida y los lugares de prueba de todo el mundo han demostrado la eficacia del concepto. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía, se requiere de poca investigación y desarrollo en este campo. Sólo resta aplicar la tecnología en los sitios apropiados en todo el mundo.

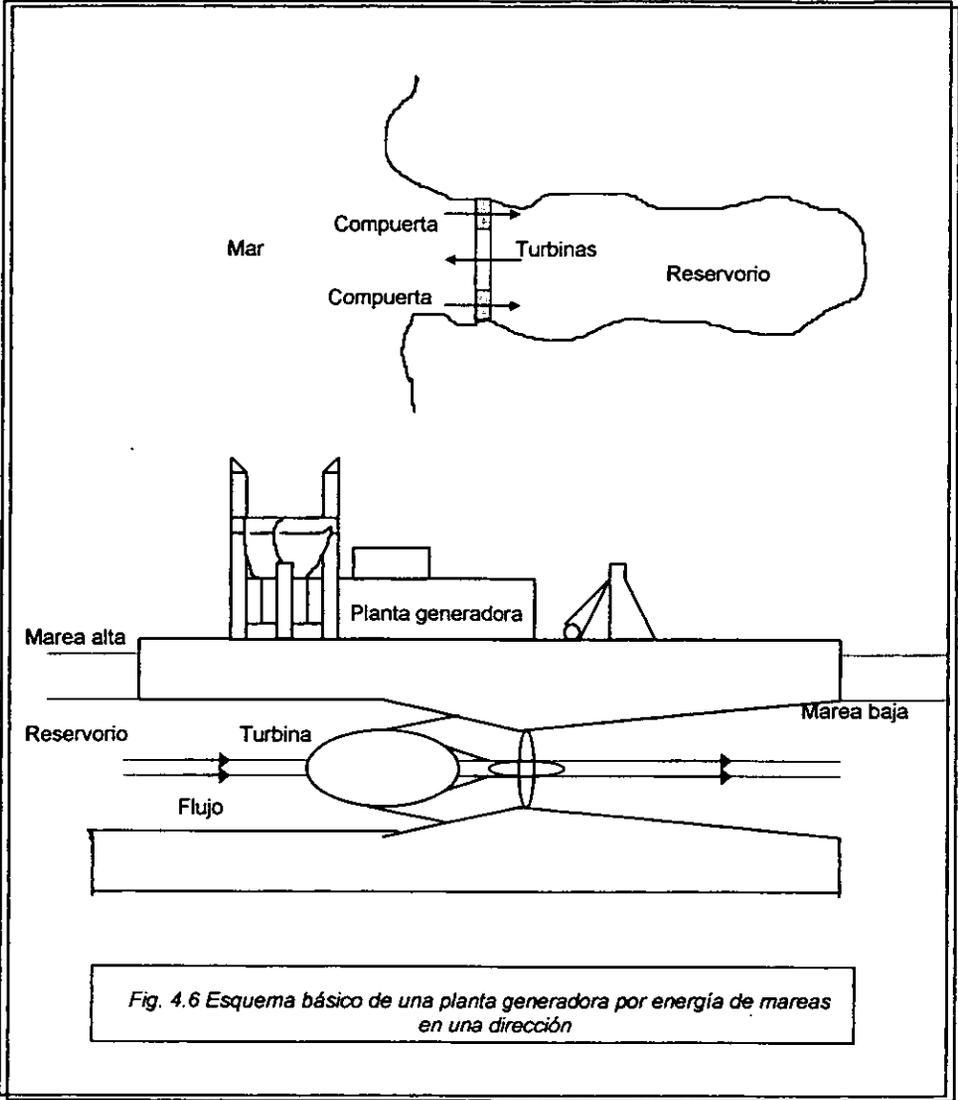


Fig. 4.6 Esquema básico de una planta generadora por energía de mareas en una dirección

4.5.2 ACTUALIDAD

Aunque esta fuente de energía es todavía relativamente poco común, puede sorprender a muchos el saber que realmente existen varias plantas de energía de mareas en operación en todo el planeta. La planta más grande de energía de mareas (con una capacidad de 240 MW) está en el estuario de La Rance, al norte de Francia. Esta estación de energía ha estado en operación desde 1968, con un índice global de disponibilidad del 93%. Otra instalación importante de pruebas para la energía de mareas es el Proyecto de Energía de Mareas Annapolis de 20 MW, en Annapolis real, en Nueva Escocia (en la bahía de Fundy) operó en su primer año (1984) con un 99% de disponibilidad. Ambos sitios han proporcionado valiosísima información a los investigadores y han demostrado la viabilidad de esta fuente de energía.

La planta de La Rance es la única en operación hoy en día sobre una base comercial, pero varios países están desarrollando la energía de mareas a través de una serie de estudios de factibilidad que resultan prometedores. La ex-Unión Soviética construyó una pequeña planta de demostración de 400 kW en Kislaya Guba en 1967. La ex-uniión Soviética, Canadá, Francia, Estados Unidos (Hawai) y China son pioneros de la mayor parte del desarrollo actual de la energía de mareas.

Los estudios que se han realizado hasta la fecha han demostrado que las plantas de mareas deben ubicarse en áreas dentro de un rango de mareas de más de 5m antes de que se pueda producir la energía (con la tecnología actual). Estos sitios también deben ofrecer una gran amplitud (la diferencia entre las mareas altas y las mareas bajas) y la posibilidad de crear grandes reservas para almacenar una gran cantidad de agua productora de energía.

4.5.3 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Como se observó, los costos relacionados con el desarrollo de proyectos de energía de mareas son muy altos al principio; la dificultad para lograr la inversión que se requiere para este desarrollo ha sido una de las principales razones del relativo avance de esta fuente energética.

Sin embargo, cuando se observa la vida del proyecto, los costos relacionados con la energía de mareas pueden resultar muy atractivos. Es importante recordar que con esta clase de fuente de energía no hay costos por combustible. El Grupo Severn Tidal Power, que estudió la factibilidad inicial de la Presa Severn, calculó sus costos iniciales de construcción en 8,250 de millones de dólares, pero se espera que la planta pueda producir energía a un costo de 4 centavos de dólar por kilowatt/hora (en comparación con los 6 centavos de dólar por kilowatt/hora del carbón).

Los estudios de factibilidad para el Proyecto Presa Severn han prestado particular atención a los efectos potenciales ambientales de una planta de energía de mareas. Estos efectos colaterales (buenos y malos pueden mencionarse para las plantas de energía de mareas en general).

Los sistemas de captación de energía de mareas ofrecen la misma clase de beneficios ambientales que los sistemas de energía eólica y solar: evitan la contaminación proveniente de quemar combustibles fósiles; son renovables, porque los océanos son una constante fuente de energía; y por lo tanto, no agotan ninguno de nuestros recursos naturales.

Entre las preocupaciones respecto a las plantas de energía de mareas está en poner en peligro a las especies de aves y peces, los cambios en los

ecosistemas y la acumulación de contaminantes. Todas estas preocupaciones son claramente específicas al lugar y deben estudiarse con mas detalle, caso por caso.

Con respecto a las aves, la construcción de una presa, la cual cambiará los niveles de agua en ambos lados, alterará naturalmente el ecosistema local. Las fuertes corrientes de mareas tienden a elevar y redepositar los sedimentos del fondo, un fenómeno que puede detenerse mediante una gran barrera. Si ciertas especies de plantas y animales no pueden sobrevivir en el nuevo ambiente, las aves y los peces que se alimentan en él también perecerán.

La acumulación de contaminantes es otro motivo de preocupación. Los ríos con presas tendrán una "afluencia" menos frecuencia, lo que conduce a la formación de contaminantes. La disminución resultante del suministro de oxígeno podría representar peligro para los habitantes del río.

Las personas que toman las decisiones respectivas tendrán que valorar los beneficios que ofrece esta tecnología junto con cualquier cambio potencial a los ecosistemas, causados por la imposición de grandes presas sobre una base, sitio por sitio. La tecnología y la investigación están en su lugar, y ya se han estudiado varios proyectos importantes. Si el problema de los altos costos iniciales pueden resolverse, parece que la energía de mareas puede formar parte de nuestra futura base energética.

Los diversos tipos de fuentes de energía hidroeléctricas abordados en este capítulo ofrecen una amplia gama de opciones para los planeadores de la energía futura. Si bien no están exentos de los factores ambientales, generalmente se acepta que ofrecen menos alteraciones que sus contrapartes convencionales. El financiamiento sigue siendo un aspecto importante en muchos casos, al igual que la investigación y su desarrollo continuo. Estas tecnologías se encuentran en

diversas fases de evolución, pero como un todo, todas son prometedoras como futuras fuentes energéticas.

En contraposición a algunas fuentes alternativas de energía, las mareas son una constante y la energía de mareas puede proporcionarse de manera continua. (Esto no significa que pueda alinearse con las necesidades críticas diarias de los servicios públicos, sin embargo, debido a que las mareas cambian ligeramente cada día como parte de su ciclo). Así que una vez que se han realizado los costos iniciales, la energía es gratuita y continua. Se espera que las plantas de marea tengan una larga vida (de hasta 120 años); la cantidad de energía producida también es enorme.

El uso de la energía de mareas de las aguas que rodean a un país permite un cierto grado de autosuficiencia energética, lo cual es siempre una ventaja en lugares donde los precios de los combustibles fósiles y su disponibilidad no son estables. Los beneficios ambientales del uso de la energía de mareas sobre los métodos más convencionales, también son importantes.

4.5.4 FUTURO

El potencial de la energía de mareas es importante. La Agencia Internacional de Energía ha calculado que los diversos proyectos en el mundo podrían producir, en teoría, 635,000 gigawatts horas de electricidad. Se menciona que la Bahía Fundy en Canadá, tiene mareas que varían entre 10 y 12 m, y las mareas extremas pueden alcanzar hasta más de 15 m. El flujo total de cada marea en la bahía de Fundy podría generar 400 millones de kilowatts horas de energía, aproximadamente la misma producción de 250 nucleoelectricas grandes.

En el Estuario Severn River, en Inglaterra, se tiene el Proyecto Severn Barrage, éste sería el sistema de energía de mareas más grande del mundo, aproximadamente 10 millas de largo y con una capacidad de producción de energía de 7,200 Mw.

Si bien la mayoría de los investigadores han considerado los estuarios como los lugares objetivo para las presas de mareas, algunos creen que serían preferibles los esquemas de "costa abierta"; pueden localizarse en grandes áreas de agua costera superficial, tal vez a unos 6 a 8 km de distancia de la playa. Quienes proponen las instalaciones de costa abierta creen que tendrán menos impacto ambiental, un costo menor, e incluso pueden usarse como base de plantas eólicas mar adentro.

El futuro de la generación de energía de mareas depende mucho de la disponibilidad de los fondos para su desarrollo. Aunque la tecnología ya se ha probado, requiere de una significativa cantidad de fondos. Los estudios de factibilidad realizados en Rusia, China y otros lugares pueden animar a los inversionistas, en todo el mundo conforme más y más estaciones demuestren funcionar de manera eficiente y confiable, para instalar plantas de este tipo en países que cuenten con el potencial energético de mareas necesario..

4.5.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: Mareas.
2. Disponibilidad del energético: Abundante de carácter variante.
3. Sistema de generación: Plantas de energía de mareas (en reflujos o en dos direcciones).
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: Zonas costeras donde se produzcan mareas de más de 5 m. De altura y de una gran diferencia entre mareas altas y bajas.

6. Sugerencias de ubicación en México: Costas del Pacífico en los estados de Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima, Jalisco, Sinaloa, Golfo de California.
7. Costo de generación: 4 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Posibles cambios en el ecosistema por acumulación de contaminantes.

5. ENERGÍA GEOTÉRMICA

5.1 LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Una vieja fuente de energía para el desarrollo del hombre sobre la Tierra es de gran interés e importancia: *los depósitos o reservorios naturales subterráneos de vapor y agua caliente*. La perforación de pozos que permitan liberar a ese fluido hirviente y aprovechar su energía se multiplican hasta el punto que en la actualidad la energía geotérmica representa millones de kilowatts instalados en plantas en diversas partes del mundo.

El origen de la energía calórica que da lugar a estos reservorios geotérmicos en la corteza terrestre se atribuye al decaimiento natural que se va produciendo en los elementos radiactivos, principalmente el uranio, torio y potasio, los cuales se hallan muy distribuidos en todas las rocas y con mayor concentración en las graníticas. Por la acción de la temperatura y la presión a grandes profundidades en la litosfera ciertas rocas, fundamentalmente de silicatos, se funden constituyendo enormes cámaras o domos de magma. La masa más fluida asciende hacia la superficie terrestre, a través de las fisuras de las rocas cristalizadas, la masa más densa va cristalizando formando rocas ígneas, las cuales si se constituyen en zonas profundas se denominan intrusivas (granito, dioritas, etc) y si se forman más cerca de la superficie se les llama rocas efusivas (basaltos, traquitas, etc.), se van liberando así las materias volátiles que son fundamentalmente agua, todavía en estado líquido por efecto de la presión a que se halla sometida. Esta agua caliente asciende por entre las fisuras de las rocas cristalizadas hasta encontrar capas de rocas porosas, como areniscas, con las

cuales se mezcla formando los reservorios subterráneos a que nos referimos al principio. Espesas capas de sedimentos jóvenes propician la formación de estos reservorios. Es necesario que sobre la capa de areniscas exista una capa de rocas impermeable, por ejemplo arcillas, que sirvan de tapón al reservorio. En muchos casos este tapón no produce un cierre hermético, presentándose puntos débiles en la corteza que dejan escapar espontáneamente el agua a la superficie. Esta, que se conservaba en estado líquido por estar sometida a elevadas presiones, se convertirá parcialmente en vapor al quedar liberada en la atmósfera. El fluido surge así en forma hirviente, constituyendo las llamadas *fumarolas* o *géisers*, mezcla de agua y de vapor acompañados de materia sólida disuelta o diluida en el agua, que son particularmente silicatos, cloruros y carbonatos. En otros casos el agua se halla aprisionada en el subsuelo en estado de vapor, cuyo estado lo determinan las condiciones de presión y de temperatura. Son los llamados *campos de vapor seco*.

Los brotes espontáneos son signo de la existencia de reservorios de agua caliente, lo que puede ya justificar una exploración geofísica para saber su importancia y ver si procede la perforación de pozos que permitan el aprovechamiento de la energía del agua a escala industrial

El interés por esta fuente de energía geotérmica se ha acentuado desde la década de los 60's, debido especialmente a la creciente demanda de la energía y a la posible carencia de combustibles fósiles. Recientes exploraciones están revelando que este recurso es más grande y más extenso de lo que se suponía.

En diversas partes del mundo y en numerosas islas hay signos de la existencia de agua subterránea caliente. Algunos de los campos explorados encierran enormes cantidades de energía que justifican explotaciones industriales. El incentivo para emprender con mayor interés la perforación de pozos se está poniendo en la posible aplicación de la energía calórica del agua no sólo a la generación de energía eléctrica sino a otros servicios de gran utilidad. El vapor y el

agua caliente se pueden emplear para el desalado del agua de mar, la calefacción de viviendas, para invernaderos y albercas y para proveer energía para refrigeración y aire acondicionado. Además, esta agua caliente, como ya se ha dicho, es una fuente de minerales de fácil extracción. También puede servir como agua potable, debidamente purificada.

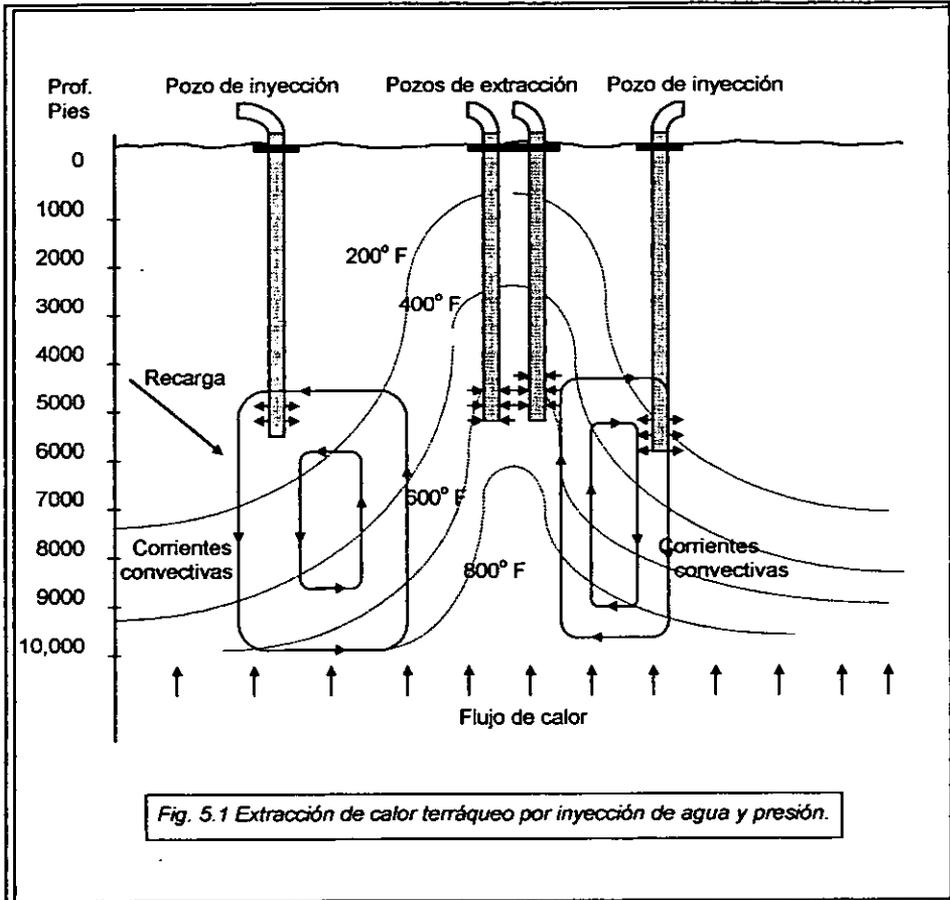
Las reservas de energía geotérmica aún no se conocen. Exploraciones hechas aseguran que existe un cinturón de reservorios geotermales a lo largo de la parte occidental del continente americano, desde Alaska hasta Chile, en el Oriente medio (Turquía); en Africa Oriental y en el Lejano Oriente, siguiendo el "Círculo de Fuego" de actividad volcánica que rodea el Océano Pacífico. Hay también esperanzas de esta fuente energética alrededor de Mediterráneo. Diversos países de Europa también ofrecen posibilidades de explotación de este recurso, América Central tiene mucho más potencial del que puede usar, según los expertos. Se ignoran el monto de las reservas y las posibilidades que ofrece esta fuente de energía geotérmica. La investigación y la exploración se va haciendo donde hay signos de brotes espontáneos, pero no se sabe ni la localización ni la magnitud de los reservorios de agua que esconde la Tierra en sus entrañas, calentada por esa inmensa caldera del magma terráqueo.

5.2 PLANTAS GEOTERMOELÉCTRICAS

5.2.1 TIPOS DE CAMPOS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

Las fuentes de energía geotérmica utilizable son de tres tipos:

- campos de vapor seco,
- campos de vapor húmedo y
- campos de agua caliente



5.2.1.1 Campos de vapor seco

Los campos de vapor seco, contienen el agua en estado de vapor, condicionados por la temperatura y presión a que se hallan sometidos, este vapor se puede usar directamente en las turbinas para la generación de electricidad o readaptarlo a las exigencias de las máquinas. El vapor seco que brota directamente de estos yacimientos está a relativamente baja presión, por lo que para usarlo directamente se necesitan dispositivos de gran capacidad para obtener potencias razonables. En el campo de géisers de California existen pozos de este tipo.

En las regiones que tienen escasez de agua potable se puede utilizar como tal el vapor condensado que sale de las turbinas en zonas próximas al mar, como en estas plantas de California, se puede emplear el vapor seco del subsuelo como fuente de energía en plantas desaladoras.

5.2.1.2 Campos de vapor húmedo

Los campos de vapor húmedo parecen ser 20 veces más abundantes que los campos de vapor seco. En ellos el agua está en los reservorios subterráneos en estado líquido, a presiones más altas (hasta 200 atmósferas) que en los reservorios de vapor seco y a temperaturas que oscilan entre los 180 y 370 grados centígrados. El agua se convierte parcialmente en vapor (10 a 12%) al descargar a la presión atmosférica. De este tipo son los pozos de Cerro Prieto en Mexicali. Sólo el vapor se aprovecha en las turbinas, el agua y el material disuelto se manda por canal abierto al mar de Cortés.

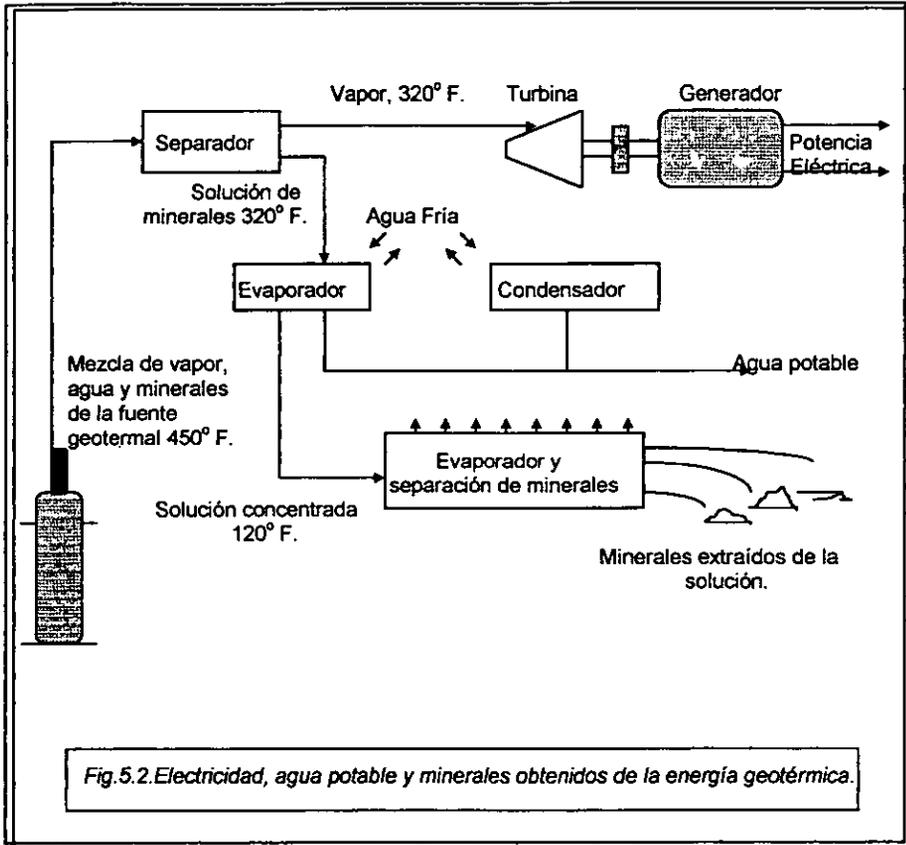


Fig. 5.2. Electricidad, agua potable y minerales obtenidos de la energía geotérmica.

5.2.1.3 Campos de agua caliente

Los campos de baja temperatura tienen grandes cantidades de agua a temperatura entre 50 y 82°C. En Hungría y Rusia existen algunos de estos campos. El agua a las temperaturas mencionadas tienen particular aplicación en climas

fríos para calentar viviendas invernaderos y minas. En Kamcharka, Rusia existe un campo a baja temperatura (81°C.) que se aprovecha en un intercambiador de calor para producir vapor y mover las turbinas de una planta eléctrica. Como fluido de trabajo en la turbina se emplea freón o isobutano que tiene su punto de ebullición bajo.

5.2.2 ACTUALIDAD

Estados Unidos es el mayor productor mundial de electricidad a partir de la energía geotérmica. La producción de dicha energía en el mencionado país representa una energía equivalente a 60 millones de barriles de petróleo al año. La generación geotérmica suministra 7% de toda la electricidad de California y proporciona energía a otros estados.

Además de Estados Unidos, unos 20 países han desarrollado la energía geotérmica en algún grado. Las Filipinas, México e Italia son otros de los principales productores de energía geotérmica. La mayor parte de las plantas geotérmicas son instalaciones pequeñas (1 a 5 megawatts) y de tamaño medio (25 a 60 megawatts), mientras que también hay algunas grandes, de 110 megawatts.

PAIS	1980	1990	1995
Estados Unidos	1,444	2,770	3,170
Filipinas	891	891	2,146
México	425	700	950
Italia	459	545	885
Japón	215	215	457

Tabla 5.1 ENERGIA ELECTRICA GEOTERMICA
Capacidad (Mw)

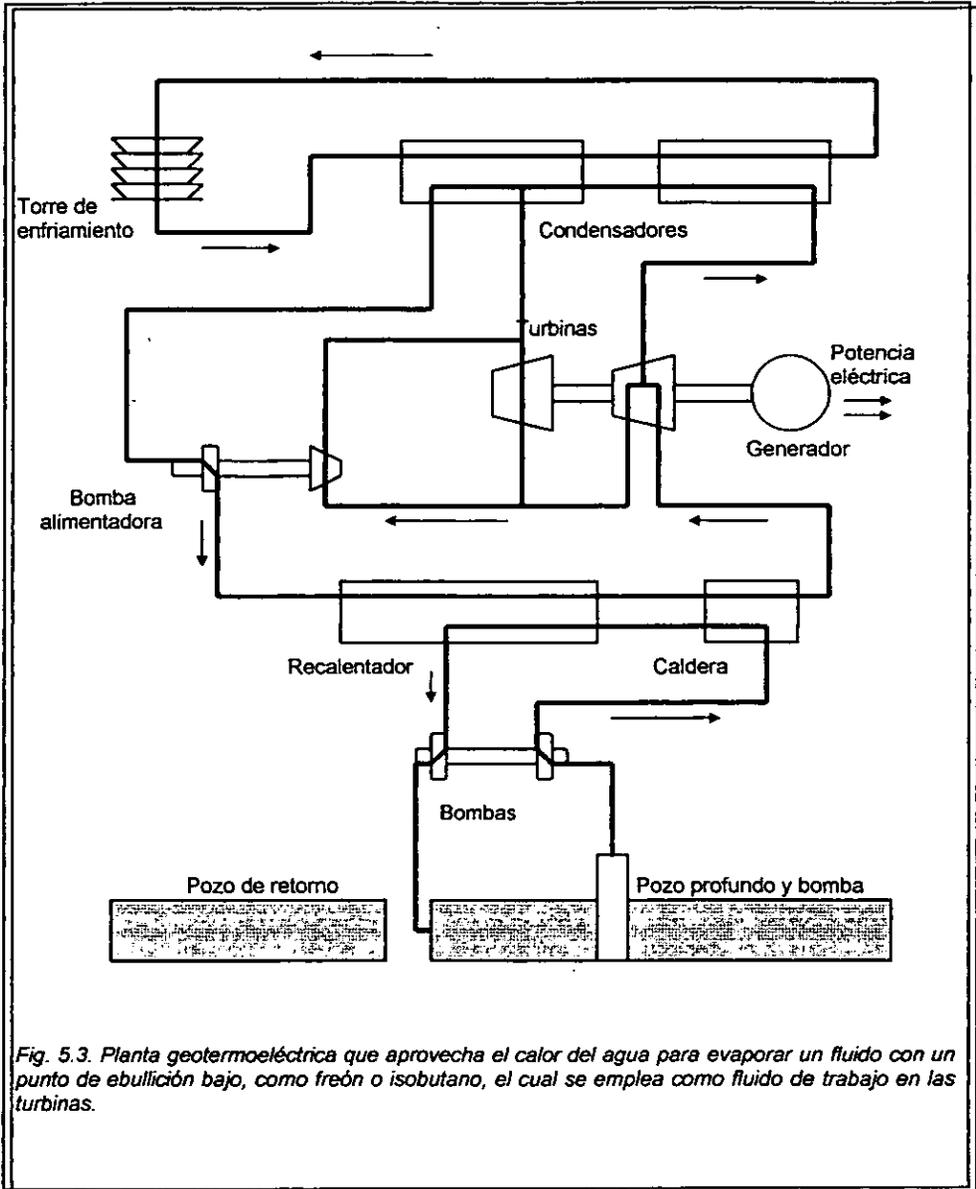


Fig. 5.3. Planta geotermoelectrica que aprovecha el calor del agua para evaporar un fluido con punto de ebullición bajo, como freón o isobutano, el cual se emplea como fluido de trabajo en las turbinas.

Hasta hace poco tiempo, la actividad en Estados Unidos se concentraba principalmente en los géisers, lo cual ha sido una exitosa aventura comercial durante dos décadas. Los pozos de hasta 3 km de profundidad capturan el vapor de esta vasta fuente de energía.

El campo geotérmico de géisers cubre un área de aproximadamente 50 km cuadrados (en California). Su capacidad de 2,050 Mw lo convierte en el desarrollo geotérmico más grande del mundo en la actualidad. A pesar de ser la fuente más grande del mundo, sin embargo, este lugar no es típico de la energía geotérmica actualmente usada en el planeta. Como ya se mencionó, los géisers es un depósito de vapor seco, mientras que la mayoría de los recursos geotérmicos mundiales son campos de agua caliente.

En su punto máximo en 1987, los géisers generaron 1.3 millones de Mw de electricidad, energía suficiente para 1.3 millones de personas. La producción se ha reducido un poco desde mediados de los años ochenta, se cree que este declive indica que el campo está totalmente desarrollado. No obstante, algunos estudios de desempeño han sugerido que la vida continua del campo todavía es de más de cincuenta años. La disminución de la producción de energía en los géisers de California no es única, también se ha dado una reducción en la producción de los campos de vapor seco en Italia y Nueva Zelandia.

Se están considerando actualmente soluciones para la disminución gradual en la producción de energía de los géisers. Entre las posibles técnicas se incluye la reinyección de vapor de vuelta a los campos como ya se hace en los campos de agua caliente, mejorando la eficiencia en esos lugares, del abandono de plantas menos eficientes en favor de las más eficientes. Las pruebas de inyección de agua que se han hecho han detenido la disminución en la producción en los pozos, los cuales han mostrado un aumento en el flujo de vapor. Aunque no se esperaba que tal inyección aumentara radicalmente la producción a corto plazo, se cree que se

tiene un buen potencial para recuperar calor adicional a partir de la roca en depósito con el paso del tiempo.

Las Filipinas, en donde más de 20% de toda la energía se genera a partir de fuentes geotérmicas, y México, siguen a Estados Unidos en la producción geotérmica. Italia, Japón, Nueva Zelanda y China están entre los otros países que actualmente cuentan con proyectos geotérmicos. Entre los países con buenos prospectos de generación de energía geotérmica para el año 2000 se encuentran Bolivia, Canadá, Chile e India.

Los países en vías de desarrollo están mostrando un gran interés en sus recursos geotérmicos; en particular, aquellos que no cuentan con combustibles fósiles naturales están considerando seriamente el desarrollo geotérmico, junto con otras fuentes renovables, para dar un paso adelante hacia la seguridad nacional y la independencia energética. Un estudio de Banco Mundial basado en una compilación de los programas de energía de los países en vías de desarrollo, observa que los planes en dichos países requieren de un aumento en la producción de energía geotérmica de 2 a 5 gigawatts en la década de los noventa. Estos aumentos planificados, si bien no son demasiado grandes, muestran la intención de desarrollar esta fuente de energía renovable.

Por ejemplo Islandia depende en gran medida de sus recursos geotérmicos. Más de un tercio de la energía consumida en ese país lo proporciona la energía geotérmica. Se calcula que hay suficiente energía para proporcionar servicio eléctrico continuo en el orden de 2,300 Mw. Sólo una pequeña cantidad se ha desarrollado hasta ahora.

5.2.3 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Ahora se hacen estudios para la estimación de costos de explotación con este recurso energético.

En Estados Unidos, el costo promedio por kilowatt/hora producido es de 4 a 6 centavos de dólar. La Secretaría de Energía de E.U. considera que la energía geotérmica es "una tecnología de energía renovable actual regionalmente importante y económica". Asimismo, la Comisión de Servicios Públicos de California encuentra muy competitivo el costo de los sistemas de vapor seco, vapor rápido y energía geotérmica binaria; se destaca el beneficio económico de los tiempos cortos de orden y construcción (de 6 meses a 1 año) para instalaciones geotérmicas a pequeña escala.

Como ya se ha demostrado con muchas fuentes alternativas de energía, gran parte del costo relacionado con la energía geotérmica se gasta al inicio. La investigación, excavación y establecimiento de la planta representan una parte sustancial del costo global, con posteriores costos de operación relativamente bajos.

En Estados Unidos un estudio mostró que el costo del pozo geotérmico promedio (2,000 m de profundidad) es aproximadamente de 2 millones de dólares, comparado con casi 750,000 dólares para un pozo de la misma profundidad de gas y petróleo, en tierra. Los elevados costos se atribuyen a factores tales como altas temperaturas, existencia de fluidos corrosivos, la necesidad de pozos de mayor diámetro y, en general, a una mayor dificultad de construcción.

Pero cualquier costo excesivo resultará en una excelente inversión a futuro, ya que los beneficios obtenidos son importantes.

El uso de la energía geotérmica no produce contaminación ambiental, lo que representa gran ventaja sobre los combustibles. En algún caso se ha observado la aparición de ciertas cantidades de boro que podrían contaminar el agua de corrientes superficiales si se producen descargas del agua geotermal. De momento las descargas hacen en pozos del mismo campo, con lo que se reduce el rendimiento, pero se evitan problemas. Se estudian otras formas de control que parece no será difícil de lograr.

Tres ventajas fundamentales presenta este recurso de energía geotérmica:

1. Su uso no produce contaminación ambiental.
2. Es económica en su aplicación, siendo conveniente el desarrollo de una tecnología adecuada para una utilización más integral.
3. Se puede clasificar como recurso renovable, ya que la fuente de calor (el magma) ofrecerá su energía durante muchos millones de años.

5.2.4 FUTURO

De los tres tipos de utilización de la energía geotérmica, los campos de agua caliente son comercialmente disponible en la actualidad. Las otras se encuentran en diversas etapas de desarrollo y requieren de más investigación antes de que sean económicamente competitivas con otras formas de energía, renovable o tradicional. Algunos consideran el potencial de estas fuentes no desarrolladas más importantes que el de las fuentes hidrotérmicas.

El manejo cuidadoso de estos recursos es muy importante porque esta fuente de energía no es estrictamente hablando, renovable, al menos no en la escala del tiempo humano. El campo de géisers de California, y otros en Italia y Nueva Zelanda, ya ofrecen evidencia de agotamiento. Se necesita de más investigación para identificar el impacto, si es que lo hay, de la extracción de esta fuente de energía de la Tierra.

Sin embargo el conflicto entre la necesidad de desarrollar una energía alternativa y la de conservar la preciosa Tierra y recursos naturales sale a relucir. Muchos creen que los problemas potenciales de la extracción de la energía de la geotérmica, principalmente el hundimiento de la tierra y la eliminación de peligrosos fluidos de excavación, no se comprenden cabalmente, y que esta fuente de energía no debe desarrollarse hasta que se esclarezcan las ramificaciones de dicho trabajo. Otros piensan que los peligros reales que significan nuestros actuales hábitos de explotación de energía son suficiente razón para continuar con el desarrollo geotérmico.

5.2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: Depósitos naturales subterráneos de vapor y agua caliente.
2. Disponibilidad del energético: Abundante
3. Sistema de generación: Plantas Geotérmicas.
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: Zonas de intensa actividad volcánica.
6. Sugerencias de ubicación en México: Norte de la Península de baja California y Centro de la República Mexicana en la zona neovolcánica que atraviesa al país de este a oeste.
7. Costo de generación: 4 a 6 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Ninguno.

6. ENERGÍA BIOMASA

6.1 LA ENERGÍA BIOMASA

La biomasa incluye cualquier materia orgánica, planta o animal. La energía biomasa, o bioenergía, es un término general que comprende la energía almacenada en estos desperdicios orgánicos, su transformación en energía útil, y el uso final que se dé a esa energía. La transformación de estos materiales en energía puede ser tan simple como cortar árboles y quemarlos, o tan compleja como tomar caña de azúcar u otros cultivos y convertir sus azúcares en combustibles líquidos. La belleza de la producción de energía biomasa es que las tecnologías de conversión pueden reemplazar una amplia variedad de fuentes de energía tradicionales. La energía biomasa puede sustituir los combustibles fósiles en forma sólida o líquida, y puede generar tanto electricidad como calor directo.

Las fuentes más comunes de energía biomasa son la madera y sus desechos, pero existen muchas otras fuentes adicionales, entre las que se incluyen residuos agrícolas, desechos animales, desechos sólidos municipales (DSM) y las microalgas así como las plantas acuáticas. También se pueden hacer cultivos con el fin expreso de cosechar su contenido energético.

Un importante punto que se debe señalar respecto a la tecnología de biomasa es que el carbón inherente en la materia orgánica se recicla. A diferencia de quemar los combustibles fósiles, la combustión de la biomasa simplemente

recicla el carbón fijo mediante la fotosíntesis en su fase de crecimiento, esto tiene que ver con la relativa falta de contaminación de aire inherente en la producción de la energía biomasa, expresado de una manera sencilla, la combustión de la materia vegetal no libera más bióxido de carbono que el que absorbe en su crecimiento, por lo que la contribución neta a los gases de invernadero es cero.

La madera y sus desechos comprenden una gran variedad de componentes, incluyendo residuos de los bosques y los molinos. Por ejemplo, árboles y los restos de los mismos (ramas y copas de árboles) pueden usarse como combustible potencial; respecto a los molinos, cortezas, aserrín y otros desechos sirven como combustible potencial. Los residuos agrícolas pueden incluir mazorca de maíz, el bagazo de la caña de azúcar (el tallo que queda después de que se le ha extraído el jugo), hojas y cáscara de arroz. Los DSM también proporcionan un gran abastecimiento de energía biomasa potencial. Papel, telas, basura de patios, diversos escombros de la construcción y material de empaque son sólo algunos de los materiales con energía potencial que se encuentran en nuestros desperdicios sólidos. Finalmente, los cultivos energéticos incluyen granos, algas y otras plantas acuáticas, hierba y plantas petrolíferas.

Desde luego que los materiales de biomasa usados en un país o región en particular varían de acuerdo con los recursos locales. En el Caribe y otros climas tropicales, por ejemplo, la caña de azúcar se cultiva ampliamente, por lo que su bagazo es un tipo común de energía biomasa. Los países en donde se cultiva el arroz emplean la cáscara de este grano.

FUENTES SIMPLES DE BIOMASA

MADERA Y DESECHOS DE MADERA

- *Árboles* (eucalipto, tulipanes, pino, acacia, sauce, plátano, aliso rojo, olmo, maple).
 - *Arbustos* (chaparral, mezquital).
- *Residuos forestales* (residuos de tala, desmonte, remoción).
- *Residuos de molienda* (corteza, aserrín, residuos gruesos).

OTROS DESECHOS

- *Desechos de ganado* (estiércol).
- *Desechos procesados* (industrial procesamiento de alimentos).
 - *Aguas residuales* (cieno).
- *DSM* (papel, alimento y basura de patios, plásticos, madera, llantas).

RESIDUOS AGRICOLAS Y COSECHAS

- *Residuos de cosechas* (picos de caña, paja, cáscara, mondadura de cítricos, mazorca de maíz).
 - *Motas de algodón*.
 - *Bagazo* (pulpa de caña de azúcar).
 - *Melaza*.
 - *Fécula* (maíz, avena, sorgo, cebada).
 - *Azúcar* (caña, remolacha, sorgo).
 - *Forraje* (alfalfa, hierbas, cañuela, trébol).
- *Semillas oleaginosas* (soya, girasol, cártamo).

PLANTAS DE AGUA DULCE Y SALADA

- *Algas* (alga marina, microalgas, espirulina).
 - *Semilla de agua*.
 - *Hierbas acuáticas*.
 - *Jacinto de agua*.
 - *Carrizos y juncos*.

COSECHAS NO CONVENCIONALES

- *Plantas de tierra árida* (guayule, cola de conejo, vara de San José, creosota, sasafrás, algodóncillo).
 - *Plantas salinas* (caramillo, hierbas de carrizo, cardo ruso).

La energía biomasa puede generarse de dos maneras: usando los desperdicios agrícolas, industriales o municipales, o cultivando plantas específicamente para la producción de energía. El primer método incrementa la

eficiencia de las actividades existentes, mientras que el último requiere de la infraestructura de todo un sistema agrícola. En el último caso, el uso de lo que se ha conocido como "granjas energéticas" provoca cierta preocupación por competir con la tierra agrícola por los alimentos y el mayor uso de los plaguicidas. Sin embargo, las granjas energéticas tienen el potencial de proporcionar una importante fuente de energía.

Es importante hacer notar que la biomasa no es un recurso renovable a menos que la creación de la fuente exceda su uso. Esto se aplica tanto a las granjas energéticas como a las cosechas estándar particularmente los bosques. Por ejemplo algunos países están empleando árboles de rotación rápida para energía. Esta política no puede considerarse energía renovable a menos que se vuelvan a plantar el mismo número de árboles que se han utilizado para la producción de energía. La sustentabilidad es esencial si esta fuente de energía se va a usar de manera responsable.

6.2 SISTEMAS DE CONVERSIÓN

Las plantas crean energía a través de la fotosíntesis, reteniendo la radiación solar y convirtiendo el bióxido de carbono y el agua en productos energéticos. Entonces podemos tomar la energía y transformarla a través de una variedad de procesos para adaptarla a nuestros usos. Existen dos tipos básicos de conversión de la bioenergía en la actualidad:

Biometanación

- Conversión biológica {
 Fermentación alcohólica

Combustión directa

Pirólisis

- Conversión termoquímica {

Licuefacción

Gasificación y licuefacción indirecta

6.2.1 CONVERSIÓN BIOLÓGICA

La conversión biológica de la biomasa en combustible puede lograrse mediante la digestión anaerobia (biometanación) o la fermentación (producción de etanol a partir de cultivos ricos en azúcares o almidones o, después de la depolimerización química o enzimática, de lignocelulosa en azúcares simples y lignina). Los dos procesos son anaeróbicos e involucran un proceso de fermentación. La diferencia entre ellos reside en el tipo de microorganismos, sus actividades de digestión y los productos obtenidos. En ambos casos el primer paso en la conversión es un proceso de hidrólisis, en que la materia orgánica compleja se rompe en azúcares solubles al reaccionar la biomasa con agua en presencia de ácido o enzima.

6.2.1.1 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

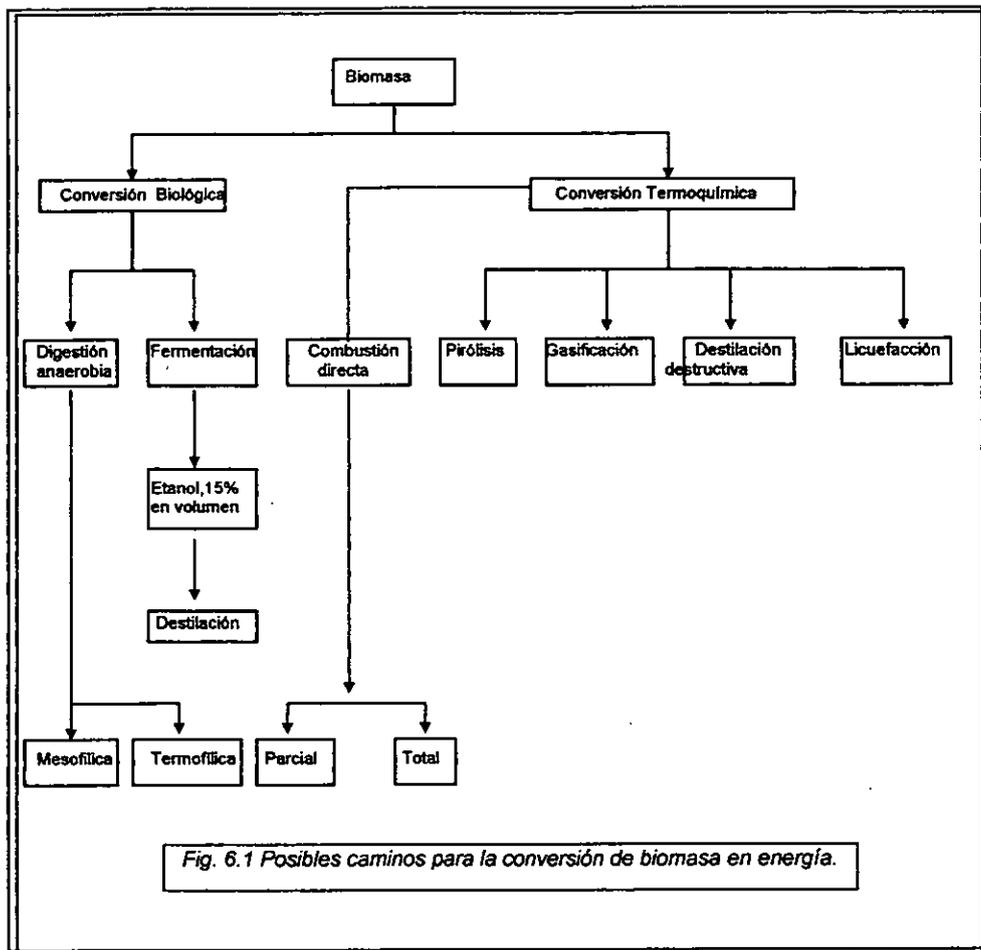
aprovercharse como combustible, produciéndose además lodos residuales empleables como mejoradores de suelos o fertilizantes.

El tratamiento de la materia orgánica mediante la digestión anaeróbica cumple así con tres funciones:

1. Producir un gas combustible;
2. Producir mejoradores de suelos, fertilizantes o forrajes;
3. Reducir la contaminación ambiental producida por la disposición de desechos no tratados.

Aunque aquí se analizarán los biodigestores desde el punto de vista energético (producción de biogás) las otras dos funciones señaladas son quizá las más importantes y las que hacen atractivo su empleo en la mayor parte de las aplicaciones.

Los procesos de descomposición de materia orgánica pueden llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aeróbicos) o en ausencia del mismo (anaeróbicos), dependiendo del tipo de microorganismos que producen la hidrólisis enzimática de la materia orgánica. Para la producción de biogás se emplean los procesos anaeróbicos.



La biodigestión se realiza en tres procesos degenerativos: a) *Hidrólisis enzimática*, en que los sólidos fermentables son convertidos en compuestos solubles; b) *Acidulación*, en que los compuestos solubles (azúcares), se convierten en ácidos orgánicos volátiles, como el acético, el bórico y el propiónico, y c)

Metanación, en que los ácidos orgánicos volátiles se convierten en biogás mediante la acción de una familia de bacterias,

Las bacterias productoras de gas metano, llamadas por ello metanogénicas, se cuentan entre los organismos más estrictamente anaeróbicos que se conocen e incluyen los siguientes géneros: *Metanococcus*, *Metanobacterium*, *Metanosarcina*, *Metanospirillum* y *Metanobacillus*.

Los principales factores que fijan el costo de un digestor son la tasa de producción de gas metano y lodos (y la calidad de éstos), y el tiempo de retención de la mezcla en el interior del digestor.

Según la forma de alimentación pueden distinguirse dos tipos diferentes de biodigestores: *intermitentes* y *continuos*. Cuando la alimentación es intermitente el digestor se llena y se cierra. La producción de biogás se manifiesta algún tiempo después, alcanza un máximo y vuelve a declinar. Al llegar a una producción muy pequeña de biogás el digestor se destapa, se limpia y se cierra nuevamente para repetir el ciclo. Esto ocurre típicamente cada 3 o 6 meses, aunque este tiempo puede reducirse drásticamente calentando y/o agitando el digestor. En los digestores de alimentación continua, una vez establecidas las condiciones normales de operación, la materia orgánica se alimenta diariamente (una o dos veces por día) de acuerdo al volumen y al tiempo de retención hidráulica de diseño.

Los digestores intermitentes suelen requerir una inversión bastante menor que los de alimentación continua, pero su eficiencia de conversión es menor y su tiempo de retención bastante mayor que los de éstos últimos.

La alimentación máxima del digestor depende de la naturaleza del desecho y se determina experimentalmente.

Los materiales orgánicos que pueden tratarse mediante la digestión anaeróbica son muchos. Como se señaló, la mezcla alimentada a los digestores es de baja concentración de sólidos totales. Sólo una fracción de ellos son sólidos volátiles y son los que interesan para la digestión anaeróbica.

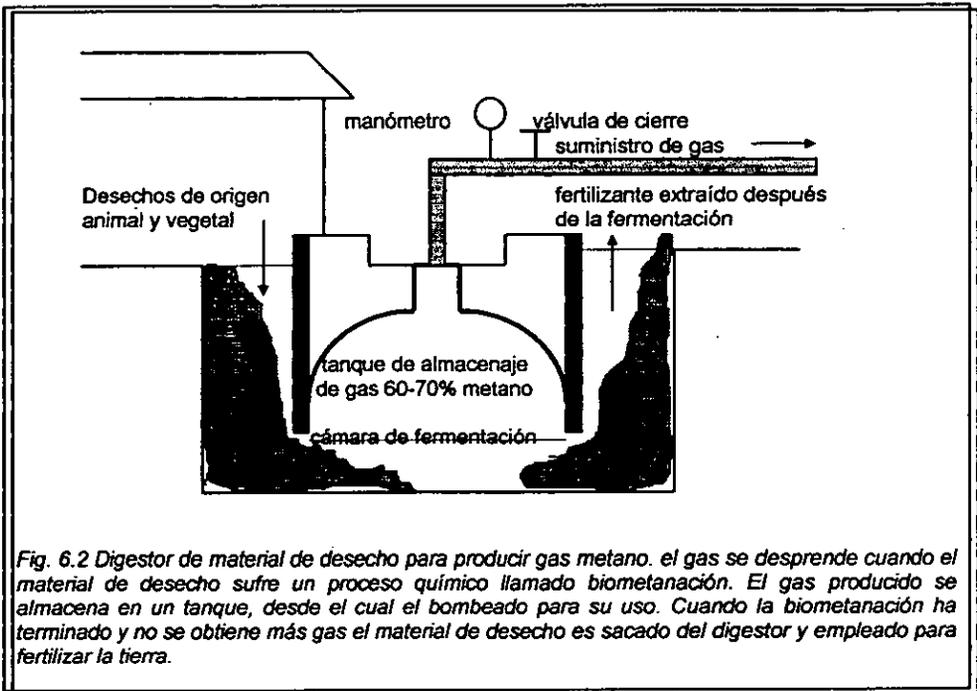


Fig. 6.2 Digestor de material de desecho para producir gas metano. el gas se desprende cuando el material de desecho sufre un proceso químico llamado biometanación. El gas producido se almacena en un tanque, desde el cual el bombeado para su uso. Cuando la biometanación ha terminado y no se obtiene más gas el material de desecho es sacado del digestor y empleado para fertilizar la tierra.

Todos los estiércoles son aprovechables en biodigestores. Los más investigados han sido de ganado vacuno o porcino, siguiéndoles los de aves de corral (gallinas, principalmente), caballo y carneros. El estiércol de ganado vacuno es el más favorable ya que una vaca excreta aproximadamente el 8% de su peso vivo al día entre estiércol y orina, estando la mayor parte del primero triturado y semidigerido por microorganismos existentes en el rumen del animal. Por su parte,

el estiércol de ganado porcino tiene un olor muy penetrante y posee una notable tendencia a bajar de nivel de pH durante el proceso de digestión, quizás por formarse grandes cantidades de ácidos volátiles y por tanto el que permite una mayor producción de biogás por unidad de estiércol fresco.

La producción de biogás, base sólidos volátiles, crece con el tiempo de retención acercándose asintóticamente hacia un valor máximo; por otra parte, en general, cuanto mayor el tiempo de retención menor la producción diaria de biogás. Este último factor hace deseable que el tiempo de retención de cualquier biodigestor sea pequeño. Para reducirlo puede incrementarse la carga del digestor (a fin de mantener la concentración de sólidos volátiles), o bien diluir la carga alimentada, prefiriéndose habitualmente lo primero. La temperatura del digestor ejerce una influencia directa sobre el tiempo de residencia, a mayores temperaturas los biodigestores pueden operar con tiempos de residencias menores.

6.2.1.2 Fermentación alcohólica

El etanol es un alcohol empleado como combustible en sustitución de la gasolina o mezclado con ella y como insumo en la obtención de productos químicos (vitaminas, antibióticos, solventes y otros).

El etanol puede obtenerse a partir del etileno, el que a su vez se obtiene de hidrocarburos. Es posible también producir etanol a partir de la fermentación de biomasa rica en azúcares o almidones, tales como remolacha, la mandioca, el sorgo, el maíz, el trigo, la caña de azúcar y subproductos, como se ha realizados efectivamente desde hace varios siglos. Dado que todos los sustratos mencionados son a su vez productos alimenticios, pueden provocarse conflictos

importantes si son explotados masivamente con propósitos energéticos sin previo análisis cuidadoso de las consecuencias que esto puede acarrear.

El etanol se obtiene a través de dos procesos: a) *Hidrólisis* (obtención de glucosa): extrayendo azúcares al convertir almidones y celulosa en glucosa y eliminando partículas sólidas; el proceso de hidrólisis puede ser químico (hidrólisis ácida) o enzimático (hidrólisis de enzimas), y b) *Fermentación*: convirtiendo, mediante levadura, la glucosa en etanol, bióxido de carbono y vinaza, un subproducto no fermentable que también puede emplearse como combustible, como materia prima para la biometanación o si contiene proteínas, como complemento alimenticio de animales.

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 con pretratamientos suaves (sin requerirse en ocasiones el proceso de hidrólisis), tales como prensado, corte, o lavado.

Los cultivos ricos en almidones (papa, maíz, cereales, mandioca, etc.) generalmente se aplastan o remuelen antes de ser fermentados, se les agrega agua y se cocinan para incrementar su área superficial y convertir en una gelatina al sustrato de almidones. Cuando la mezcla resultante se enfría se hidroliza enzimáticamente.

Los métodos de pretratamiento e hidrólisis de materiales celulósicos incluyen dilución o pretratamiento ácidos, henchido alcalino, aplicación de vapor, congelamiento, irradiación y granulado mecánico. Algunos métodos incluyen tratamientos tanto físicos como químicos.

La hidrólisis enzimática es preferida a la hidrólisis ácida por no requerir equipos resistentes a la corrosión (y por ello más caros), por permitir una supervisión menos estricta de las condiciones del proceso, tener un factor de

conversión cercano al 90% comparado con alrededor de un 50% en la hidrólisis ácida, y por no ser un proceso intensivo de energía.

6.2.2 CONVERSIÓN TERMOQUÍMICA

Los principales procesos de conversión termoquímica son: combustión directa, pirólisis, licuefacción y gasificación. Los productos que se obtienen con estos procesos incluyen combustibles sólidos, aceites y gases de bajo o mediano contenido calorífico. Los gases pueden convertirse posteriormente en metano, metanol (alcohol metílico), hidrógeno y amoníaco (las tecnologías para sintetizar el metanol y el amoníaco están disponibles comercialmente, mientras que la metanización está actualmente en desarrollo).

6.2.2.1 Combustión directa

La combustión directa de la madera y otras plantas siempre ha sido una fuente primaria de energía para los seres humano. Este tipo particular de conversión de energía biomasa es el más antiguo y el más usado en la actualidad, principalmente por casi cualquier tipo de biomasa puede para producir calor, vapor y a su vez electricidad.

Hoy la tecnología para las plantas de energía que utilizan la combustión directa de la madera, los desechos de la madera o el DSM está bien desarrollada. Los sistemas de combustión directa varían considerablemente en tamaño. Las grandes plantas de energía pueden producir hasta 400 Mw de energía, mientras que los sistemas pequeños incluyen los usados para la calefacción y las estufas

domésticas de leña. La mayor parte de los sistemas de combustión directa pueden tomar cualquier tipo de biomasa siempre y cuando su contenido de humedad sea de menos del 60%. Mientras que la madera y sus residuos es lo que más comúnmente se usa, una gran variedad de otros residuos agrícolas también puede usarse como alimento para ganado.

6.2.2.2 Pirólisis

La pirólisis es una descomposición térmica de biomasa en ausencia de aire (aunque algunas tecnologías emplean aire en alguna parte del reactor) que puede llevarse en lotes "batch" o en procesos continuos. Los reactores pirolíticos operan a presiones cercanas a la atmosférica y temperaturas adecuadas para volatilizar la biomasa en líquidos y gases quedando como residuo carbón vegetal. Cuando las temperaturas se controlan alrededor de los 205° C se obtienen principalmente líquidos, mientras que con temperaturas cercanas a los 650° C se obtienen gases como producto principal. En general los gases obtenidos de la pirólisis son de bajo contenido calorífico (370 a 1,110 kJ/m³) y casi siempre una parte importante de ellos se quema para proporcionar el calor requerido por el proceso. Existen distintos procesos de conversión pirolítica, que emplean diferentes materias primas, tipos de reactor, condiciones de operación y que obtienen productos diferentes. Los sistemas basados en retortas verticales son los de uso más común en procesos de alimentación continua. Las mayores diferencias entre los sistemas pirolíticos se presentan en la manera como se proporciona el calor auxiliar requerido en el proceso. La destilación destructiva de madera y otros productos agrícolas para producción de metanol, carbón vegetal y gas de bajo contenido calorífico es un proceso de pirólisis.

Los aceites obtenidos de la pirólisis tienen un bajo contenido de azufre, cenizas y nitrógeno, y al quemarse, crean pocos problemas de contaminación

ambiental. Por otra parte son ácidos y sensibles al calor, por lo que requieren de ciertas precauciones al ser manejados y almacenados.

6.2.2.3 Licuefacción

La licuefacción es un proceso en que los materiales con alto contenido de carbón pierden oxígeno a través de una reacción con monóxido de carbono. Al perder oxígeno y ganar hidrógeno, ya sea puro o a partir del agua, el material se convierte en un aceite. La licuefacción puede darse procesando directamente la biomasa o a través de un paso preliminar de gasificación.

En los sistemas de licuefacción, principalmente se usa madera y sus desechos, los cuales reaccionan con vapor o hidrógeno y monóxido de carbono para producir líquidos y químicos. Las reacciones químicas que tienen lugar en este proceso son básicamente las mismas que para la gasificación, pero a menores temperaturas y a una presión más alta. Los procesos de licuefacción pueden ser directos o indirectos.

El producto final de la licuefacción es el aceite pirolítico, un aceite con un alto contenido de oxígeno, que requiere de una extensa refinación a fin de que se pueda usar para otras cosas además de la combustión. Dependiendo del proceso usado, puede convertirse en combustible diesel, gasolina o metanol.

6.2.2.4 Gasificación

En la gasificación mediante procesos termoquímicos la biomasa se convierte en una mezcla de gases que contienen monóxido de carbono e hidrógeno como principales combustibles. La gasificación se basa en la oxidación incompleta de la biomasa empleada como materia prima, produciendo gases de bajo a alto contenido calorífico (hasta 1,000 Btu/scf o 37,000 kJ/m³) según se utilice aire u oxígeno puro y de acuerdo a las temperaturas y presiones de la reacción. Generalmente el gas producido tiene que purificarse antes de ser almacenado, transportado o empleado. Los gasificadores operan frecuentemente con temperaturas superiores a 535° C y presiones mayores de 300 psia.

Según el principio de operación del reactor pueden distinguirse tres tipos de gasificadores: a) *de cama fija*; b) *de cama fluidica*; c) *de baño fundido*.

Los gasificadores de cama fija son los más antiguos y usados. Su diseño es simple y robusto, pero la salida de gas es baja con respecto al tamaño del reactor; el gas contiene grandes cantidades de alquitranes; no puede emplearse materia prima que no sea aquella para la que fué diseñado el gasificador y la calidad del gas puede variar mucho.

Los gasificadores de cama fluidica registran una alta producción por unidad de volumen del reactor; las partículas de materia alimentada al reactor deben ser pequeñas para permitir la fluidificación. Emplean temperaturas relativamente bajas, del orden de 480 a 540° C; a estas temperaturas la velocidad de reacción química es baja, y por ende la de gasificación también; pero esto se ve compensado con una mayor área superficial de las partículas y con un mayor tiempo de residencia.

Los gasificadores de baño fundido operan a altas temperaturas, requieren partículas muy finas y tienen tiempos de residencia muy cortos. El combustible es muy bien mezclado con aire, por lo que estos gasificadores pueden emplear prácticamente cualquier material orgánico como insumo. Generalmente tienen una

alta relación de producción/volumen y generan gasas prácticamente libres de alquitranes, aunque son de bajo contenido calorífico y no pueden usarse directamente como sustitutos del gas natural.

6.2.3 ACTUALIDAD

La aplicación de la energía biomasa en todo el mundo está bien establecida.

Debido a que la biomasa puede generar energía de muchas formas diferentes (incluyendo gases, calor, vapor, electricidad y forraje para la industria química), estos recursos se aplican a una gran variedad de usos finales. Los recursos de biomasa sirven como combustible sólido para la quema directa, como es el caso de combustibles derivados de desechos (como de DSM) que producen vapor o energía eléctrica. Igualmente pueden convertirse en otras formas de combustible a través de procesos químicos y biológicos, como es el caso del etano o el metanol. La vasta energía generada de la biomasa proviene de tecnologías directas de combustión, con la madera y sus residuos como el elemento común más importante.

Los países industrializados y los que se encuentran en vías de desarrollo , por igual, pueden beneficiarse del uso de este recurso natural, aunque a la fecha, los últimos utilizan los recursos biomasa mucho más que los primeros. La biomasa representa aproximadamente entre 12% ó 13% de la producción mundial de energía, mientras que en los países en vías de desarrollo esa cantidad puede ser de hasta el 50%.

En Estados Unidos entre 5% y el 8% de la energía consumida lo proporciona la biomasa. De eso, se calcula que 90% proviene de la combustión directa de la madera y sus residuos.. La biomasa representa el 50% de la cantidad total de energía renovable actualmente producida en dicho país, aproximadamente produce una capacidad instalada de 7,700 Mw.

En ese país algunos estados han desarrollado la producción de la energía biomasa más que otros. En Florida, las plantas de energía generan más de 700 Mw de energía de la biomasa.

La madera urbana -el residuo de los sitios de construcción y las demoliciones de edificios- se está convirtiendo en una fuente de energía cada vez más popular.

En Estados Unidos la energía de la madera produce la electricidad de 42 estados. En California, particularmente, más de 800 Mw de capacidad biomasa se han agregado desde 1980 para acomodar la mayor utilización de los residuos de madera urbana y estándar.

La madera no es el único elemento biomasa que puede quemarse directamente. En Hawaii, la industria del azúcar produce al menos 150 Mw de energía del bagazo quemado. Casi la mitad de la energía producida se vende a los servicios públicos eléctricos. En el mundo, los subproductos agrícolas a menudo se usan en el lugar para producir calor y electricidad para construcciones agrícolas.

Los molinos que procesan arroz también pueden generar calor, que puede usarse para calentamiento directo, generación de vapor, energía mecánica y energía eléctrica. La cantidad de energía disponible puede ser importante: cada cinco toneladas de arroz molido, una tonelada de cáscaras con un contenido de energía similar al de una tonelada de madera queda como residuo.

Desde luego, otra materia orgánica -no sólo plantas- puede usarse como elemento energético. La primera planta comercial de energía en quemar estiércol de ganado para generar electricidad se estableció en el Valle Imperial del sur de California en 1987. Esta planta tiene una capacidad de casi 17 Mw y suministra electricidad a 20,000 hogares. El estiércol se quema para producir vapor, el cual impulsa un generador y produce electricidad.

En Canadá, la biomasa representa un contribuidor importante para el abastecimiento nacional de energía. En 1990, la energía biomasa igualó la energía producida por la industria nuclear y representó aproximadamente la mitad de la producida a partir del carbón. Algunas regiones usan la biomasa a un mayor grado: la biomasa representa 12% del abastecimiento de energía en la región del Atlántico, 23% en Columbia Británica.

Otros países desarrollados que generan proporciones más elevadas de sus necesidades de energía a partir de la biomasa incluyen a Irlanda (17%) y Suecia.

6.2.4 JUSTIFICACIÓN COSTO/BENEFICIO

Hay dos formas de considerar los costos relacionados con el desarrollo de la energía biomasa. Primero, usar los desechos del lugar puede ahorrar costos de energía para la instalación en cuestión. La biomasa también se genera y vende como una fuente de energía por sí sola, en competencia con los combustibles fósiles en el mercado.

Si bien hay beneficios ambientales provenientes del uso de la energía biomasa, la razón principal para instalar sistemas madereros o de otra energía en

las industrias o las instituciones generalmente es lograr ahorros netos en los costos de energía, estos ahorros se lograrán cuando los costos de energía de la fuente que se está reemplazando sean menores que los costos totales de operación e instalación del sistema biomasa. Las plantas y fábricas de todo el mundo han cambiado a la biomasa con ahorros importantes. Los invernaderos, aserraderos, fábricas de conservas, granjas y fábricas pueden reducir sus costos tradicionales de energía y ahorrar en costos de eliminación mediante el uso de sus desperdicios para los sistemas de energía. Un estudio del uso de la biomasa en Honduras mostró que una planta de energía eficiente que usa todos los desechos de un gran aserradero y vende la energía a la red en menos de 5 centavos de dólar por Kw/h, produciría una tasa interna de recuperación de su inversión del 75% y pagaría la inversión inicial sólo en tres años.

En Estados Unidos se estudió en un proyecto el potencial de los residuos de la caña de azúcar para la red de energía eléctrica en diversos países, incluyendo Tailandia, Jamaica, las Filipinas y Costa Rica. El proyecto observó que los sistemas de energía de caña tienen el potencial de suministrar energía eléctrica a costos unitarios menores que la mayoría o todas las otras opciones de generación de energía, disponibles en los países estudiados. En Tailandia el equipo de investigación descubrió que una nueva planta de energía de caña abastecería energía de 2 a 3 centavos de dólar por Kw/h. este costo estaba por debajo del costo de la energía generada en ese país con carbón importado (4 centavos de dólar por Kw/h).

En California, E.U. la Comisión de Energía demostró que pueden instalarse calentadores de leña por aproximadamente 1,340 dólares por kilowatt, que es 20% menos que los costos de la planta de carbón. Actualmente, el costo de electricidad conectada al servicio público, procedente de la energía biomasa es aproximadamente de 6 centavos de dólar por Kw/h.

El potencial precio bajo de la energía biomasa se relaciona con la instalación y el desarrollo de las plantas de conversión de biomasa. Como ya se dijo antes, estas plantas, que a menudo son más pequeñas que sus contrapartes de combustibles fósiles, pueden construirse más rápidamente, en forma más barata y con una inversión menor de capital. Estas consideraciones obviamente tienen un efecto positivo en el precio final de la energía biomasa.

Los desechos de la biomasa se están usando con más frecuencia en el mundo, ofreciendo una energía alternativa costeable. Las plantas de energía (que crecen específicamente para la producción de energía), ya no son costeables con los combustibles fósiles. Se están desarrollando nuevas biotecnologías para mejorar la producción de energía en la labranza y se espera que nuevas tecnologías de combustión y turbinas de gas más eficientes aumenten la eficacia, y por tanto reduzcan el costo, de la producción global de la energía biomasa.

Los beneficios del desarrollo de la energía biomasa son numerosos, entre ellos podemos encontrar ventajas económicas, políticas, sociales y ambientales.

La biomasa está accesible inmediatamente; no hay necesidad de años de mayor desarrollo, como puede ser el caso de algunas otras opciones de energía alternativa. Otra ventaja es su diversidad, tanta en la clase de energía producida, como recurso base. La biomasa puede brindarnos sustitutos de combustibles fósiles (líquidos, gaseosos o sólidos) así como electricidad y calor. Su recurso base está bien extendido y es variado. Las tierras áridas, las tierras húmedas, el bosque y las tierras agrícolas pueden ofrecer una variedad de plantas y materia orgánica para que se use como elemento de biomasa.

La producción de biomasa puede ofrecer muchas ventajas económicas. Puede aumentar la productividad de las industrias involucradas y reducir los costos de generación de energía.

El hecho mismo de que la biomasa consta (a la fecha) principalmente de materiales de desecho, tiene importantes implicaciones para uno de los más graves problemas de la sociedad: eliminación de desechos. La reducción en el volumen de tierra y contaminación general que resulta de la producción de energía de biomasa es benéfico para la sociedad.

Políticamente, la energía de biomasa ofrece varios beneficios al país que desarrolla este recurso natural. La menor dependencia en combustibles fósiles importados (y la consecuente reducción del flujo de capital y la dependencia extranjera) y el aumento en la autosuficiencia y la seguridad de la energía son importantes para cualquier país. Desde luego, comparte estos beneficios con otros recursos renovables naturales.

Las ventajas ambientales de la producción de energía biomasa son también muy importantes, se dice que la energía biomasa ofrece lo que ningún otro combustible convencional: mayor abastecimiento con un positivo impacto ambiental". La producción de energía biomasa no provoca lluvia ácida porque contiene poco sulfuro y nitrógeno. Si se cultiva de manera sustancial, no provoca aumento neto en el bióxido de carbono (la causa principal de los gases de invernadero) y el uso de combustibles de alcohol reduce las emisiones de monóxido de carbono.

Finalmente, la biomasa es renovable, siempre y cuando se cultive de manera sustancial. Al usarla como fuente de energía, no estamos agotando los valiosos recursos naturales.

Desde luego, hay dos partes en todo el asunto. Los intereses relacionados con el desarrollo de la energía biomasa, tienen que ver con aspectos prácticos y económicos, pero son principalmente de naturaleza ambiental.

6.2.5 FUTURO

Los países de todo el mundo están desarrollando sus recursos naturales de biomasa y se espera que esta tendencia continúe. Francia, por ejemplo, está apoyándose en la ingeniería forestal de corta rotación en más de 400 hectáreas de tierra. Irlanda del Norte está llevando a cabo experimentos similares. La India está expandiendo su ya establecida red de digestores de biogás, que suministra composta a granjeros y electricidad a las comunidades locales. Finlandia, un país que ya cubre casi 20% de sus necesidades energéticas gracias a la biomasa, está decidida a incrementar esa autosuficiencia energética un 32% a 35% mediante el uso de turba y elementos de bosques.

Las aplicaciones de combustión directa continuarán teniendo un gran impacto en el futuro cercano, porque ya están disponibles hoy y ofrecen beneficios ambientales en comparación con los combustibles fósiles. Los combustibles más exóticos como los derivados de las algas también aparecerán, pero todavía requieren de algunos años para su desarrollo. Los avances tecnológicos anticipados en ciertas áreas facilitarán el desarrollo de la energía biomasa; entre estas áreas se incluyen microorganismos para usarse en digestores anaeróbicos, ingeniería genética de microbios superiores, levadura y hongos, procesamiento catalítico de ligninas para combustibles líquidos y técnicas de fermentación.

Se espera que una de las características importantes de la producción de energía biomasa aumente en las granjas energéticas, granjas que cultivan componentes de biomasa específicamente para generar energía. El mayor uso de los DSM como combustible también se espera.

Se puede decir que sería teóricamente posible reemplazar el uso de combustibles fósiles en todo el mundo con la energía biomasa. Aunque su éxito a

este grado es improbable, pocos dudan que la biomasa juegue un importante papel en la energía del futuro.

6.2.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES

1. Fuente de energía: Cualquier desecho orgánico, planta o animal.
2. Disponibilidad del energético: Abundante.
3. Sistema de generación: Plantas generadoras que utilicen combustible producido por Sistemas Conversores Biológicos o Termoquímicos.
4. Eficiencia del sistema: Alta.
5. Ubicación de la planta: Cualquier sitio del planeta que desee aprovechar su biomasa (desechos agrícolas, forestales, animales, plantas acuáticas, etc.)
6. Sugerencias de ubicación en México: Cualquier lugar de la República.
7. Costo de generación: 6 centavos de dólar por Kw/hr.
8. Efectos ambientales nocivos: Ninguno.

CONCLUSIONES

Para terminar la tesis "Utilización de fuentes alternativas de energía en la generación eléctrica" concluyo que:

La humanidad en general debemos preocuparnos más por los métodos con los cuales obtenemos energía eléctrica, ya que tradicionalmente usamos métodos generadores nocivos para la naturaleza de nuestro planeta, abarcando todos los seres vivos que habitamos en él.

Las fuentes alternativas de energía deben ser opciones apoyadas tanto en sus procesos de investigación como en su aplicación directa en generación de electricidad, como es el caso de fuentes tales como la fuerza hidráulica de los ríos y de la energía geotérmica que son fuentes ya plenamente aplicadas y desarrolladas.

Dado que las fuentes alternativas las obtenemos de las condiciones físicas propias de la Tierra, la aplicación de éstas para cada región del planeta dependen de las características geográficas del lugar donde se quieran utilizar.

Los sistemas generadores que aplican la energía solar son utilizables casi en cualquier parte del planeta, pero para una buena eficiencia de los sistemas se requiere de una correcta ubicación geográfica, ya que las zonas áridas son las que reciben la mayor cantidad de energía del Sol, por lo tanto son las zonas recomendadas para utilizar eficientemente los sistemas generadores con energía solar, como lo son el fotovoltaico y las tecnologías eléctricas térmicas solares.

La energía eólica también existe en todo el planeta, pero también sólo en ciertos lugares soplan vientos ideales que cumplan con los requisitos de regularidad y velocidad necesarios para hacer funcionar eficientemente los aerogeneradores.

La energía biomasa resulta bastante atractiva, ya que obtenemos recursos energéticos a partir de materias consideradas como desechos, que se producen en todo el planeta, por lo tanto los sistemas que aprovechan estas materias pueden instalarse en cualquier parte de mundo que desee aprovechar sus desechos orgánicos con fines energéticos, produciendo combustibles útiles no contaminantes en la generación de electricidad a la vez que produce en algunos casos fertilizantes para tierras de cultivo.

El mar también representa un recurso energético alternativo importante, los sistemas de Conversión de Energía Térmica Oceánica me parece una opción bastante útil para aquellas poblaciones cercanas al mar que por diferentes causas no cuenten con redes eléctricas, o para aquellas islas pobladas que en las cuales se dificulte distribuirles energía eléctrica, lo que las hace ideales para aprovechar la diferencia de temperaturas de mar, claro que para la aplicación de estos sistemas debe existir una adecuada diferencia en las aguas de la superficie y de la profundidad del mar, y no en cualquier zona del planeta se dan estas condiciones.

La capacidad energética del mar ya es aprovechada a gran escala por los sistemas de generación por energía de mareas, muy similares a los diques hidroeléctricos, en los cuales el poder de las mareas puede producir gran cantidad de potencia eléctrica.

El movimiento de las olas del mar también puede ser aprovechado con fines energéticos, pero aun no se logra obtener mucha potencia eléctrica en los sistemas que convierten esta energía en electricidad

Como observamos, la obtención de energía eléctrica se puede lograr con la utilización de fuentes alternativas de energía, que no sólo permiten la racionalización de nuestros recursos energéticos fósiles sino que nos dan la oportunidad de obtener energía sin afectar nuestro medio ambiente.

Todos los métodos o sistemas de generación mostrados son reales, y por lo tanto utilizables en cualquier parte del planeta que tenga a su disposición estas fuentes alternativas.

Talvez en algunos sistemas mencionados aún no existe un gran desarrollo y uso, pero a medida que nos demos cuenta del real valor que representa para la humanidad la implementación de los métodos alternativos de generación seguramente el desarrollo y dependencia de los sistemas alternativos será inminente.

Aunque el tema fue el uso de las fuentes energéticas consideradas como alternativas en la generación eléctrica, también se pretendió crear conciencia en cuanto al ahorro y uso racional de la energía, ya que en algunos casos la generación eléctrica tienen un alto costo económico y un alto costo ecológico.

Además podemos querer más a nuestro planeta si aprovechamos los recursos energéticos que nos brinda, a la vez que lo conservamos limpio, sano y vivo, porque es muy satisfactorio obtener algo de la naturaleza sin hacerle daño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

Alonso Cocheiro/L.Rodríguez Viqueira

Fondo de Cultura Económica

ENERGÍA RENOVABLE

Jennifer Carlless

Edamex

ENERGÉTICOS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

M.Polo Encinas

Limusa

ENERGY

Gordon Aubrecht

Merrill Publishing Co.

ENERGY FOREVER: POWER FOR TODAY AND TOMORROW

G. de Lucenay Leòn

Arco Publishing

ENERGÍA SOLAR BASES Y APLICACIONES

Utilización de fuentes alternativas de energía en la generación eléctrica.

ENERGÍA SOLAR BASES Y APLICACIONES

C.C.Cobarg

Paraninfo S.A.

ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

M. Viejo

Limusa

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

H. Gardea

Trillas

GEOTHERMAL RESERVOIR ENGINEERING

M. A. Grant

Academic Press

ELEMENTOS DE ELECTRÓNICA

Hickey

Marcombo

HANDBOOK OF APPLIED HYDRAULICS

Davis & Sorensen

McGraw Hill

PLANT ENERGY SYSTEM

By the editors of power

McGraw Hill

MÁQUINAS HIDRÁULICAS

Miguel Reyes Aguirre

Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A.

TURBOMÁQUINAS HIDRÁULICAS

Manuel Polo Encinas

Limusa