Caracterización de las Fuentes de Energías Alternas

Programa	Fuentes Alternas de Energía y Generación Distribuida
Acrónimo del proyecto	FAEyGD
Tipo (nivel de distribución)	Público con reservas
Fecha de Entrega	Julio, 2009
Reporte Numero	FAEyGD-3
Estatus y Versión	Borrador, 1.00
Número de Páginas	35
Supervisor	Francisco M. González-Longatt
Autor(es)	Ana Isabel Rangel Potensa

fgLongatt.org.ve

Tabla de Contenido

Contenido **Pag.**

Tabla de Contenido 2
Índice de Tablas 5
Introducción 6
Energía Solar 7
Principios de Conversión 7
Tipos de Conversión 7
Cadena de Conversión 7
Energía Solar Térmica 7
Aplicación 12
Costos 13
Eficiencia 13
Ventajas 13
Desventajas 14
Energía Eólica 15
Principios de Conversión 15
Tipos de Conversión 15
Cadenas de Conversión 15
Tipos de Aerogeneradores 16
Por el tipo de eje 16
Por la orientación con respecto al viento 16
Por el número de palas 16
Por la adecuación de la orientación del equipo a la dirección del viento en cada momento 17
Por el control de potencia 17
Aplicación 17
Costos 18
Ventajas 18
Desventajas 18
Energía Mareomotriz 19
Principios de Conversión 19
Tipos de Conversión 19
Cadenas de Conversión 19
Características de la energía mareomotriz 20
Aplicación 23
Costos 23
Ventajas 23

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Desventajas 23
Energía Biomasa 24
Principios de conversión 24
Tipos de Conversión 24
Cadena de Conversión 24
Biogás 25
Biocombustibles 25
Ventajas frente a carburantes fósiles 26
Aplicaciones 26
Aplicación 26
Costos 27
Ventajas 27
Desventajas 27
Energía Geotérmica 28
Principios de conversión 28
Tipos de Conversión 28
Cadena de Conversión 29
Aplicación 30
Costos 30
Ventajas 30
Desventajas 31
Celdas de Combustibles 32
Principios de Conversión 32
Tipos de Conversión 32
Cadena de Conversión 32
Aplicación 33
Costos 33
Ventajas 33
Desventajas 33
Microturbina de Combustible 34
Principios de Conversión 34
Tipos de Conversión 34
Cadena de Conversión 34
Aplicación 34
Costos 35
Ventajas 35
Desventajas 35

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

fglongatt.org.ve

Fortalezas y Debilidades de las Diferentes Fuentes Alternas de Energía 36
Conclusiones 37
Referencias Documentales 38

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Índice de Tablas

Tabla 1. Índice de Precios de Sistemas Comerciales Solares Fotovoltaicos……..……..10

Tabla 2. Eficiencia de Paneles Fotovoltaicos……...……...…….……....…...10

Tabla 3. Recursos de Biomasa Natural.....…… 21

Tabla 4. Costo de Energía Geotérmica en Base al Tamaño de la Planta y del Recurso Disponible.....25

Tabla 5. Costo de la Microturbina…….....29

Tabla 6. Eficiencia de la Microturbina…….....29

Tabla 7. Comparación de las diferentes tecnologías de acuerdo a sus fortalezas y debilidades….....29

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Introducción

Desde siempre, la humanidad ha utilizado la energía para sus necesidades, pero a partir de la revolución industrial consume mucha más y de forma muy desigual. Esto ha llevado actualmente a una situación en la que la energía se ha transformado en un problema global, ya que es causa de numerosos impactos ambientales y conflictos sociales [1].

El objetivo del presente reporte de investigación es desarrollar las características principales de las fuentes alternas de energías, como lo son: energía solar, eólica, mareomotriz, biomasa, geotérmica, microturbinas y celdas de combustibles.

Se indica primeramente el principio de conversión que requiere cada tecnología, es decir, la fuente primaria necesaria para su posterior transformación en energía eléctrica. Se detalla en cada tecnología los diferentes tipos de conversión, esto implica que aprovechando la misma fuente de energía primaria (recurso natural) se puede generar electricidad de formas distintas. Además se explica una serie de ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías posee.

Finalmente, en el desarrollo de cada fuente alterna de energía, se aborda el tema económico, importantísimo a la hora de implementar una tecnología, detallándose un estimado de los costos de inversión, generación y de operación y mantenimiento que esto acarrea.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Energía Solar

La energía solar es la energía radiante emitida por el sol y recibida en la tierra en forma de ondas electromagnéticas. Llega a la tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día, del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor. [1]

La energía solar es directa o indirectamente el origen de todas las fuentes de energía de que hoy disponemos, exceptuando la energía nuclear, geotérmica y mareomotriz. Los combustibles fósiles son energía solar acumulada en forma de energía química. Otras formas de energía como la hidroeléctrica, eólica y biomasa son formas de la energía solar.

Principios de Conversión

El sol emite continuamente radiación a todo el espacio. La tierra intercepta aproximadamente 1.7 x 10^{14} kW, de tal manera que la tierra es efectivamente un gran colector solar debido a que el 51% de esta radiación solar alcanza la superficie de la tierra. [2]

El requisito principal para su conversión y posterior operación comercial depende del nivel de insolación irradiado por la fuente primaria que en este caso es el sol. La insolación es la cantidad de energía solar que recibe un área determinada durante un período de tiempo dado. Se mide en kilowatt-horas por metro cuadrado (kW-h/m^2). La atmósfera terrestre recibe una cantidad casi constante de energía solar radiante equivalente a 1,37 kW-h/m^2 [3].

La irradiación máxima es la disponible al mediodía solar de cualquier día dado, sin importar la época del año. El mediodía solar se define como la hora cuando el sol llega a su apogeo durante su trayectoria a través del firmamento. El término "horas de sol máximo" se define como el número equivalente de horas diarias en que la irradiación solar alcanza un promedio de 1000 W/m^2 [4].

Tipos de Conversión

- Energía Solar Térmica
- Energía Solar Fotovoltaica

Cadena de Conversión

Energía Solar Térmica

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria o calefacción. El medio para conseguir este aporte de temperatura se hace por medio de colectores. [1]

El colector es una superficie, que expuesta a la radiación solar, permite absorber su calor y transmitirlo a un fluido. La tecnología de concentradores solares usa materiales reflectivos como espejos para concentrar la energía solar. Existen técnicas diferentes entre sí en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captadora. De esta manera, se puede clasificar como:

- *Baja temperatura*: captación directa, la temperatura del fluido es por debajo del punto de ebullición. Este sistema que aprovecha la energía de los rayos solares para utilizarla en forma de calor, se puede utilizar directamente para calentar una piscina o indirectamente, como en un sistema calefactor. Precisamente la calefacción y el agua caliente sanitaria de los hogares son las dos aplicaciones más extendidas de la solar térmica, pero hay otras, como la refrigeración o las cocinas solares.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

- *Alta temperatura*: captación de alto índice de concentración, la temperatura del fluido es más elevada de 300ºC. [4]. Existen tres diseños de plantas solares de generación de potencia los cuales solo pueden aprovechar la radiación solar directa.

Colectores solares parabólicos

En este esquema se emplean espejos cilindro-parabólicos para concentrar la radiación solar en un tubo localizado a lo largo del foco del colector. El tubo contiene el fluido a calentar y puede llegar a alcanzar temperaturas cercanas a los 400ºC. En la Figura 1 se puede ver un esquema de este tipo de colectores. El fluido que se calienta es llevado a los intercambiadores de calor para producir vapor y operar una turbina. A estos sistemas se les provee de un mecanismo de movimiento que permite el seguimiento del sol para mejorar la eficiencia. Este movimiento puede ser en un sólo eje (vertical u horizontal) o en ambos [5].

Una instalación con colectores solares parabólicos está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Son los siguientes:

- *Colectores solares*: son espejos cilíndricos parabólicos donde se refleja la radiación solar directa concentrándola sobre un tubo receptor colocado en la línea focal de la parábola. Por el tubo puede circular agua o aceite.
- *Turbina de vapor*: El vapor generado se concentra y mueve la turbina y por la elevada temperatura y presión mueve a un generador al cual esta unido.
- Generador Eléctrico: Es el encargado de generar energía eléctrica; gracias al movimiento rotatorio de la turbina, el generador transforma ese movimiento en energía eléctrica mediante inducción.
- *Condensador*: Es donde se convierte el vapor (proveniente de la turbina) en agua líquida. Es debido a que en el interior del condensador existe un circuito de enfriamiento encargado de enfriar el vapor, transformándose en agua líquida.
- Bomba: es la encargada de impulsar el agua de nuevo hasta los colectores solares y caldera auxiliar.
- *Caldera auxiliar*: Es una máquina que se incluye en el sistema para generar vapor saturado en caso de que las radiaciones solares sean muy bajas como para calentar lo suficiente el fluido circulante por los tubos. Éste vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado liquido, se calienta y cambia de estado.
- *Desgasificador*: Este permite 3 funciones principales:
  1. Extraer el oxígeno disuelto: El oxígeno y el gas carbónico presentes en el agua son agentes de corrosión muy activos en contacto con el acero. Siendo indispensable proceder a su eliminación.
  2. Calentar el fluido: Con el fin que al entrar a la caldera no sea necesaria tanta energía para llegar a una temperatura de utilización.
  3. Almacenar agua de alimentación [5].

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

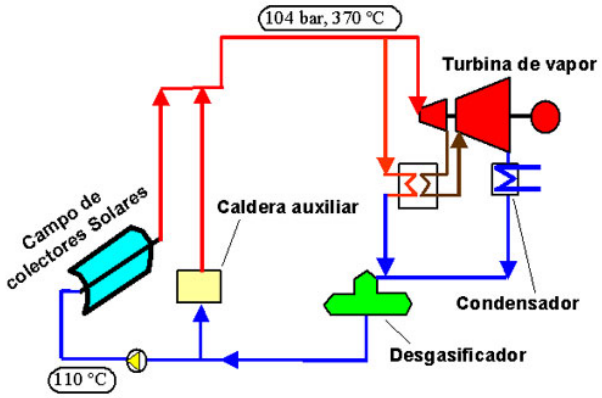

Figura 1. Esquema General de un Colector Solar [XX]

Torres solares: consiste en un gran campo de espejos seguidores de sol llamados *Heliostatos*, los cuales enfocan la luz solar en un receptor en la parte alta de una torre centralmente ubicada. El número de espejos que se emplean suelen ser cientos o incluso miles. El tamaño de los espejos tiende a ser grande para minimizar el número de mecanismos de direccionamiento y seguimiento de la radiación solar [3]. En la Figura 2 se muestra un esquema de este sistema.

El enorme valor de energía, proveniente de los días de sol, concentrado en un punto (el punto medio de la torre) produce temperaturas desde 550ºC hasta 1500ºC. Adicionalmente la energía térmica ganada puede ser usada para calentar un fluido, como agua, y esta agua calentada puede producir vapor, el cual es usado para mover un conjunto turbina generador. Para el almacenamiento del fluido se emplean dos tanques: uno "frío" y otro "caliente". En el tanque "frío" el fluido se encuentra a unos 300ºC y se bombea al receptor central donde alcanza una temperatura de unos 560ºC. De ahí se bombea al tanque "caliente" donde es almacenado para su posterior utilización en la producción de vapor [5].

Una instalación de torre solar está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Son los siguientes:

- *Helióstatos*: Son varios espejos orientables, en los que se refleja la luz del sol, haciendo que converjan en la caldera.
- *Caldera:* Es donde convergen los rayos solares reflejados por los helióstatos, alcanzando una gran temperatura. Al alcanzar esa gran temperatura calienta el agua que pasa por ella y la transforma en vapor.
- *Turbina:* El vapor generado en la caldera hace calentar y evaporar el agua que gracias a la temperatura y presiones hace mover la turbina, la cual esta unida al generador para que éste reciba su movimiento.
- *Generador*: Es el encargado de generar energía eléctrica; gracias al movimiento rotatorio de la turbina, el generador transforma ese movimiento en energía eléctrica mediante inducción.
- *Transformador:* Se encarga de transformar la energía eléctrica generada en el alternador para hacerla llegar a la red eléctrica.
- *Condensador:* Es donde se convierte el vapor (proveniente de la turbina) en agua. Es debido a que en el interior del condensador existe un circuito de enfriamiento encargado de enfriar el vapor, transformándose en agua.
- *Bomba:* es la encargada de impulsar el agua de nuevo hasta los colectores solares y caldera auxiliar.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

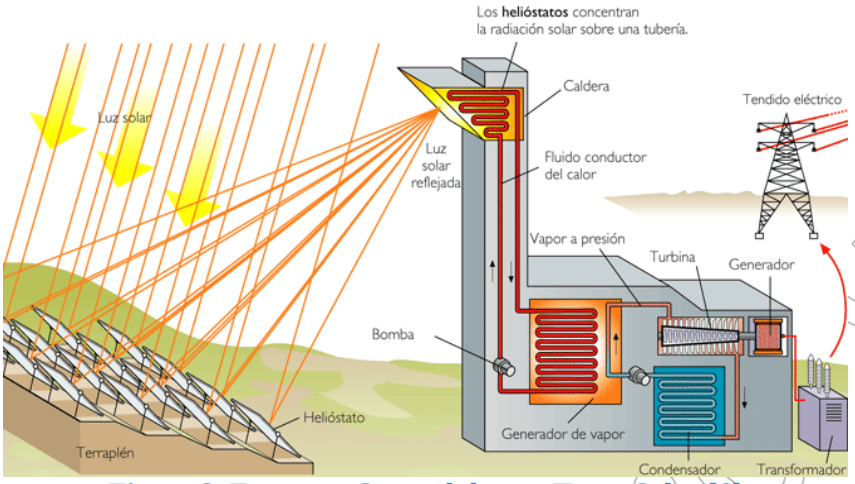

Figura 2. Esquema General de una Torre Solar [6]

Concentradores de discos/platos: En este esquema se emplean espejos de forma de discos parabólicos para concentrar la radiación solar en un receptor colocado en el foco del espejo. El fluido en el receptor se calienta a unos 750ºC y se puede emplear para producir vapor o, si se trata de un gas, se puede utilizar directamente en un motor tipo *Stirling* localizado en el receptor. En la Figura 3 se muestra un esquema de este sistema. Un receptor en el punto focal convierte la energía de los rayos solares en calor, donde esta ganancia de calor es de 1200 a 1700 y es usado para mover un motor *Stirling* que genera electricidad [3].

El sistema de discos parabólicos es el que mayor concentración de radiación solar alcanza debido a su sección parabólica en dos dimensiones. Esto permite alcanzar mayores temperaturas de operación y por lo tanto mayor eficiencia. [5]. Una instalación de concentrador de discos está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Son los siguientes:

- *Discos solares*: son espejos parabólicos donde se refleja la radiación solar directa para luego dicha radiación reflectarla al punto focal del motor Stirling.
- *Atenuador*: Regula la cantidad de luz incidente y se ubica entre el receptor y el disco solar.
- *Receptor o Motor Stirling:* Es un motor térmico en el cual su funcionamiento se basa en la expansión y contracción de un gas (comúnmente helio, hidrogeno o simplemente gas) siendo necesaria la presencia de una diferencia de temperaturas entre dos focos.

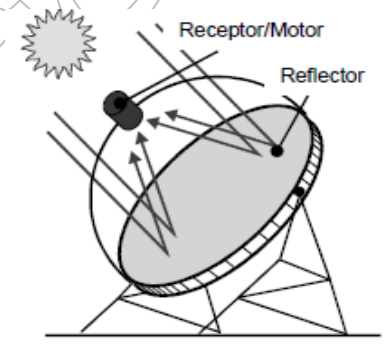

Figura 3. Esquema General de un Concentrador Parabólico de Disco Solar [6]

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Energía Solar Fotovoltaica

El sistema de aprovechamiento de la energía del sol para producir energía eléctrica se denomina conversión fotovoltaica. La palabra fotovoltaico está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: *foto*, que significa luz, y *voltaico*, que significa eléctrico [1]. El nombre resume la acción de estas células: transformar, directamente, la energía luminosa en energía eléctrica. Un sistema fotovoltaico es una fuente de potencia eléctrica en la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad DC.

El efecto fotovoltaico se produce cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos. Si los terminales de la célula fotovoltaica son conectados a una carga eléctrica, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la célula, los cables de conexión y la carga externa. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina que parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio. [7]

La eficiencia de los módulos fotovoltaicos dependen del material por el cual esta compuesto, estos se clasifican en silicio monocristalino, silicio multicristalino, silicio amorfo, cadmiun telluride y CIGS (*Copper indium gallium selenide*) [1].

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser colocados en todos los lugares donde exista suficiente energía solar. Los sistemas fotovoltaicos no requieren combustibles y por tratarse de dispositivos de estado sólido, carecen de partes móviles, y por consiguiente, son pobres en mantenimiento. Tampoco producen ruido, ni emisiones tóxicas, ni contaminación ambiental, ni polución electromagnética. Su confiabilidad es entonces elevada y se emplean desde hace cerca de 40 años en lugares inhóspitos tales como el espacio, desiertos, selvas, regiones remotas, etc.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden diseñar para operación autónoma o funcionamiento en sistemas híbridos o alternativamente con sistemas de generación convencionales. También pueden operar aislados de redes o interconectados a ellas. Como la producción eléctrica de los paneles solares es función del nivel de insolación y. por tanto, variable en función de condiciones externas, se toma como valor de referencia el denominado *Watio Pico* (Wp) que se refiere a la máxima potencia que puede producir un panel en condiciones de máxima insolación. 1 000 W/m^2 con una temperatura de la célula de 25° C [3]. La capacidad de los sistemas fotovoltaicos varía desde algunos mWp, hasta decenas de MWp.

Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Son los siguientes:

- *Células fotovoltaicas*: es dónde se produce la conversión fotovoltaica, las más empleadas son las realizadas con silicio cristalino. La incidencia de la radiación luminosa sobre la célula crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable. Las células solares están fabricadas de unos materiales con unas propiedades específicas, denominados semiconductores.
- *Placas fotovoltaicas*: son un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí. Estas células están encapsuladas para formar un conjunto estanco y resistente.
- *El Regulador*: tiene por función regular la carga y la descarga de las baterías y eventualmente protegerlas de una sobrecarga excesiva.
- Baterías: son el almacén de la energía eléctrica generada. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, que no sólo permiten disponer de electricidad durante la noche y en los momentos de baja insolación sino para varios días.
- *Inversor*: Transforma la corriente continua generada por las placas fotovoltaicas y la acumulada en las baterías a corriente alterna.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

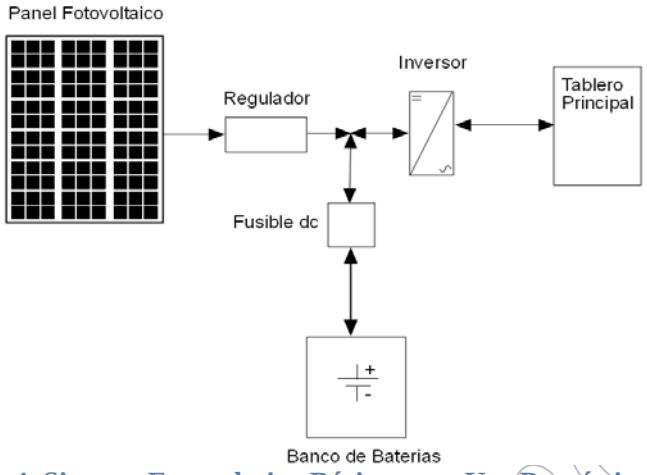

Figura 4. Sistema Fotovoltaico Básico para Uso Doméstico [7]

Aplicación

Las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Productos de consumo (hasta 1 Wp), celdas en calculadoras, relojes y otros pequeños equipos.
- Aplicaciones espaciales (15 Wp - 20 kWp).
- Sistemas fotovoltaicos en satélites y misiones espaciales.
- Sistemas remotos o *Stand Alone Systems* (50 Wp - 100 kWp). Sistemas para residencias, establecimientos comerciales y pequeñas comunidades aisladas, no interconectadas a la red. Esta categoría incluye:
  - Iluminación.
  - Equipos domésticos (radios, TV, etc.).
  - Cargadores de baterías.
  - Centros de servicios comunitarios en lugares aislados.
  - Equipos de puestos de salud (conservación de vacunas, comunicaciones, etc.).
  - Bombeo de agua.
  - Teléfonos de emergencia en carreteras.
  - Repetidoras de telecomunicaciones.
  - Estaciones satelitales terrestres.
  - Estaciones climatológicas.
  - Puestos militares remotos.
  - Equipo sobre plataformas marinas y boyas.
  - Generadores móviles.
  - Sistemas residenciales conectados a la red (1 - 20 kWp). Sistemas para residencias que generan su propia electricidad y entregan o reciben energía de la red según tengan exceso o defecto de la misma.
  - Sistemas conectados a la red (10 - 300 kWp). Sistemas para uso comercial e industrial que venden sus excedentes a las empresas eléctricas.
  - Grandes centrales (> 50 kWp). Sistemas que entregan la energía directamente a la red.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Costos

Tabla 1. Costos de Sistemas Comerciales Solares Térmicos [3] [8]

Tipo	*Costo Inversión Inicial (US$/kW)*	*Costo Generación (US$/kWh)*	*Costos de Operación y Mtto. (%Inversión Inicial/Año)*
Módulos Fotovoltaicos	4000-8000	15-30	0.5
Concentrador Solar	2500-2800	7-9	1
Torres Solar	3000-3300	12-25	1.5
Concentrador de Discos Parabólicos	4000-5000	15-30	0.5

Eficiencia

Tabla 2. Eficiencia de los Paneles Solares Fotovoltaicos [7]

Tipo	*Eficiencia Típica del Modulo [%]*	*Eficiencia máxima registrada del modulo [%]*	*Eficiencia máxima del modulo en laboratorio [%]*
Silicio Monocristalino	12 a 15	22.7	24.7
Silicio Multicristalino	11 a 14	15.3	19.8
Silicio Amorfo	5-7	-	12.7
Cadmium Telluride	-	10.5	16
CIGS	-	12.1	18.2

Tabla 3. Eficiencia de los Módulos Térmicos Solares [3]

Tipo	*Eficiencia Típica del Modulo[%]*
Concentrador Solar	20
Torres Solar	23
Concentrador de Discos Parabólicos	30

Ventajas

La energía solar tiene una serie de ventajas:

- Es energía no contaminante.
- Proviene de una fuente de energía inagotable.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

- Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (campo, islas), o es dificultoso y costoso su traslado.
- Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento.

Desventajas

La utilización artificial de la energía solar no es simple y carente de problemas, ya que tropieza con tres dificultades importantes:

- El flujo de potencia que alcanza la superficie terrestre es pequeño (<1 kW/m²), comparado con el suministrado por los combustibles fósiles.
- La energía solar disponible en una localidad varía estacionalmente durante el año y además se ve afectada por variaciones meteorológicas, fuera del control del hombre.
- Los equipos necesarios para utilizar la energía solar requieren de inversiones iniciales elevadas, comparadas con las que se requieren para sistemas convencionales.
- El bajo flujo de potencia implica que la utilización de la energía solar es extensiva, esto es, que a mayor potencia se requiere mayor área de dispositivos. La variabilidad implica la necesidad de acumular la energía con el fin de suministrar el consumo requerido. Y la alta inversión inicial implica considerar la viabilidad económica del proyecto teniendo en cuenta su vida útil y las ventajas que conlleva la utilización de la energía solar.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Energía Eólica

La fuente de energía eólica es el viento, o mejor dicho, la energía mecánica que, en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento. El viento es originado por el desigual calentamiento de la superficie del planeta, originando movimientos convectivos de la masa atmosférica [9].

La tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del sol. Esta energía, en lugares favorables, puede ser del orden de 2.000 kW-h/m^2 anuales, el 2% de ella se transforma en energía eólica [3]. La energía eólica es mejor dada en las costas y colinas, sin embargo esta se puede dar en cualquier zona. Además que esta energía es menos predecible que la solar, pero más predecible que las lluvias (energía hidroeléctrica) y suele estar disponible mayor tiempo durante un día.

Principios de Conversión

El viento corresponde a la variable con mayor importancia, ya que sin la presencia de esta no es factible la creación de un sistema de generación de electricidad que tenga como premisa el recurso eólico. Dependiendo de la intensidad de viento que se disponga se puede desarrollar diferentes sistemas que funcionen en base a este recurso. El aprovechamiento de la energía eólica sólo resulta rentable en lugares con vientos constantes y relativamente moderados. Para producir energía eléctrica a partir del viento se requiere un generador eólico, y es de interés para la operación comercial cuando el viento es suficientemente fuerte (más de 6m/s) [5].

Tipos de Conversión

- Energía Eólica con Aerogeneradores

Cadenas de Conversión

Aerogeneradores

Es el nombre que recibe la máquina compuesta básicamente de torre, palas, caja multiplicadora, generador eléctrico, anemómetro y veleta, como se muestra en la Figura 4, y es empleada para convertir la fuerza del viento y producir energía eléctrica. Los aerogeneradores son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. La captación de la energía eólica se produce mediante la acción del viento sobre las palas que este contiene. Según este principio, el aire es obligado a fluir por las caras superior e inferior de un perfil inclinado, generando una diferencia de presiones entre ambas caras, y dando origen a una fuerza resultante que actúa sobre el perfil [5].

Para que un aerogenerador se ponga en marcha necesita de un valor mínimo del viento para vencer los rozamientos y comenzar a producir trabajo útil, a este valor mínimo se le denomina velocidad de conexión, sin la cual no es posible arrancar un aerogenerador (ésta velocidad esta comprendida entre 3-5 m/s dependiendo del aerogenerador). A partir de este punto empezará a rotar convirtiendo la energía cinética en mecánica, siendo de esta forma hasta que alcance la potencia nominal, generalmente la máxima que puede entregar. Llegados aquí empiezan a actuar los mecanismos activos o pasivos de regulación para evitar que la máquina trabaje bajo condiciones para las que no fue concebida [8].

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

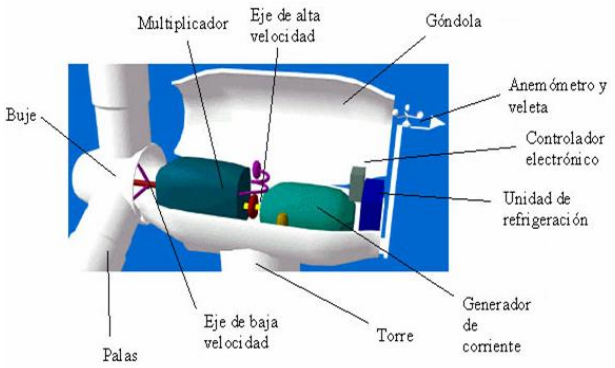

Figura 5. Componentes de un Aerogenerador

Tipos de Aerogeneradores

Por el tipo de eje

Eje Vertical: También conocido como VAWT, que proviene de las siglas en inglés (*vertical axis wind turbines*). Su principal característica es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo y a la dirección del viento. Su principal ventaja es la eliminación de los complejos mecanismos de direccionamiento y las fuerzas a las que se someten las palas ante los cambios de orientación del rotor, y no tienen que desconectarse con velocidades altas de viento. En cambio como desventaja presenta una capacidad pequeña de generar energía [10]. Tipos:

- *Darrieus*: Consiste en dos o tres arcos que giran alrededor del eje.
- *Sabonius:* Dos o más filas de semicírculos colocados opuestamente alrededor del eje.
- *Panémonas*: Cuatro o más semicírculos unidos al eje central.

Eje Horizontal: También conocido como HAWT, que proviene de las siglas en ingles (*horizontal axis wind turbines*). Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño e investigación en los últimos años. Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo y a la dirección del viento. Su principal ventaja es, que al estar a una altura de entre 40 y 60 metros del suelo, aprovecha mejor las corrientes de aire, y todos los mecanismos para convertir la energía cinética del viento en otro tipo de energía están ubicados en la torre y la góndola, además de tener una eficacia muy alta. Como desventaja tenemos el transporte por sus grandes dimensiones (torres de 60 metros y palas de 40 metros), la fuerza que tiene que resistir las palas y en velocidades altas de viento, más de 100 Km/h deben de ser parados para evitar daños estructurales.

Por la orientación con respecto al viento

A *barlovento:* También denominado a proa. La mayoría de los aerogeneradores tienen este tipo de diseño. Consiste en colocar el rotor de cara al viento, siendo la principal ventaja el evitar el abrigo del viento tras la torre. Como desventaja diremos que necesita mecanismo de orientación del rotor, y que esté situado a cierta distancia de la torre [10].

A *sotavento*: También denominado a popa. Como ventaja presenta que el rotor puede ser más flexible, y que no necesita mecanismo de orientación. Su principal inconveniente es la fluctuación de la potencia eólica, debido al paso del rotor por el abrigo de la torre, por lo que crea más cargas de fatiga en la turbina que con el diseño anterior (barlovento).

Por el número de palas

De *una pala*: Al tener una sola pala necesitan de un contrapeso. Su velocidad de giro es muy elevada, lo que supone un inconveniente ya que introduce en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que supone un acortamiento de la vida de la instalación.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

fglongatt.org.ve

De *dos palas*: Los diseños de bipalas tienen la ventaja de ahorro en cuanto a costo y peso, pero por el contrario necesitan una velocidad de giro más alta para producir la misma cantidad de energía.

De *tres palas*: La mayoría de los aerogeneradores de hoy en día son tripalas, con el rotor a barlovento, usando motores eléctricos para sus mecanismos de orientación.

Multipala: También conocido como el modelo americano, contiene multitud de palas, y sobretodo es utilizado para la extracción de agua en pozos.

Por la adecuación de la orientación del equipo a la dirección del viento en cada momento

Mediante conicidad: Mediante un motor eléctrico y una serie de engranajes permiten el giro de todo el sistema, dejando perfectamente orientado el aerogenerador a la dirección del viento [10].

Mediante una veleta: Se emplea en equipos pequeños y de tamaño no muy grande, siendo el método más sencillo para orientar los aerogeneradores.

Mediante molinos auxiliares: Sistema no muy utilizado, y consiste en instalar a ambos lados de la góndola dos rotores, los cuales son movidos por la propia fuerza del viento.

Por el control de potencia

Sistemas de paso variable: Consiste en que las palas varían su ángulo de incidencia con respecto al viento. De esta forma cuando la potencia del viento es excesiva, se disminuye la resistencia de las palas con respecto al viento, evitando posibles daños estructurales. El mecanismo que rige este sistema funciona de forma hidráulica [10].

Diseño de las palas: También conocido como diseño de regulación por pérdidas aerodinámicas. En este diseño la pala está ligeramente curvada a lo largo de su eje longitudinal, de esta forma la pala pierde la sustentación de forma paulatina y gradual, en vez de hacerlo bruscamente, cuando la velocidad del viento alcanza valores críticos.

Regulación activa por perdida aerodinámica: En este caso se aumenta el ángulo de paso de las palas para llevarlas hasta una posición de mayor pérdida de sustentación, y poder consumir de esta forma el exceso de energía del viento. Sus principales ventajas son que la producción de potencia pude ser controlada de forma más exacta que con la regulación pasiva, y que puede funcionar a la potencia nominal con casi todas las velocidades de viento.

Aplicación

Los aerogeneradores pueden producir energía eléctrica de dos formas: de forma aislada o en conexión directa a la red de distribución convencional.

Las aplicaciones aisladas por medio de pequeña o mediana potencia se utilizan para usos domésticos o agrícolas (iluminación, pequeños electrodomésticos, bombeo, etc.), Incluso en instalaciones industriales para desalinización, repetidores aislados de telefonía, TV, instalaciones turísticas y deportivas, o simplemente para producir energía eléctrica para los diferentes usos de la planta. En caso de estar condicionados por un horario o una continuidad es preciso introducir sistemas de baterías de acumulación o combinaciones con otro tipo de generadores eléctricos (planta diesel, paneles solares, centrales minihidráulicas, entre otros) [5].

La conexión directa a la red viene representada por la utilización de aerogeneradores de potencias grandes. La mayor rentabilidad se obtiene a través de agrupaciones de máquinas de potencia conectadas entre si y que vierten su energía conjuntamente a la red eléctrica. Dichos sistemas se denominan parques eólicos. En la actualidad los parques que se están inaugurando tienen normalmente una potencia instalada que oscila entre los 10 y los 50 MW. Cada parque cuenta además con una central de control de funcionamiento que regula la puesta en marcha de los aerogeneradores, controla la energía generada en cada momento, recibe partes meteorológicos, entre otros.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Costos

Tabla 4. Costos de los Sistemas Eólicos [8]

Costo Inversión Inicial (US$/kW)	*Costo Generación (US$/kWh)*	*Costo de Operación. y Mtto. (% Inversión Inicial/Año)*
850-2000	4-10	1-3

Eficiencia

Científicamente según la *ley de Betz* los aerogeneradores de eje horizontal, más comunes en el mercado, presentan un rendimiento máximo del 59% debido a que solo aprovechan una fracción de la energía del viento. En la realidad este valor no existe, y los aerogeneradores tienen una eficiencia real entre el 40 y 50%, dependiendo del tipo y capacidad del mismo [5].

Ventajas [8]

- Fuente limpia.
- Fuente de energía local, domestica, autóctona y abundante.
- Comparada con las otras fuentes alternativas, es la menos costosa.
- Proyectos pueden construirse en zonas agrícolas, ganaderas y rurales, favoreciendo las economías locales, donde la tierra se puede emplear sin interferencia del emplazamiento.
- Ofrece atractivos beneficios el alquiler de tierras de dueños de grandes extensiones de terreno.

Desventajas

- El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia más costosas. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más pisos, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza los veinte metros, lo cual encarece su producción.
- Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características, precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.
- Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es más acusado que el generado por una instalación de tipo industrial.
- Debe tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo mortal al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto, como pintar en colores llamativos las palas, situar los aerogeneradores adecuadamente dejando espacios libre a las aves, entre otros.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Energía Mareomotriz

Los mares y los océanos son inmensos colectores solares, de los cuales se puede extraer energía de orígenes diversos. [5]

- La radiación solar incidente sobre los océanos, en determinadas condiciones atmosféricas, da lugar a los gradientes térmicos oceánicos (diferencia de temperaturas) a bajas latitudes y profundidades menores de 1000 metros.
- La iteración de los vientos y las aguas son responsables del oleaje y de las corrientes marinas.
- La influencia gravitacional de los cuerpos celestes sobre las masas oceánicas provoca mareas.

Principios de Conversión

El principio fundamental para la conversión de esta energía radica en la diferencia de niveles de agua del mar a ambos lado de un dique que encierra un área marítima. La instalación de una central mareomotriz es solo posible en lugares con una diferencia de al menos 5 metros entre la marea alta y la baja. Esta diferencia de niveles causa una diferencia de presiones de agua dentro y fuera del dique y debido a esta diferencia, es que los chorros de agua que pasan a través del dique, hacen rotar turbinas, produciendo de este modo energía eléctrica. La ubicación ideal para instalar una central mareomotriz es un estuario, una bahía o un río, donde el agua de mar penetre [11].

Una de las desventajas de este sistema de producción de energía eléctrica es que la misma no se genera constantemente sino que depende de los ciclos de mareas. Los períodos de producción por lo tanto son alternos, al igual que los períodos de bajas y altas mareas (cada 6 horas).

Tipos de Conversión

- Energía de la Mareas
- Energía Térmica Oceánica
- Energía de las Olas

Cadenas de Conversión

Energía de las mareas

Las mareas de los océanos constituyen una fuente gratuita, limpia e inagotable de energía. Solamente Francia y la ex Unión Soviética tienen experiencia práctica en centrales eléctricas accionadas por mareas. Esta energía está disponible en cualquier clima y época del año [12].

Las mareas pueden apreciarse como variación del nivel del mar, con un período de aproximadamente 12 horas y 30 minutos, con una diferencia de nivel de unos 2 metros que, conforme a la topografía costera la diferencia entre bajamar y pleamar puede llegar en unos pocos casos hasta los 15 metros, y esta característica se observa en varios lugares [3].

La técnica utilizada consiste en encauzar el agua de la marea en una cuenca, como se muestra en la Figura 5, y en su camino accionar las turbinas de una central eléctrica. Cuando las aguas se retiran, también generan electricidad. Se considera que los lugares más viables para aprovechar esta energía son unos 40, que rendirían unos: 350.000 GW/h anuales. Para obtener esta cantidad de energía sería necesario quemar unos 220 millones de barriles de petróleo/año.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

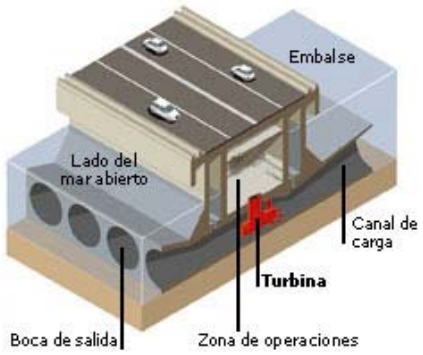

Figura 6. Sistema Básico de una Central Mareomotriz

El obstáculo principal para la explotación de esta fuente es el económico. Los costos de inversión tienden a ser altos con respecto al rendimiento, debido a las bajas y variadas cargas hidráulicas disponibles. Estas bajas cargas exigen la utilización de grandes equipos para manejar las enormes cantidades de agua puestas en movimiento. Por ello, esta fuente de energía es sólo aprovechable en caso de mareas altas y en lugares en los que el cierre no suponga construcciones demasiado costosas. La limitación para la construcción de estas centrales, no solamente se centra en el mayor costo de la energía producida, sino, en el impacto ambiental que generan.

Características de la energía mareomotriz

La explotación de la energía potencial correspondiente a la sobre elevación del nivel del mar aparece en teoría como muy simple: se construye un dique cerrando una bahía, estuario o golfo aislándolo del mar exterior, se colocan en él los equipos adecuados (turbinas, generadores.) y luego, aprovechando el desnivel que se producirá como consecuencia de la marea, se genera energía entre el embalse así formado y el mar exterior.

Uno de los mayores inconvenientes en la utilización aparece precisamente debido a las características inherentes al fenómeno de las mareas. En efecto, como el nivel del mar varía (con un período del orden de 12 horas y 30 min. en las zonas apuntadas), a menos que se tomen las precauciones necesarias, la caída disponible (y la potencia asociada) varían de la misma forma, y por lo tanto se anulan dos veces por día. Además, la marea sigue el ritmo de la luna y no del sol, de manera que hay un retardo diario de 30 min., en las horas en que dichas energía está disponible. Los esquemas teóricos diseñados para salvar esta dificultad resultan antieconómicos y actualmente el problema solo se puede resolver con regulación externa o interconexión.

Como contrapartida, un análisis del promedio de amplitudes demuestra que, a los fines prácticos que se persiguen, el mismo puede considerarse constante a lo largo del año e incluso con el transcurso de los mismos (investigadores franceses y rusos señalan diferencias de 4 al 5% en 18 años); desapareciendo el riesgo de los períodos de sequía, característicos de las centrales hidroeléctricas [3].

Una de las ventajas más importantes de estas centrales es que tienen las características principales de cualquier central hidroeléctrica convencional, permitiendo responder en forma rápida y eficiente a las fluctuaciones de carga del sistema interconectado, generando energía libre de contaminación, externa de variaciones estacionales o anuales, con una vida útil prácticamente ilimitada.

Energía Mareomotermica

La conversión de energía mareomotérmica es un método de convertir en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra a más de 800 m de profundidad. En las zonas tropicales esta diferencia varía entre 20 y 24 ºC. Para el aprovechamiento, es suficiente una diferencia de 20ºC [3].

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Las ventajas de esta fuente de energía se asocian a que es un salto térmico permanente y benigno desde el punto de vista medioambiental. Puede tener ventajas secundarias, tales como alimentos y agua potable, debido a que el agua fría profunda es rica en sustancias nutritivas y sin agentes patógenos.

Las posibilidades de esta técnica se han potenciado debido a la transferencia de tecnología asociada a las explotaciones petrolíferas fuera de costa. El desarrollo tecnológico de instalación de plataformas profundas, como se muestra en la Figura 7, la utilización de materiales compuestos y nuevas técnicas de unión harán posible el diseño de una plataforma, pero el máximo inconveniente es el económico.

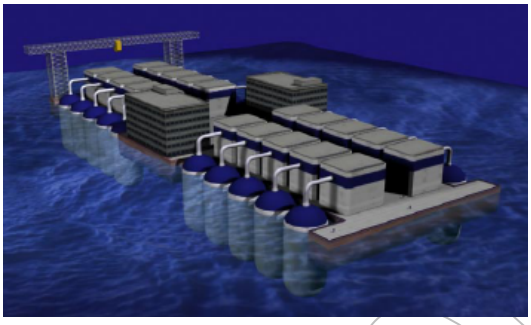

Figura 7. Esquema General de una Plataforma Mareomotermica [13]

Existen dos sistemas para el aprovechamiento de esta fuente de energía:

El primero consiste en utilizar directamente el agua de mar en un circuito abierto, evaporando el agua a baja presión y así mover una turbina. El segundo consiste en emplear un circuito cerrado y un fluido de baja temperatura de ebullición (amoniaco, freón, propano) que se evaporan en contacto con el agua caliente de la superficie. Este vapor mueve un turbogenerador, se condensa con agua fría de las profundidades y el fluido queda dispuesto de nuevo para su evaporación [13].

El rendimiento de este sistema es su baja eficiencia, sobre un 7%, esto es debido a la baja temperatura del foco caliente y la poca diferencia de temperatura entre el foco frío y caliente. Además es preciso realizar un costo extra de energía, empleado para el bombeo de agua fría de las profundidades para el condensado de los fluidos.

Energía de las olas

Las olas del mar son un derivado terciario de la energía solar. El calentamiento de la superficie terrestre genera viento, y el viento genera las olas. Únicamente el 0.01% del flujo de la energía solar se transforma en energía de las olas. Una de las propiedades características de las olas es su capacidad de desplazarse a grandes distancias sin pérdida de energía. Por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental. De este modo la energía de las olas se concentra en las costas, que totalizan 336000 km de longitud.

La densidad media de energía es del orden de 8 kW/m de costa. En comparación, las densidades de la energía solar son del orden de 300 W/m^2. Por tanto, la densidad de energía de las olas es, en un orden de magnitud, mayor que la que los procesos que la generan. Las distribuciones geográficas y temporales de los recursos energéticos de las olas están controladas por los sistemas de viento que las generan (tormentas, alisios, monzones).

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

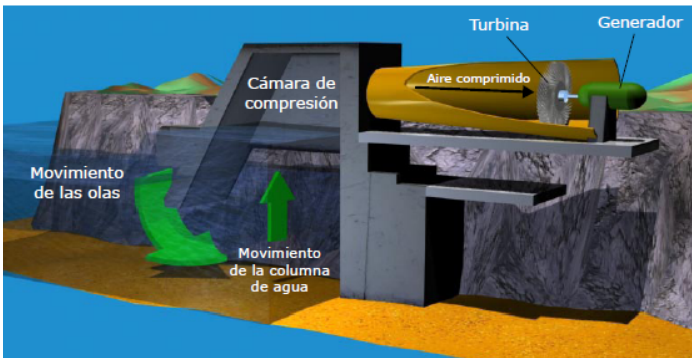

Figura 8. Esquema General para el Generar Electricidad a partir de las Olas [13]

La densidad de energía disponible varía desde las más altas del mundo, entre 50-60 kW/m en Nueva Zelanda, hasta el valor medio de 8 kW/m.

Los diseños actuales de mayor potencia se hallan a 1 MW de media, aunque en estado de desarrollo. La tecnología de conversión de movimiento oscilatorio de las olas en energía eléctrica se fundamenta en que la ola incidente crea un movimiento relativo entre un absorvedor y un punto de reacción que impulsa un fluido a través del generador.

La mayor parte de las instalaciones lo son de tierra. Los costos fuera de la costa son considerablemente mayores. En el momento actual, la potencia instalada de los diseños más modernos varía entre 1 y 2 MW. Pero todos los diseños deben considerarse experimentales.

De los sistemas propuestos, para aprovechar la energía de las olas, se puede hacer una clasificación, los que se fijan a la plataforma continental y los flotantes, que se instalan en el mar [5].

Uno de los primeros fue el convertidor noruego *Kvaerner*, cuyo primer prototipo se construyó en Bergen en 1985. Consistente en un tubo hueco de hormigón, de diez metros de largo, dispuesto verticalmente en el hueco de un acantilado. Las olas penetran por la parte inferior del cilindro y desplazan hacia arriba la columna de aire, lo que impulsa una turbina instalada en el extremo superior del tubo. Esta central tiene una potencia de 500 kW y abastece a una aldea de cincuenta casas.

El pato de Salter consiste en un flotador alargado cuya sección tiene forma de pato. La parte más estrecha del flotador se enfrenta a la ola con el fin de absorber su movimiento lo mejor posible. Los flotadores giran bajo la acción de las olas alrededor de un eje cuyo movimiento de rotación acciona una bomba de aceite que se encarga de mover una turbina. La dificultad que presenta este sistema es la generación de electricidad con los lentos movimientos que se producen.

Balsa de Cockerell consta de un conjunto de plataformas articuladas que reciben el impacto de las crestas de las olas. Las balsas ascienden y descienden impulsando un fluido hasta un motor que mueve un generador por medio de un sistema hidráulico instalado en cada articulación.

Rectificador de Russell está formado por módulos que se instalan en el fondo del mar, paralelos al avance de las olas. Cada módulo consta de dos cajas rectangulares, una encima de la otra. El agua pasa de la superior a la inferior a través de una turbina.

Boya de Nasuda es consistente en un dispositivo flotante donde el movimiento de las olas se aprovecha para aspirar e impulsar aire a través de una turbina de baja presión que mueve un generador de electricidad.

La energía potencial de la energía de las olas en la Unión Europea se estiman entre 120-190 TW-h/año (en plantas de energía de las olas en zonas profundas) y 34 - 46 TW-h/año (en plantas de energía de las olas en zonas poco profundas). Los recursos globales de la energía de las olas es excedente en 2 TW, con un potencial para generar más de 2000TW-h anualmente.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Aplicación

Actualmente, la energía proporcionada por las mareas se aprovecha para generar electricidad, suministrándole potencia a la red y alimentar a los consumidores, bien sea del tipo residencial, comercial e industrial.

Costos

Tabla 5. Costos de los Sistemas Mareomotrices Ubicados en las Costas [8]

Tipo de Conversión	*Costos Inversión Inicial (US$/kW)*	*Costos de Generación (cent/kWh)*
Energía de las Mareas	1700-2500	8-15
Energía de las Olas	200-5000	10-30
Energía Mareomotérmica	8000-20000	15-40

Tabla 6. Incremento de los Costos en los Sistemas Mareomotrices Ubicados Mar Adentro [13]

Distancia a la Costa (km)	*Costo de Capital (US$/kW)*	*Costo de Generación (cent/kWh)*
10	5000	10-14
50	5500	12-15
100	6500	14-17
200	8000	19-22
300	11000	21-24
400	13000	23-27

Ventajas

- Auto renovable.
- No contaminante.
- Silenciosa.
- Bajo costo de materia prima.
- No concentra población.
- Disponible en cualquier clima y época del año.

Desventajas

- Impacto visual y estructural sobre el paisaje costero.
- Localización puntual.
- Dependiente de la amplitud de mareas.
- Traslado de energía muy costoso.
- Efecto negativo sobre la flora y la fauna.
- Es limitada.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Energía Biomasa

La más amplia definición de biomasa sería considerar como tal a toda la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial. [10]

Principios de conversión

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su trasporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad. Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra, hasta procesos de alta eficiencia como la *dendro-energía* y la cogeneración [5]. Los principales procesos de conversión son:

Conversión Termoquímica

La conversión termoquímica está basada en la descomposición de la biomasa por medio de calor. Esta transforma a la biomasa en productos con un más alto valor o más convenientes y, dependiendo de las condiciones del proceso, se obtienen diferentes proporciones de productos sólidos, líquidos y gaseosos:

- Combustión directa
- Pirolisis
- Gasificación

Conversión Bioquímica

Consisten en la transformación de la biomasa por la acción de microorganismos o de enzimas, que son añadidas a los medios de reacción como catalizadores. Los métodos bioquímicos son más adecuados a biomasas con un alto contenido de humedad, debido a que tanto los microorganismos como las enzimas sólo pueden ejercer sus acciones en ambientes acuosos, entre los procesos de conversión bioquímica se encuentran:

- Digestión anaerobia
- Fermentación alcohólica

Conversión Fisicoquímica

La ruta de conversión fisicoquímica produce un biocombustible líquido a partir de la biomasa que contiene aceite vegetal. Esta tecnología es similar a las rutas de conversión para producir aceite vegetal en la industria alimenticia. El aceite vegetal se produce al prensar y/o extraer el aceite de la semilla. De manera que sólo se pueden usar especies que contienen aceite, como la semilla de colza, el girasol, la soja y el aceite de palma, etc. [5].

Tipos de Conversión

- Biomasa Natural
- Biomasa Residual
- Biomasa Producida

Cadena de Conversión

Biomasa natural

Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.

Biomasa residual

Es la que se genera con cualquier actividad humana, principalmente en los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tal como, basuras y aguas residuales.

En la siguiente tabla se puede observar con más detalles las diferentes cadenas de aprovechamiento

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

de la energía biomasa en su forma residual.

Tabla 7. Recursos de Biomasa Residual [15]

Recursos de biomasa	*Tipo de residuo*	*Características físicas*
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza aserrín, astillas.	Polvo, sólido, Humedad relativa (HR)>50%
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas	Polvo sólido, HR 30-45%
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Sólido, HR >55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales,	Sólido, alto contenido humedad
	Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café)	Polvo, HR<25%
	Estiércol	Sólido, alto contenido humedad
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido HR>55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales	Sólido, humedad moderada
	Residuos de procesamiento de carnes	Sólido, alto contenido humedad
	Aguas de lavado y pre-cocido de carnes y vegetales	Líquido
	Grasas y aceites vegetales	Liquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras	Líquido
	Desechos domésticos orgánicos (cáscaras de vegetales)	Sólido, alto contenido humedad
	Basura orgánica (madera)	Sólido, alto contenido humedad

Biomasa producida

Es la cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible, en vez de producir alimentos, como la caña de azúcar en Brasil, orientada a la producción de etanol para carburante.

La biomasa, abreviatura de masa biológica, comprende una amplia diversidad de tipos de combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. La biomasa comprende una amplísima gama de materiales orgánicos que son incorporados y transformados por el reino animal, incluido el hombre. El hombre, además, la transforma por procedimientos artificiales para obtener bienes de consumo. Todo este proceso da lugar a elementos utilizables directamente, pero también a subproductos que tienen la posibilidad de encontrar aplicación en el campo energético. A cada tipo de biomasa corresponde una tecnología diferente; así, la biomasa sólida, como es la madera, se quema o gasifica, mientras que la biomasa líquida, como aceites vegetales, se utiliza directamente en motores o turbinas, y la biomasa húmeda se puede convertir biológicamente en gas de combustión.

Biogás

Es un biocombustible surgido a partir de la biomasa, pero tiene un desarrollo propio. El biogás se produce con la digestión anaerobia de biomasa de un modo natural y espontáneo en pantanos o lagunas.

La digestión anaerobia es un proceso típico de depuración, razón por lo que su explotación comercial se orienta al tratamiento de residuos biodegradables: residuos ganaderos, lodos de depuradora, afluentes industriales y residuos sólidos urbanos. Su poder calorífico está determinado por la concentración de metano (gas muy contaminante que consume durante el proceso de digestión anaerobia), y se suele utilizar para usos térmicos o producir electricidad [14].

Biocombustibles

Son combustibles producidos a partir de la biomasa. Y dentro de los biocombustibles, los biocarburantes abarcan al subgrupo caracterizado por la posibilidad de su aplicación a los actuales motores de combustión interna (motores diesel y Otto). Son, en general, de naturaleza líquida. Actualmente se encuentran desarrollados principalmente dos tipos: el biodiesel, obtenido a partir de semillas oleaginosas

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

mediante esterificación del aceite virgen extraído o a partir de aceites usados; y el bioetanol, obtenido fundamentalmente a partir de semillas ricas en azúcares mediante fermentación [5]

Ventajas frente a carburantes fósiles

La producción y utilización de los biocarburantes en el sector del transporte presenta una serie de ventajas medioambientales, energéticas y socioeconómicas respecto a los combustibles de origen fósil.

- Desde el punto de vista medioambiental, su utilización contribuye a la reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. Concretamente, el biodiesel no emite dióxido de azufre, lo cual ayuda a prevenir la lluvia ácida, y disminuye la concentración de partículas en suspensión emitidas, de metales pesados, de monóxido de carbono, de hidrocarburos aromáticos policíclicos y de compuestos orgánicos volátiles. El bioetanol, en comparación con la gasolina, reduce las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. Además, al ser fácilmente biodegradables, los biocarburantes no inciden negativamente en la contaminación de suelos. En última instancia, ayudan a la eliminación de residuos en los casos en que los mismos se utilizan como materia prima en la fabricación de biocarburantes (por ejemplo, los aceites usados en la fabricación de biodiesel).

- Desde el punto de vista energético, los biocarburantes constituyen una fuente energética renovable y limpia. Además, su utilización contribuye a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles y otorga una mayor seguridad en cuanto al abastecimiento energético.

- Desde el punto de vista socioeconómico, los biocarburantes constituyen una alternativa para las tierras agrícolas. De esta forma, se fijaría la población en el ámbito rural, manteniendo los niveles de trabajo y renta, y fomentando la creación de diferentes industrias agrarias.

Aplicaciones

En cuanto a su aplicación en los motores de combustión interna, el biodiesel puede ser mezclado con diesel tradicional o incluso sustituirlo totalmente. El bioetanol puede ser mezclado en diferentes proporciones con la gasolina, si bien a partir de porcentajes del 15% pueden requerirse pequeñas modificaciones del motor. Además, el bioetanol se puede utilizar para fabricar ETBE (*Ethyl Tert-Butyl Ether)*, aditivo de la gasolina.

En un principio, las prestaciones del biodiesel y el bioetanol son similares a las del gasóleo y las gasolinas tradicionales, respectivamente, pudiéndose utilizar sustituyendo total o parcialmente a éstos.

La percepción actual es que los biocarburantes no podrán sustituir totalmente a los combustibles fósiles, pero sí complementarlos en forma de diferentes mezclas con el fin de reducir la dependencia respecto del petróleo, a diferencia de otras alternativas que son excluyentes (por ejemplo, los gases licuados del petróleo) y necesitan cierta duplicación del sistema motor. En el mismo sentido, los biocarburantes pueden utilizar la misma red logística de distribución que los combustibles fósiles.

Aplicación

- Producción de energía térmica
- Producción de energía eléctrica
- Producción de biocombustibles
- Producción de gases combustibles

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Costos

Tabla 8. Costos de los Sistemas Biomasa [8]

Costos de Inversión Inicial (US$/kW)	*Costo de Generación (cent/kWh)*	*Costo de Operación y Mtto. (% Inversión Inicial/Año)*
800-5000	5-13	3

Ventajas

La utilización de la biomasa con fines energéticos tiene las siguientes ventajas medioambientales:

- Disminución de las emisiones de CO_2.
- No emite contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas.
- Si se utilizan residuos de otras actividades como biomasa, esto se traduce en un reciclaje y disminución de residuos. Canaliza, por tanto, los excedentes agrícolas alimentarios, permitiendo el aprovechamiento de las tierras de retirada.
- Los cultivos energéticos sustituirán a cultivos excedentarios en el mercado de alimentos. Eso puede ofrecer una nueva oportunidad al sector agrícola.
- Permite la introducción de cultivos de gran valor rotacional frente a monocultivos cerealistas.
- Puede provocar un aumento económico en el medio rural.
- Disminuye la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

Desventajas

- Tiene un mayor costo de producción frente a la energía que proviene de los combustibles fósiles.
- Menor rendimiento energético de los combustibles derivados de la biomasa en comparación con los combustibles fósiles.
- La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
- Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Energía Geotérmica

El planeta guarda una enorme cantidad de energía en su interior. Un volcán o un géiser es una buena muestra de ello. Geotérmica proviene de *Geo* que significa tierra y *Thermos* que significa caliente, entonces literalmente se puede decir *calor de la tierra*. [16]

Son varias las teorías que tratan de explicar las elevadas temperaturas del interior de la tierra. Unas sostienen que se debe a las enormes presiones existentes bajo la corteza terrestre; otras suponen que tienen origen en determinados procesos radiactivos internos; por último, hay una teoría que lo atribuye a la materia incandescente que formó el planeta.

Principios de conversión

Diversos estudios científicos realizados en distintos puntos de la superficie terrestre han demostrado que, por término medio, la temperatura interior de la tierra aumenta 3ºC cada 100m de profundidad. Este aumento de temperatura por unidad de profundidad es denominado *gradiente geotérmico*.

Para su operación comercial es necesaria la excavación a grandes profundidades, como se muestra en la Figura 9, para poder llevarse a cabo. Cuando la perforadora llega a un espacio subterráneo cuya temperatura supera los 175°C es posible emplear el agua que contiene para hacer funcionar generadores eléctricos.

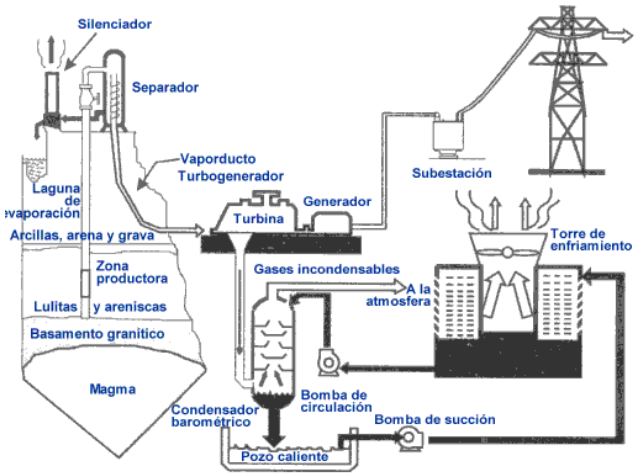

Figura 9. Esquema General de una Planta Geotérmica [17]

En el interior de la tierra, la presión es mucho más elevada, por lo que el agua permanece en estado líquido a temperaturas más altas; a una profundidad de 1000, 1.500 y 3.000 metros, el punto de ebullición del agua se eleva a 230, 315 y 600°C respectivamente.

El agua que está a altas temperaturas se encuentra por lo general en zonas de actividad volcánica reciente, como el cinturón de fuego del pacífico, región del océano del mismo nombre que cuenta con numerosos volcanes activos e inactivos.

Tipos de Conversión

- Hidrotérmicos
- Geopresurizados
- De roca caliente

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Cadena de Conversión

La planta consiste en una zona sembrada de grandes tuberías, que conducen el vapor desde los pozos geotérmicos hasta la planta generadora. Las cañerías describen curvas a intervalos regulares para permitir que los enormes tubos se expandan y contraigan al calentarse y enfriarse.

Se utilizan las mismas técnicas que se emplean para abrir los pozos de petróleo, la única diferencia es que estos pozos tienen un diámetro mayor porque son los encargados de llevar a la superficie el vapor y el agua caliente a presión. Esta combinación es el producto que se envía a la planta de energía.

El siguiente paso tiene lugar en el separador, que es donde se aísla el vapor del agua caliente, también llamada salmuera geotérmica. El vapor de agua sigue teniendo gotitas que contienen minerales que podrían depositarse en la turbina y dañarla; por lo que al vapor se lo manda a una depuradora que se encarga de eliminar dichas gotas. El vapor depurado pasa a unas enormes tuberías que llegan a la planta generadora de electricidad.

Hidrotérmicos

Tienen en su interior de forma natural el fluido caloportador, generalmente agua en estado líquido o en vapor, dependiendo de la presión y temperatura. Suelen encontrarse en profundidades comprendidas entre 1 y 10 km. En la actualidad los reservorios hidrotérmicos son los más aprovechados para fines energéticos, en particular en generación eléctrica. Los elementos esenciales que determinan su conformación son:

- Existencia de una fuente de calor no muy profunda y cercana al reservorio. Esta fuente de calor puede producirse por la actividad volcánica o por la interacción entre dos placas tectónicas.
- Presencia de formaciones geológicas permeables que contenga el reservorio.
- Presencia de estructuras geológicas sobre el yacimiento, que actúen como una capa sello, impermeable, favoreciendo la conservación del calor y la presión del reservorio.
- Existencia de un área de recarga hídrica del reservorio, que condiciona la característica renovable del recurso geotérmico.

Geopresurizados

Son similares a los hidrotérmicos pero a una mayor profundidad, encontrándose el fluido caloportador a una mayor presión, unos 1000 bares y entre 100 y 200ºC, con un alto grado de salinidad, generalmente acompañados de bolsas de gas y minerales disueltos.

De roca caliente

Son formaciones rocosas impermeables que recubren un foco calorífico, a una temperatura entre 100 y 300ºC, próximas a bolsas magmáticas. Para aprovechar este recurso se perfora hasta alcanzarlo, se inyecta agua fría y ésta se utiliza una vez calentada.

El esquema básico de un aprovechamiento geotérmico de este tipo, consta de una perforación de gran profundidad en la corteza terrestre. Esta perforación debe tener varios kilómetros para llegar a una zona con temperatura suficiente. A cinco kilómetros, la temperatura aproximada es de 150 ºC. En la perforación se introducen dos caños desde la superficie. Una vez instalados, por uno de ellos se inyecta agua fría. Al llegar al fondo, el agua se calienta y sube por la segunda tubería. En el extremo de ésta se ha dispuesto una turbina que es movida por el agua caliente. Posteriormente, el agua ya enfriada se vuelve a introducir por la primera tubería para formar un circuito cerrado.

El sistema es, teóricamente, de los mejores existentes. La necesidad de piezas móviles se reduce a la turbina, con lo que esta simplicidad aumenta la resistencia del sistema. La fuente de energía está asegurada continuamente. Al contrario que el sol y el viento, que pueden aparecer y desaparecer, el calor del interior del planeta es constante y no sufre variaciones ni con las estaciones del año ni con la hora del día.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

El problema principal radica en la propia naturaleza de la roca en la que se realiza la perforación. En todos los sistemas desarrollados por el hombre, se utiliza un metal para conducir el calor debido a la poca resistencia que opone al paso de éste. La roca, en cambio, es un conductor bastante malo. En el proceso de calentamiento del agua se produce una transferencia de calor de un cuerpo al otro y la roca pierde las calorías que transfiere. Esto implica que para poder funcionar constantemente debería ser capaz de absorber calor de la cima con la misma rapidez con que se lo da al agua. Esto no es cierto y una vez enfriada tarda en volver a calentarse, es por ello que esta deficiencia hace imposible su explotación en gran escala.

Aplicación

- Balnearios: Aguas termales que tienen aplicaciones para la salud.
- Calefacción y agua caliente.
- Electricidad.
- Extracción de minerales: Se obtienen de los manantiales azufre, sal común, amoniaco, metano y ácido sulfhídrico.
- Agricultura y acuicultura: Para invernaderos y criaderos de peces.

Costos

Tabla 9. Costos de Energía Geotérmica en Base al Tamaño de la Planta y del Recurso disponible [16]

Tamaños de la Planta	*Recurso de Alta Calidad*	*Recurso de Media Calidad*
Plantas Pequeñas (<5MW)	Exploración: US$ 400-800 Campo de Vapor: US$ 100-200 Planta Geotérmica: US$ 1100-1300 Total: US$ 1600-2300	Exploración: US$ 400- 1000 Campo de Vapor: US$ 300-600 Planta Geotérmica: US$ 1100-1400 Total: US$ 1800-3000
Plantas Medianas (5 – 30MW)	Exploración: US$ 250-400 Campo de Vapor: US$ 200-500 Planta Geotérmica: US$ 850-1200 Total: US$ 1300-2100	Exploración: US$ 250-600 Campo de Vapor: US$ 400-700 Planta Geotérmica: US$ 950-1200 Total: US$ 1600-2500
Plantas Grandes (>30MW)	Exploración: US$ 100-200 Campo de Vapor: US$ 300-450 Planta Geotérmica: US$ 750-1100 Total: US$ 1150-1750	Exploración: US$ 100-400 Campo de Vapor: US$ 400-700 Planta Geotérmica: US$ 850-1100 Total: US$ 1350-2200

Ventajas

- Su generación es limpia.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

fglongatt.org.ve

- No depende de variaciones estacionales como lluvias, caudales de ríos, viento, sol, entre otros.
- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y carbón.

Desventajas

- Emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor repulsivo, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal.
- Emisión de CO_2, con aumento de efecto invernadero.
- Contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoniaco, etc.
- Contaminación térmica.
- Deterioro del paisaje.
- La perforación de las superficies rocosas duras es un proceso costoso.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Celdas de Combustibles

Son dispositivos electro químicos que convierten la energía química de reacciones directamente en energía eléctrica. En principio, una celda de combustible opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua 100% pura [4].

Principios de Conversión

Para su operación comercial se es necesario la utilización y combinación de hidrogeno y oxigeno, que varia de acuerdo al nivel de electricidad que se requiera producir.

Tipos de Conversión

- PEMFC
- DMFC
- SOFC
- AFC
- PAFC
- MCFC

Cadena de Conversión

PEMFC (membrana de intercambio protónico)

Actúa a temperaturas algo bajas (alrededor de 80 ºC) y sus ventajas son mayor densidad de potencia y vida útil. Es la tecnología que más se usa en aplicaciones de transporte: por ejemplo: los fabricantes automotrices la utilizan en sus aplicaciones para vehículos ligeros.

DMFC (metanol directo)

Consiste en una pequeña celda tipo PEMFC, la cual funciona con metanol sin reformar; es decir, la fuente del hidrógeno. Es utilizada para aplicaciones portátiles y de microelectrónica (Cortadoras de césped, computadoras portátiles, teléfonos celulares)

SOFC (óxido sólido)

Opera a una alta temperatura (arriba de 650 y hasta 1000 °C) y produce vapor, CO_2 y electricidad. No requiere metales preciosos para el catalizador, ni del proceso de reformación (obtención de H_2 a partir de hidrocarburos ligeros). Puede utilizarse en escalas grande y pequeña, en sistemas de alta potencia, incluyendo estaciones de generación de energía eléctrica para edificios o conjuntos habitacionales.

AFC (alcalina)

Es uno de los diseños más viejos: se usaba desde 1960 en los Estados Unidos, en programas espaciales. Su costo es muy alto y requiere hidrógeno y oxígeno puros comprimidos, por lo cual es muy poco comercial. Trabaja a temperaturas entre 150 y 200 °C. Tiene alrededor de 70% de eficiencia.

PAFC (ácido fosfórico)

Se puede aplicar en pequeños sistemas de potencia o estacionarios. Trabaja a temperaturas medias (de 150 a 250 °C) por eso no es recomendable su uso en automóviles. Requiere de un reformador externo y soporta hasta 1.5% de concentración de monóxido de carbono (CO) en el cátodo.

MCFC (carbonatos fundidos)

Es la más adecuada para grandes sistemas de potencia. Actúa a temperaturas aproximadas a 650 °C; tanto su construcción como su operación son más económicas, ya que usa níquel como catalizador, y como combustible, hidrocarburos.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

fglongatt.org.ve

Aplicación

Las celdas de combustible son muy útiles como fuentes de energía en lugares remotos, como por ejemplo naves espaciales, estaciones meteorológicas alejadas, parques grandes, localizaciones rurales, y en ciertos usos militares. Un sistema con celda de combustible que funciona con hidrógeno puede ser compacto, ligero y no tiene piezas móviles importantes.

Aplicaciones de cogeneración (uso combinado de calor y electricidad) para viviendas, edificios de oficinas y fábricas. Este tipo de sistema genera energía eléctrica de manera constante (vendiendo el exceso de energía a la red cuando no se consume), y al mismo tiempo produce aire y agua caliente gracias al calor que desprende. Otras aplicaciones pueden ser en vehículos eléctricos y plantas de potencia.

Costos

Tabla 10. Costo Aproximado de las Celdas de Combustibles [19]

Costos de Inversión (US$/kW)	*Costos de Generación (US$/kWh)*	*Costos de Operación y Mantenimiento (US$/kWh)*	*Rendimiento (%)*
3000-5000	0.08-0.12	0.010	30-70

Ventajas

La principal ventaja de esta tecnología es que se ha demostrado que todos los tipos de celdas de combustible generan energía eléctrica a niveles nulos de contaminación. Como también presentan las siguientes ventajas:

- Alta eficiencia y eficacia en la conversión del combustible a electricidad.
- Capaces de utilizar varios combustibles.
- Son cogeneradores natos.
- Silenciosas en su operación.
- Carecen de partes móviles.
- Gran flexibilidad para operar con otros sistemas de generación de electricidad aumentando la eficiencia del sistema.

Desventajas

- La producción del hidrógeno resulta muy costosa al no ser éste una fuente primaria de energía.
- La obtención del hidrógeno puro supone un precio elevado comparado con los combustibles convencionales.
- Alto costo de los sistemas de almacenamiento y suministro (de hidrógeno, metanol o gas natural).
- Alto peso de celdas de combustible para los prototipos actuales.
- Elevado gasto energético para reformar el hidrógeno.
- La producción de algunos componentes, al no efectuarse a gran escala, implica un costo elevado. Se estima que un vehículo con celda de combustible tiene un costo 30 % más que uno de gasolina o diesel con prestaciones similares debido a la tecnología.
- Tecnología emergente. Determinados problemas aún no resueltos afectan al funcionamiento de las celdas de combustible, especialmente en lo que respecta a su vida útil, lo que repercute en su comercialización.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Microturbina de Combustible

Es un pequeño motor de *ciclo Brayton* (turbina a gas de ciclo simple). Emplea la combustión de un elemento combustible (gaseoso o líquido) para producir un torque en el eje, el cual se emplea para hacer rotar un generador eléctrico y de este modo producir electricidad. El tamaño de las micro turbinas están entre los 30 y 350 kW [19].

Principios de Conversión

El modo de funcionamiento de la microturbina no difiere mucho del de una turbina convencional. Quizá la diferencia principal se encuentra en el hecho de tener un ciclo de recuperación para mejorar el rendimiento eléctrico, como se muestra en la Figura 10. Es necesaria la combustión de un elemento para la producción de electricidad.

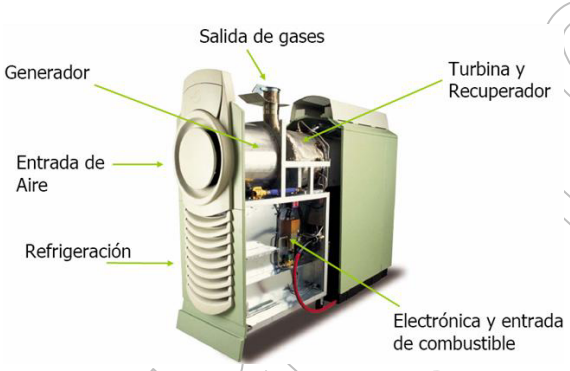

Figura 10. Esquema Básico de una Microturbina

Tipos de Conversión

- Microturbina de un solo eje.
- Microturbina de dos ejes o de eje partido.

Cadena de Conversión

Microturbina de un solo eje

Evolucionaron de los turbocargadores de automóviles y camiones, unidades de potencia auxiliar de aviones y motores pequeños de aeroplanos. Esta compuestos de compresor, combustor, turbina, alternador, recuperador y generador [19].

Las velocidades optimas rotacionales de las Microturbina a potencia nominal están entre 60000 y 100000 rpm. El diámetro de la punta es de algunas pulgadas, similar a los turbocargadores. La diferencia de los turbocargadores esta en el diseño aerodinámico.

Microturbina de dos ejes o de eje partido

Este tipo de microturbinas siguen una filosofía de diseño semejante a la usada a los chillers, caldera u hornos. Además son diseñados para aplicaciones industriales de calidad estacionaria. Utilizan una turbina que gira a 3600 rpm y un generador convencional (usualmente un generador de inducción) unida a una caja de engranajes reductora. También emplean una etapa de compresión y dos etapas de turbina [19].

Aplicación

Una de las aplicaciones más interesantes de las microturbinas, es sin duda la generación distribuida con aprovechamiento térmico. Normalmente, en edificios las necesidades térmicas se cubren con agua caliente ya sea para uso sanitario como para calefacción. La transformación energética de un combustible como el propano, es económicamente más rentable si en lugar de generar directamente el calor, generamos energía eléctrica y aprovechamos el calor residual. Para que esta aplicación tenga un buen resultado económico, es necesario que siempre que estén en funcionamiento se pueda aprovechar el calor residual.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Costos

Tabla 11. Costos de la Microturbina de Combustible [19]

Costos de Inversión (US$/kW)	*Costo de Generación (US$/kWh)*	*Costos de Operación y Mtto. (cent/kW)*
700-1100	0.3-0.5	0.5-1.6

Tabla 12. Eficiencia de la Microturbina [19]

Configuración	*Eficiencia*
No recuperada	15%
Recuperada	20-30%
Con recuperación de calor	Hasta 85%

Ventajas

- Simplicidad constructiva: una sola parte móvil.
- No utilizan líquidos refrigerantes ni lubricantes.
- Alta confiabilidad y prácticamente libres de mantenimiento.
- En sistemas con cogeneración, alcanzan rendimientos energéticos de hasta el 90%.
- Mínimas emisiones.
- Los módulos operan en paralelo entre ellos y/o con la red, sin necesidad de tableros de sincronismo / paralelismo.

Desventajas

- El uso constante de combustibles.
- Alto costo de inversión inicial.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Fortalezas y Debilidades de las Diferentes Fuentes Alternas de Energía

Finalmente se resaltan los puntos fuertes y débiles de las diferentes tecnologías para la producción de electricidad explicadas anteriormente.

Tabla 13. Fuentes Alternas de Energías: Fortalezas y Debilidades.

Tecnología	Fortalezas	Debilidades
Energía Solar	• Trabajan bien en zonas remotas. • Requieren mínimo mantenimiento. • Sin emisiones. • Bajo mantenimiento.	• Dependen del clima, algunas localizaciones pueden ser impropias. • Altos costos.
Energía Eólica	• Se ubica entre las menos costosas de las fuentes alternas de energía. • Por su origen, el recurso existe en todo el mundo. • Eficientes.	• Fuente intermitente, no siempre esta disponible cuando se requiere. • Produce impacto visual inevitable afectando el paisaje y con ello a las aves que allí habitan.
Energía Mareomotriz	• No produce emisiones. • Silenciosa. • Idónea donde no llega las redes de suministro convencional.	• Depende de la amplitud de las mareas y las olas. • Produce impacto ambiental, visual y estructural sobre el paisaje costero. • Complejidad en instalación y mantenimiento. • Alto costo.
Energía Biomasa	• Obtención de subproductos como biocombustibles para ayudar a la disminución de la dependencia de los combustibles. • El recurso existe en todo el mundo, varia de acuerdo al tipo de conversión.	• Necesidad de acondicionamiento o transformación para su utilización. • La materia prima es de baja densidad energética lo que quiere decir que ocupa mucho volumen y por lo tanto puede tener problemas de transporte y almacenamiento.
Energía Geotérmica	• No depende de variaciones climáticas. • Es eficiente por su emplazamiento, debido a que el área de terreno requerido es menor que el que necesita otro tipo de fuente energética.	• Deterioro del paisaje. • Emisión de acido sulfhídrico y CO_2. • Contaminación térmica. • El recurso esta en determinado lugares del mundo.
Celdas de Combustibles	• Bajas emisiones. • Silenciosas. • Alta eficiencia.	• Altos costos. • Algunas tienen limitadas experiencias en campo. • En algunas la baja temperatura del calor de desecho puede limitar su potencial en cogeneración.
Microturbinas de Combustibles	• Tamaño compacto • Puede usar combustibles de desecho. • Bajas emisiones • Largos intervalos de mantenimiento.	• Baja potencia de salida • Eficiencia con altas temperaturas ambiente.

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Conclusiones

En el presente reporte de investigación se dio a conocer las características principales de las fuentes alternas de energía. Se desarrolló en cada tecnología el principio de operación, dando así a conocer los requisitos básicos y elementales par su comercialización, es decir, definir cual es la fuente primaria necesaria para poder hacer la conversión en energía eléctrica.

La mayoría de las tecnologías no solo empleaba uno, sino varios métodos de conversión, donde la fuente primaria no cambiaba sino los procesos de transformación, como por mencionar el caso de la energía solar (paneles fotovoltaicos y sistemas térmicos) ambos necesitaban radiaciones solares pero la cadena de transformación era distinta. Se dio a conocer las aplicaciones que cada tecnología aportaba, la mayoría además de generar electricidad también se usan para generar calefacción, agua caliente sanitaria, combustibles, bombeo de agua, etc.

Además de presentar el funcionamiento y las aplicaciones de dichas fuentes alternas de energía, se detalló un punto importante, cuando de proyectos a implementar se trata, y no es más que el económico, dándose a conocer el costo que presenta la inversión inicial de cada tecnología (US$/kW) así como también el costo que tiene al momento de generarse y comercializarse (US$/kWh). Aunado a esto, se estimó para cada tecnología el valor monetario de lo que implica la operación y mantenimiento de las fuentes alternas de energía, unas tecnologías con referencia al costo inicial invertido (% inversión inicial /año), otras simplemente un valor especifico (US$/kWh).

Finalmente se presentó una comparación entre las fuentes alternas de energías estudiadas, en donde se indicó las fortalezas y debilidades que presenta cada tecnología, con el fin de enfocar los puntos más importantes de cada una.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve

Referencias Documentales

[1] Gasquet, H. *Conversión de la luz solar en energía eléctrica/ Manual teórico y practico de sobre los sistemas fotovoltaicos.* El Paso, Texas. 2004

[2] Libro sin autor

[3] Kaltschmitt, M; Streicher, W. *Renewable Energy: technology, economics and environment.* Editorial Springer, Germany. 2007

[4] Página web de Radiaciones. *Energías Alternativas* (On line) Available at: http://www.radiacioes.net

[5] Méndez, V. *Generación Distribuida: Aspectos Técnicos y su Tratamiento.* Tesis Doctoral, España. 2005.

[6] Página web de Ciemat. (On line) Available at: http://www.ciemat.es

[7] Página web de Dr. Francisco González-Longatt. *Sistemas de Generación Distribuida* (On line) Available at: http://www.fglongatt.org.ve

[8] Kreith, F; Guswami D. *Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy* Taylor & Francis Group. New York, Usa. 2007

[9] Página web de Asociación de Productores de Energías Renovables. *Energías renovables* (On line) Available at: http://www.appa.es

[10] Fernández, P. *Energía Eólica.* (I.- Antecedentes Históricos y Fuentes Eólicas). Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. España. 2002Página web de Word Wind Energy Association. *Energía eólica* (On line) Available at: http://www.wwindea.org

[11] Página web Portal Energías Renovables. *Energía Renovable* (On line) Available at: http://www.portalenergia.es/informacion/energia.jsp

[12] Universidad de las Palmas de la Gran Canaria. *Fuentes Alternas de Energía* (On line) Available at: http://www.comunidad.eduambiental.org

[13] Pimentel, D. *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems.* Editorial Springer. Germany. 2007

[14] Página web. *Energías* (On line) Available at: http://www.energia.inf.cu

[15] Pagina web de Energías Geotérmica. *Energía Geotérmica* (On line) Available at: https://www.geo-energy.org

[16] Ministerio de Energía y Minas de Perú. *Energía Geotérmica* (On line) Available at: https://www.minem.gob.pe

[17] Pagina web de celdas de combustibles. *Celdas de combustibles.* (On line) Available at: https://www.materias.fi.uba.ar

[18] González-Longatt, F. *Impacto de la Generación Distribuida en el Comportamiento de los Sistemas Eléctricos de Potencia.* Tesis Doctoral. UCV Caracas, Junio 2008.

fglongatt.org.ve

Prohibido la copia total o parcial de este documento o sus imágenes o su redistribución por cualquier medio sin autorización del autor. Solo para ser utilizado con fines académicos y/o de investigación. Derechos de autor reservados.
Copyright © 2009. http://www.fglongatt.org.ve