Fuentes Alternas de Energía que son Susceptibles de Aplicación en Venezuela

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 Número	FAEyGD-06
Estatus y Versión	Borrador, 1.00
Número de Páginas	52
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 Figuras 4
Índice de Tablas 5
Introducción 6
Fuentes Alternas de Energía Susceptibles de Aplicación en Venezuela 7
Energía Solar 7
Fuentes de Información 7
Radiación Solar en Venezuela 8
Energía Solar Térmica 9
Estado Carabobo 12
Estado Cojedes 13
Estado Falcón 14
Estado Guárico 15
Estado Nueva Esparta 16
Estado Portuguesa 17
Estado Sucre 18
Estado Zulia 19
Zonas Susceptibles Apropiadas para la Implementación de la Energía Solar 20
Energía Eólica 21
Fuentes de Información 21
Ley Exponencial de Hellmann 22
Estado Falcón 25
Estado Zulia 27
Recurso Eólico en Venezuela 27
Energía Mareomotriz 29
Fuente de Información 29
Energía de las Mareas 29
Energía Térmica Oceánica 30
Energía de las Olas 31
Energía Biomasa 34
Fuente de Información 34
Biomasa Natural 34
Biomasa Residual 34
Clasificación de la Basura 34

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

Orgánicos 34
Inorgánicos 34
Producción de Electricidad con Residuos Sólidos Urbanos (RSU) 37
Biomasa Producida 37
Energía Geotérmica 38
Fuentes de Información 38
Investigaciones en Venezuela 38
Microturbinas de Combustibles 40
Zonas Susceptibles en Venezuela Para Aplicación de Microturbinas de Combustibles 41
Celdas de Combustibles 42
Celdas de Combustible de Alcalina (AFC) 42
Celdas de Combustible de Metanol Directo (DMFC) 42
Celdas de Combustible de Carbonato Fundido (MCFC) 42
Celdas de Combustible de Acido Fosfórico (PAFC) 43
Celdas de Combustible de Oxido Sólido (SOFC) 43
Celdas de Combustible de Membrana de Polímero Electroquímico (PEMFC) 43
Combustible 43
Diferencia de las Celdas de Combustible 44
Zonas Susceptibles en Venezuela Para Aplicación de Celdas de Combustibles 45
Fuentes Alternas de Energías Susceptibles de Aplicación en Venezuela 48
Conclusiones 50
Referencias Documentales 51

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 Figuras

Contenido **Pag.**

Figura 1. Ubicación de la Red de Estaciones Meteorológicas de la Fuerza Aérea Venezolana 8
Figura 2. Radiación Solar Disponible en Venezuela 9
Figura 3. Mapa Político del Estado Aragua 11
Figura 4. Radiación Solar Mensual en Aragua (kWh/m^2/día) 11
Figura 5. Mapa Político del Estado Carabobo 12
Figura 6. Radiación Solar Mensual en Carabobo (kWh/m^2/día).....12
Figura 7. Mapa Político del Estado Cojedes 13
Figura 8. Radiación Solar Mensual en Cojedes (kWh/m^2/día) 13
Figura 9. Mapa Político del Estado Falcón 14
Figura 10. Radiación Solar Mensual en Falcón (kWh/m^2/día) 14
Figura 11. Mapa Político del Estado Guárico 15
Figura 12. Radiación Solar Mensual en Guárico (kWh/m^2/día) 15
Figura 13. Mapa Político del Estado Nueva Esparta.....16
Figura 14. Radiación Solar Mensual en Nueva Esparta (kWh/m^2/día).....16
Figura 15. Mapa Político del Estado Portuguesa 17
Figura 16. Radiación Solar Mensual en Nueva Esparta (kWh/m^2/día).....17
Figura 17. Mapa Político del Estado Sucre.....18
Figura 18. Radiación Solar Mensual en Sucre (kWh/m^2/día).....18
Figura 19. Mapa Político del Estado Zulia 19
Figura 20. Radiación Solar Mensual en Zulia (kWh/m^2/día) 19
Figura 21. Zonas Susceptibles para Aplicación Solar Fotovoltaica en Venezuela 20
Figura 22. Ubicación de la Red de Estaciones Meteorológicas de la Fuerza Aérea Venezolana 21
Figura 23. Potencial Eólico Presente en los Estados Venezolanos, @ 10 metros de altura 23
Figura 24. Brisa marina a) mediodía y tarde, b) noche y amanecer 24
Figura 25. Mapa Político del Estado Falcón 25
Figura 26. Variación de la Velocidad Mensual del Viento en Falcón 25
Figura 27. Mapa Político del Estado Nueva Esparta.....26
Figura 28. Variación de la Velocidad Mensual del Viento en Nueva Esparta en m/s 26
Figura 29. Mapa Político del Estado Zulia.....27
Figura 30. Variación de la Velocidad Mensual del Viento en Zulia.....27
Figura 31. Zonas Susceptibles para Aplicación de Energía Eólica en Venezuela 28
Figura 32. Localización de Puertos Venezolanos con Valores en Relación a las Diferencias.....30
Figura 33. Diferencia de la Temperatura del Mar a Medida que Aumenta la Profundidad.....31
Figura 34. Valores de las Corrientes Marinas en Venezuela 33
Figura 35. Regiones con Mayor Índice de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el Día 36
Figura 36. Localización de la Red de Gas en Venezuela.....41
Figura 37. Zonas Susceptibles Para Aplicación de Microturbinas en Venezuela 42
Figura 38. Localización de la Red de Gas en Venezuela.....45
Figura 39. Zonas Susceptibles Para Aplicación de Celdas de Combustibles en Venezuela 46
Figura 40. Estados Susceptibles Para Aplicación de Fuentes Alternas de Energía en Venezuela.....48

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

Índice de Tablas

Contenido **Pag.**

Tabla 1. Comparación entre las Tecnologías Solares Térmicas 10
Tabla 2. Variación de la Radiación Solar Mensual (kWh/m^2/día) y Promedio de Días Nublados/Mes 11
Tabla 3. Variación de la Radiación Solar Mensual (kWh/m^2/día) y Promedio de Días Nublados/Mes 12
Tabla 4. Variación de la Radiación Solar Mensual (kWh/m^2/día) y Promedio de Días Nublados/Mes 13
Tabla 5. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes 14
Tabla 6. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes 15
Tabla 7. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes 16
Tabla 8. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes 17
Tabla 9. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes 18
Tabla 10. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes 19
Tabla 11. Estimación del valor de α para distintos terrenos 22
Tabla 12. Velocidad del Viento a Diferentes Alturas 22
Tabla 13. Clases de Densidad de Potencia del Viento a 10 y 50 m de Altura 23
Tabla 14. Valores Máximos y Mínimos de la Velocidad del Viento Ubicados en Estados 24
Tabla 15. Promedio de la Velocidad Mensual del Viento en el Estado Falcón en m/s 25
Tabla 16. Velocidad Mensual del Viento en Nueva Esparta en m/s 26
Tabla 17. Velocidad Mensual del Viento en Zulia en m/s 27
Tabla 18. Mareas en la Costa Venezolana 29
Tabla 19. Requerimiento Mínimos de los Sistemas de Captación de Olas 32
Tabla 20. Clasificación de los Residuos Sólidos 35
Tabla 21. Producción Diaria de Residuos Sólidos en Cada Entidad Federal de Venezuela Para el Año 2006 36
Tabla 22. Cantidades de los Residuos Sólidos Urbanos (Ton/día) 37
Tabla 23. Manifestaciones Térmicas Presentes en Venezuela Para el Año 2004 39
Tabla 24. Eficiencias de Diferentes Tamaños de las Microturbinas 40
Tabla 25. Tarifas del Gas Natural en Venezuela Para el Año 2009 41
Tabla 26. Producción de Hidrógeno 43
Tabla 27. Diferencias de las Celdas de Combustible 44
Tabla 28. Entidades con Mayor Potencial de los Recursos Naturales Presentes en Venezuela 48

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

El objetivo del presente reporte de investigación es explorar los diferentes tipos de fuentes alternas de energía que son susceptibles de aplicación en Venezuela. En tal sentido este reporte de investigación aborda fuentes como: energía solar, eólica, mareomotriz, biomasa, geotérmica, microturbinas y celdas de combustibles.

En la primera parte de este reporte se presentan para las tecnologías candidatas las características principales y los requerimientos mínimos que son necesarios para la implementación, es decir, cantidades necesarias del recurso primario que funcionan con ciertos valores de rendimiento para poder producir determinados kW o MW de energía eléctrica.

Luego se explica el recurso primario (radiación solar, velocidad de vientos, velocidad de corrientes marinas, diferencia de mareas, toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU), metros cúbicos de gas natural, etc.) existente en cada estado de Venezuela, con todo el material disponible necesario (mapas, gráficas, estadísticas, etc.) otorgado por los diferentes organismos públicos y privados a nivel nacional e internacional. Finalmente se selecciona las fuentes alternas de energía que más se adecuen con los requerimientos mínimos de conversión, tomando en cuentas sus eficiencias y producción comercial de cada una en kW o MW.

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

Fuentes Alternas de Energía Susceptibles de Aplicación en Venezuela

A fin de evaluar la susceptibilidad de ser aplicados en Venezuela, un subconjunto de tecnologías para generación de electricidad consideradas alternas son consideradas:

- Energía Solar.
- Energía Eólica.
- Energía Mareomotriz.
- Energía Biomasa.
- Energía Geotérmica.
- Microturbinas de Combustibles.
- Celdas de Combustibles.

Energía Solar

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 radiación es la cantidad de energía solar que recibe un área determinada durante un período de tiempo dado. Se mide en kilowatt por metro cuadrado (kW/m^2). Si se tiene en cuenta el tiempo que se expone la superficie al sol, entonces se habla de energía solar recibida por la superficie [1].

Debido a la rotación de la tierra, la intensidad de la radiación, o irradiación como también es llamada, es máxima hacia el mediodía y disminuye hacia los amaneceres y atardeceres. La irradiación llega a la superficie de la tierra de tres formas [2]:

- *Directa*: compuesta por rayos paralelos que vienen directamente del sol.
- *Difusa*: compuesta por rayos dispersos, no paralelos. Hace que el cielo se vea azul en días despejados y gris en días brumosos.
- *Reflejada*: llega desde las superficies adyacentes, o desde el suelo. Depende mucho de la forma y textura de los alrededores.

En términos de energía solar se habla de radiación solar global, que es la energía recibida sobre una superficie horizontal, determinada mediante la integración de radiación directa durante un periodo determinado y se mide en kWh/m^2. 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 máximo sol* (hms) se define como el número equivalente de horas diarias en que la irradiación solar alcanza un promedio de 1000 W/m^2 [1]. Usualmente las estaciones meteorológicas toman datos de la radiación solar global, por lo que el número de horas de máximo sol, se persigue por medio de:

$$\text{Radiación Solar Global}\,(kWh/m^2/\text{día}) = \text{Radiación Solar}(kW/m^2) * \text{hms}(h) \qquad (1)$$

donde:

hms: horas de máximo sol (h)

Fuentes de Información

En Venezuela, el recurso solar se puede apreciar en la mayoría del territorio nacional, pero la evaluación preliminar de la energía solar se realiza a partir de dos fuentes específicas de información: *Servicio de Meteorología de la Fuerza de Aviación Venezolana*, institución militar, que provee información y alertas climatológicas en soporte a las actividades de la Fuerza Armada Venezolana y otras organizaciones que requieran esta información. Para colectar, resumir, procesar y hacer pronósticos el *Servicio de*

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

Meteorología de la Fuerza de Aviación Venezolana [29], posee una red de estaciones climatológicas ubicadas principalmente en aeropuertos y bases militares.

Figura 1. Ubicación de la Red de Estaciones Meteorológicas de la Fuerza Aérea Venezolana [3]

Y la *NASA Earth Science Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) esta formulado por satélite de la NASA y derivados de análisis de datos meteorológicos para el periodo de diez años desde Julio de 1983 hasta Junio de 1993. Los datos obtenidos de éste sistema de información es proveído para una cuadricula cuyas celdas son de 1° de latitud y 1° de longitud sobre todo el globo terráqueo. Mediciones promedio diarias, mensuales de 1195 sitios de medición en tierra del *World Radiation Data Center* están disponibles [4].

Radiación Solar en Venezuela

La irradiación solar tiene un promedio en Venezuela aproximadamente de 800W/m^2 [4], por lo que la radiación solar global es dependiente del número de horas de irradiación. Esto quiere decir, que mientras mayor sea el número de horas que se disponga de irradiación solar al día, mayor será la cantidad de energía que se obtenga [1].

La mayoría de los países que utilizan esta tecnología, lo aplican en lugares donde la radiación solar sea elevada, con el fin de aprovechar la mayor cantidad de horas de máximo sol. En Venezuela, la mayoría del territorio venezolano tiene durante el año valores de radiación solar aprovechables (entre 4 y 5kWh/m^2/día) para la producción de electricidad debido a la cercanía que se tiene con el Ecuador y por ello los rayos solares inciden más a los países cercanos a éste [5].

En la siguiente Figura se tiene cada uno de los estados de Venezuela presentando la irradiación solar correspondiente a cada entidad.

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

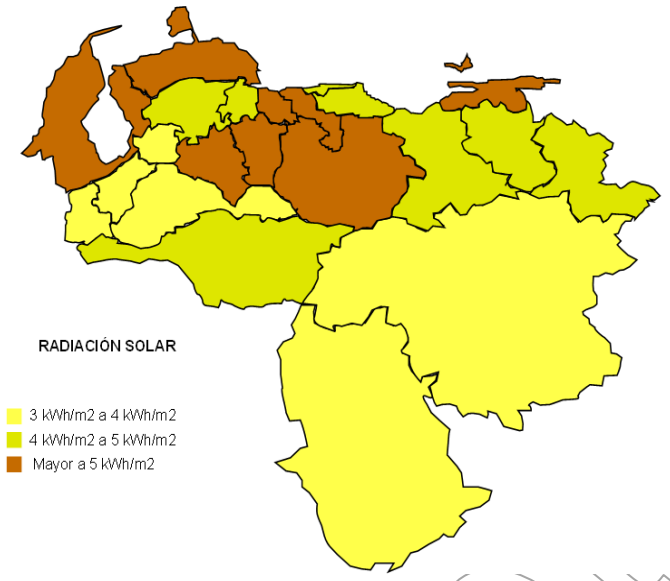


Figura 2. Radiación Solar Disponible en Venezuela [4]

De la Figura 2 se puede notar que en Venezuela, las entidades que tienen la menor radiación solar, entre 3 y 4 kWh/m^2/día, son los estados andinos como Táchira, Mérida y Trujillo así como también los estados ubicados en la parte sur del país como Bolívar y Amazonas, debido a la relieve y selva amazónica a la cual están rodeados impide una mayor incidencia de los rayos solares. Los estados como Anzoátegui, Delta Amacuro, Lara, Miranda, Monagas y Yaracuy poseen una radiación solar comprendida entre 4 y 5 kWh/m^2/día. Finalmente los estados costeros ubicados al norte del país, específicamente Aragua, Carabobo, Falcón, Nueva Esparta, Sucre y Zulia así como los estados llaneros como Cojedes, Guárico y Portuguesa, presentan los mayores valores de radiación solar, ubicándose por encima de 5kWh/m^2/día [4].

Energía Solar Térmica

Consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor, por lo que es dependiente de la radiación solar, que como se explico anteriormente existe el suficiente recurso en Venezuela para aprovecharlo en la producción de electricidad. Existen técnicas diferentes entre sí en función de la temperatura que puede alcanzar cierta superficie captadora. De esta manera, se puede clasificar como baja temperatura y alta temperatura.

La de baja temperatura es por captación directa y la temperatura del fluido calentado no sobrepasa el punto de ebullición (100ºC), por lo que puede ser aprovechada para el calentamiento directo de las piscinas, calefacción (no en Venezuela), agua caliente sanitaria, entre otros.

La de alta temperatura es donde se capta el mayor índice de concentración, la temperatura del fluido supera los 300ºC y la radiación solar debe ser mayor a los 4.5kWh/m^2/día para la producción de electricidad, caso que en Venezuela existe el potencial suficiente para la implementación de este recurso. Estados como Apure, Anzoátegui, Lara, Aragua, Carabobo, Cojedes, Falcón, Guárico, Nueva Esparta, Portuguesa, Sucre, y Zulia son susceptibles para este tipo de aplicación [6].

Existen tres diseños de plantas solares de generación de potencia:

- *Colectores solares parabólicos*: estos emplean espejos curvados para enfocar la luz en un tubo lleno con aceite u otro fluido. El fluido utilizado asciende los 400ºC y se usa para calentar agua y producir vapor, el cual es usado para generar electricidad. Entre las plantas implementadas se puede mencionar, la Plataforma Solar de Almería de 1.2 MW en España, y en Nevada, EEUU una planta de 150MW [7].

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

- *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 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, dependiendo del tamaño de la planta. Adicionalmente la energía térmica ganada puede ser usada para calentar agua o sal fundida, y esta agua calentada puede producir vapor, el cual es usado para mover un conjunto de turbinas. Actualmente esta tecnología está en fase de demostración, algunas plantas experimentando esta tecnologías se encuentran en EEUU (Dagget, California de 10MW) [8] y España (Plataforma Solar de Almería, en el desierto de Tabernas de 7MW) [7].

- *Concentradores de discos/platos*: es una combinación de disco satélite, una tecnología de una torre de potencia y un motor Stirling (motor térmico que hace un trabajo hecho por la expansión y contracción de un gas (normalmente helio, hidrógeno o simplemente aire) donde es necesaria la presencia de una diferencia de temperaturas entre dos focos). Usa un disco parabólico para concentrar la energía solar en el punto focal. Un receptor en el punto focal convierte la energía de los rayos solares en calor, donde esta ganancia de calor es mayor a 750 ºC y es usado para mover un motor *Stirling* que genera electricidad. Una de las pocas plataformas se encuentra en la Plataforma Solar de Almería, España con una capacidad instalada de 60 kW ya que esta tecnología se encuentra en fase de demostración [7].

Tabla 1. Comparación entre las Tecnologías Solares Térmicas [9]

Características	***Colectores Solares Parabólicos***	***Torres Solares***	***Concentradores de Discos***
Tamaño	1-80 MW	1-10MW	2-10kW
Temperatura (ºC)	>400	550-1500	>750
Factor de Concentración de Radiación Solar	30 y 80 veces	200 y 1000 veces	1000 y 4000 veces
Eficiencia (%)	20	23	30
Grado de Desarrollo	Comercial	Demostración en gran escala	Demostración de prototipos

De la Tabla 1 es importante considerar que las tecnologías de torres solares y concentradores de discos, aún se encuentran en fase de demostración, a pesar de poseer buenas eficiencias (23 y 30%) así como altos factores de concentración (entre 200 y 4000 veces) y altas temperaturas (550 y 1500ºC). Esta investigación tiene dentro de sus alcances dar a conocer los equipos que componen cada tecnología junto con los costos que poseen estos por su comercialización, pero como se mencionó que aun las mencionadas tecnologías térmicas (torres solares y concentradores de discos) están en fase de investigación no será posible incluirlas como estudio de aplicación en Venezuela.

Por otra parte, la tecnología que si se encuentra comercializada, colectores solares parabólicos, tiene tamaños que sólo son compatibles en gran escala (>1MW) debido a que posee el menor rendimiento (20%) en comparación con las otras tecnologías solares térmicas mencionadas en la Tabla 1, así como también el menor índice de concentración de la radiación solar (30 y 80 veces), por lo que requiere aproximadamente 300 colectores parabólicos que ocupan grandes extensiones de terreno, para que puedan generar suficiente vapor que mueva una turbina y así producir una potencia de 1MW. A pesar que en Venezuela se tiene el suficiente potencial solar para implementar esta tecnología (4.5kWh/m^2/día) así como inmensas extensiones de terreno, la presente investigación comprende escalas muy inferiores de 1MW debido a que se planea aplicar en instalaciones a nivel residencial, comercial e industrial, lo cual en su máxima expresión pudiese ser 100kW, por lo que no será de estudio.

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

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser colocados en todos los lugares donde exista suficiente energía solar. El principio de operación se basa en una incidencia mínima de radiación solar de 5kWh/m^2/día [6] para que pueda ser aprovechada en la producción de electricidad por medio de los módulos fotovoltaicos. Como se describió anteriormente, en Venezuela existe el suficiente potencial solar, los estados que superan la radiación mínima (>5kWh/m^2/día) son: Aragua, Carabobo, Cojedes, Falcón, Guárico, Nueva Esparta, Portuguesa, Sucre y Zulia.

Estado Aragua

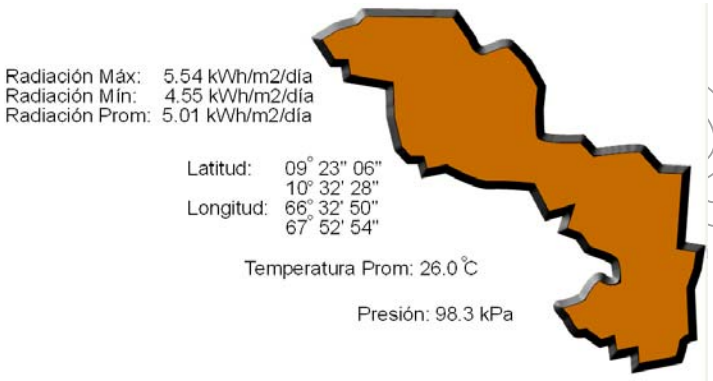


Figura 3. Mapa Político del Estado Aragua

Tabla 2. Variación de la Radiación Solar Mensual (kWh/m^2/día) y Promedio de Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.37	5.60	5.96	5.58	5.33	5.36	5.67	5.79	5.75	5.30	4.91	4.92	5.46
Cantidad de días nublados al mes	3.63	3.24	3.87	2.44	4.32	4.46	4.63	4.16	3.80	3.98	3.46	3.56	3.87

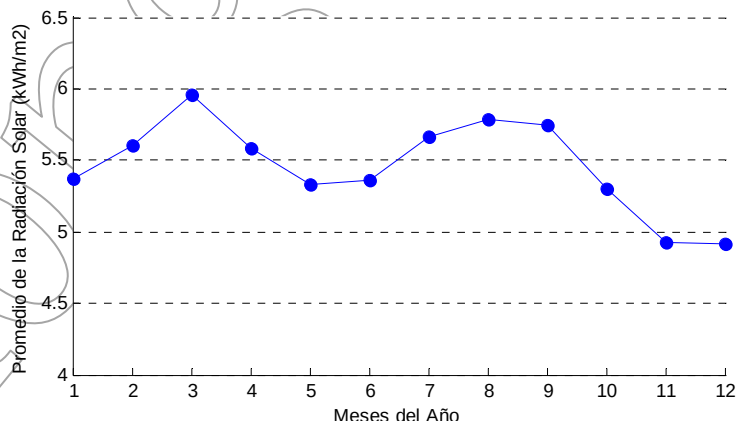


Figura 4. Radiación Solar Mensual en Aragua (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 4, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 5.96 kWh/m^2/día en el mes de Marzo. El periodo con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) pero el menor valor se puede encontrar en el mes de noviembre, siendo este de 4.91 kWh/m^2/día. El promedio anual de la

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

radiación solar es de 5.46 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/día.

Estado Carabobo

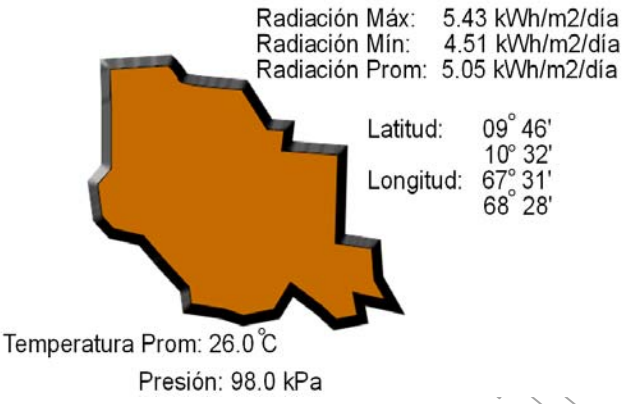


Figura 5. Mapa Político del Estado Carabobo

Tabla 3. Variación de la Radiación Solar Mensual (kWh/m^2/día) y Promedio de Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	4.86	5.09	5.43	5.03	4.90	5.03	5.24	5.50	5.43	4.97	4.63	4.51	5.05
Cantidad de días nublados al mes	3.31	2.47	3.51	2.74	3.47	4.04	4.19	3.38	3.58	3.11	2.87	3.70	3.37

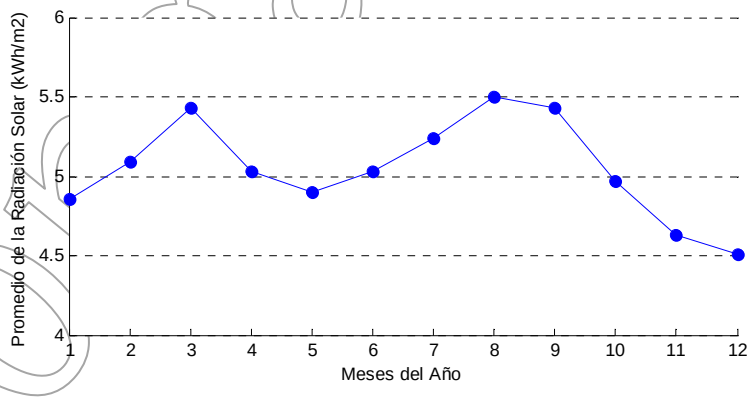


Figura 6. Radiación Solar Mensual en Carabobo (kWh/m^2/día) [NASA]

De la Figura 6, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 5.43 kWh/m^2/día en el mes de Marzo. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) pero el menor valor encontrado ha sido en el mes de diciembre, siendo este de 4.51 kWh/m^2/día. El promedio anual de la radiación solar es de 5.05 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Cojedes

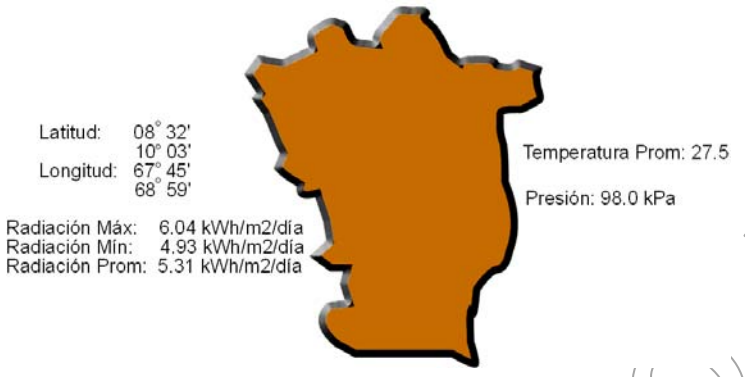


Figura 7. Mapa Político del Estado Cojedes

Tabla 4. Variación de la Radiación Solar Mensual (kWh/m^2/día) y Promedio de Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.39	5.75	6.04	5.57	5.11	4.93	5.01	5.18	5.34	5.27	5.09	5.07	5.31
Cantidad de días nublados al mes	2.81	3.99	4.62	4.25	5.88	4.89	4.39	3.05	2.19	2.29	3.00	3.54	3.74

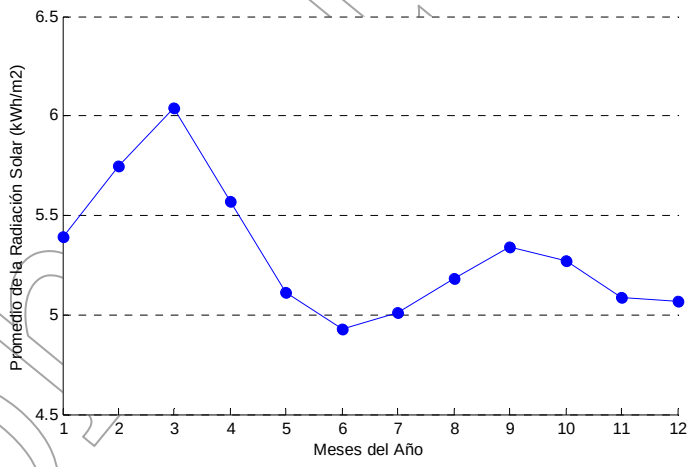


Figura 8. Radiación Solar Mensual en Cojedes (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 8, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 6.04 kWh/m^2/día en el mes de Marzo. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) siendo de 4.93 kWh/m^2/día específicamente en el mes de junio. El promedio anual de la radiación solar es de 5.31 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Falcón

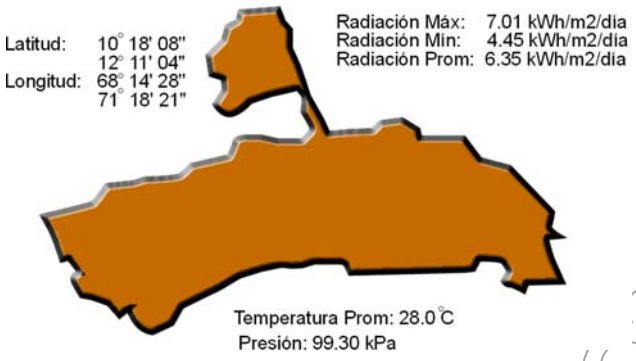


Figura 9. Mapa Político del Estado Falcón

Tabla 5. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.91	6.46	6.93	6.61	6.37	6.53	6.85	7.01	6.56	5.96	5.66	5.45	6.35
Cantidad de días nublados al mes	2.51	1.95	2.01	2.67	2.43	3.07	3.85	3.06	2.01	4.62	3.23	5.51	3.08

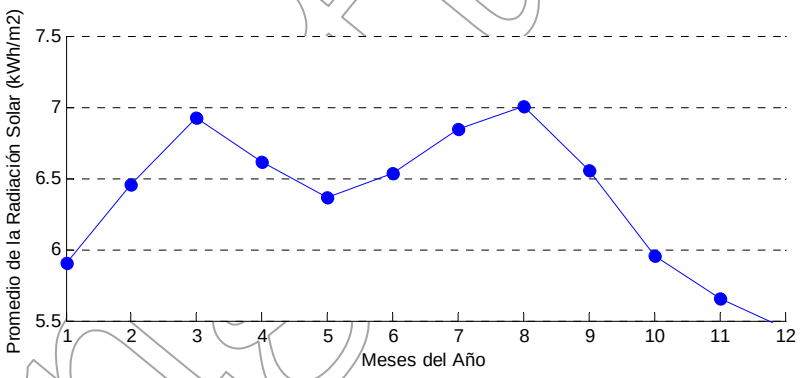


Figura 10. Radiación Solar Mensual en Falcón (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 10, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela así como también el mes de agosto, teniendo un máximo valor de 7.01 kWh/m^2/día en el mes de Agosto. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) siendo de 4.45 kWh/m^2/día específicamente en el mes de diciembre. El promedio anual de la radiación solar es de 6.35 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Guárico

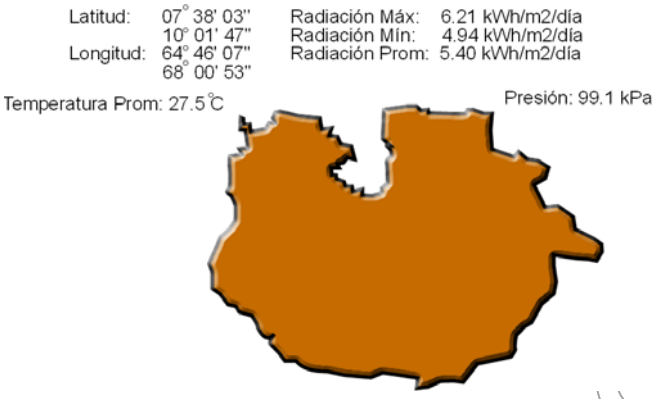


Figura 11. Mapa Político del Estado Guárico

Tabla 6. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.44	5.91	6.21	5.84	5.21	4.94	4.99	5.17	5.41	5.44	5.22	5.16	5.40
Cantidad de días nublados al mes	3.41	2.84	3.59	2.36	5.17	3.79	3.54	3.65	2.66	2.45	2.29	2.70	3.41

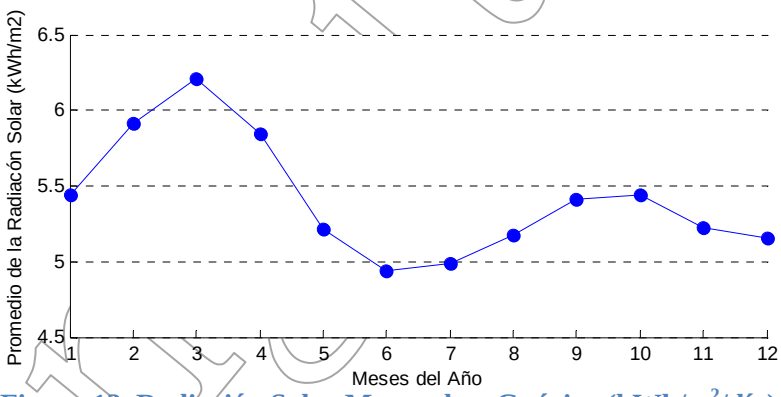


Figura 12. Radiación Solar Mensual en Guárico (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 12, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 6.21 kWh/m^2/día en el mes de Marzo. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) siendo de 4.94 kWh/m^2/día específicamente en el mes de junio. El promedio anual de la radiación solar es de 5.40 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Nueva Esparta

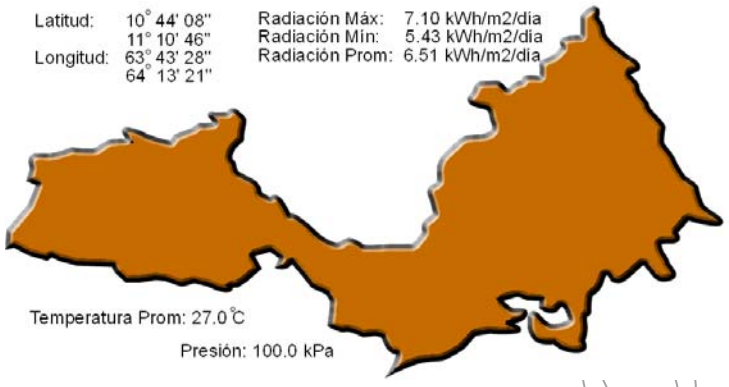


Figura 13. Mapa Político del Estado Nueva Esparta

Tabla 7. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.76	6.46	7.10	7.30	7.00	6.64	6.74	6.90	6.85	6.33	5.66	5.43	6.51
Cantidad de días nublados al mes	2.51	1.95	2.01	2.67	2.43	3.07	3.85	3.06	2.01	4.62	3.23	5.51	3.08

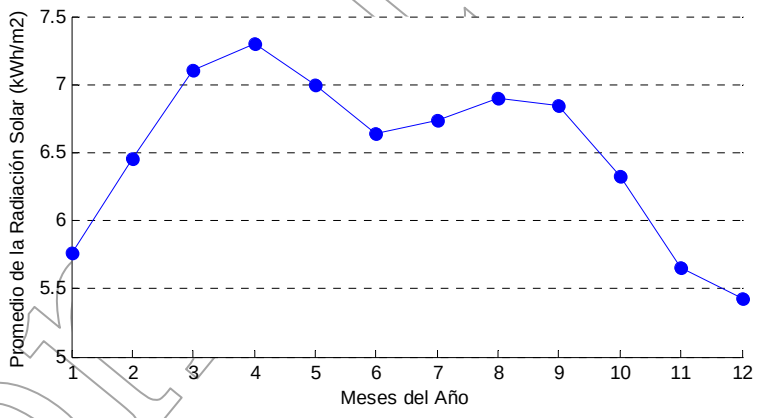


Figura 14. Radiación Solar Mensual en Nueva Esparta (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 14, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden febrero y mayo ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 7.10 kWh/m^2/día en el mes de Abril. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) a pesar que el valor mínimo encontrado es en el mes de diciembre siendo este de 5.43 kWh/m^2/día. El promedio anual de la radiación solar es de 6.51 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Portuguesa

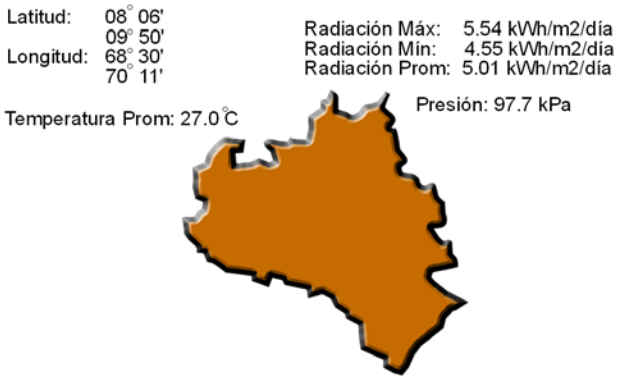


Figura 15. Mapa Político del Estado Portuguesa

Tabla 8. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.29	5.50	5.64	5.05	4.68	4.55	4.80	4.97	5.12	4.95	4.80	4.87	5.01
Cantidad de días nublados al mes	2.93	3.98	3.55	3.03	5.36	5.15	5.83	2.99	3.10	2.50	4.17	3.56	3.85

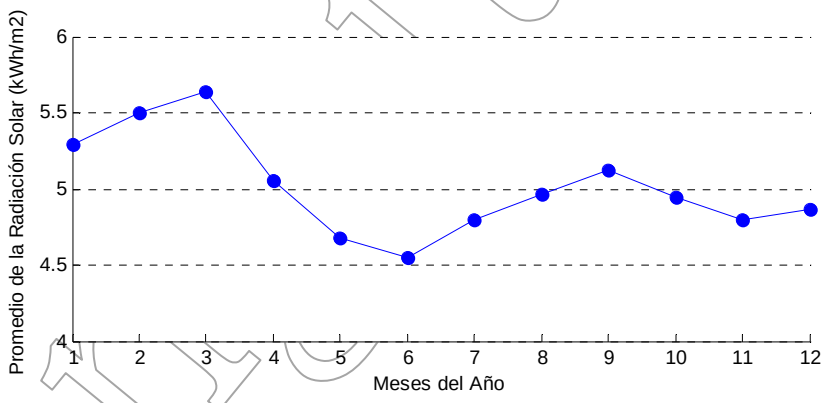


Figura 16. Radiación Solar Mensual en Nueva Esparta (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 16 se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 5.54 kWh/m^2/día en el mes de Marzo. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) siendo de 4.55 kWh/m^2/día específicamente en el mes de junio. El promedio anual de la radiación solar es de 5.01 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Sucre

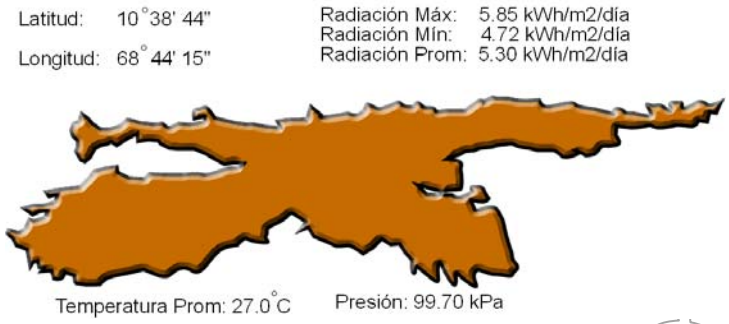


Figura 17. Mapa Político del Estado Sucre

Tabla 9. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.21	5.51	5.85	5.79	5.41	5.17	5.35	5.48	5.38	5.01	4.72	4.80	5.30
Cantidad de días nublados al mes	2.51	1.95	2.01	2.67	2.43	3.07	3.85	3.06	2.01	4.62	3.23	5.51	3.08

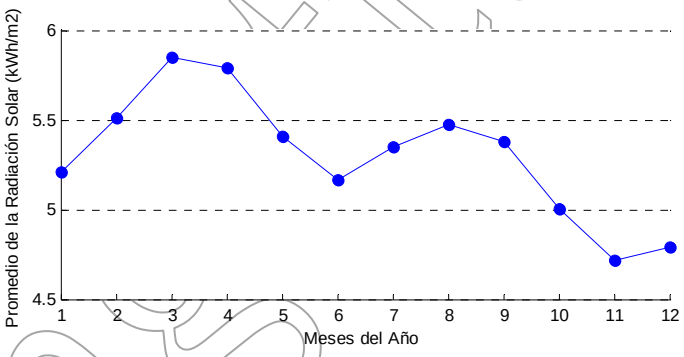


Figura 18. Radiación Solar Mensual en Sucre (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 18, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela, teniendo un máximo valor de 5.85 kWh/m^2/día en el mes de Marzo. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio), a pesar de esto, se consigue el mínimo valor en el mes de noviembre de 4.72 kWh/m^2/día. El promedio anual de la radiación solar es de 5.30 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Estado Zulia

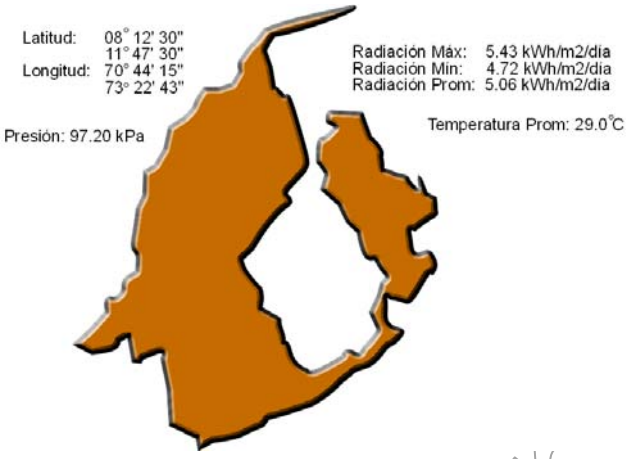


Figura 19. Mapa Político del Estado Zulia

Tabla 10. Variación de la Radiación Solar Anual (kWh/m^2/día) y Promedio Días Nublados/Mes

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Solar (kWh/m^2/día)	5.12	5.20	5.43	5.01	4.84	5.21	5.43	5.27	5.00	4.76	4.72	4.80	5.06
Cantidad de días nublados al mes	3.20	3.39	3.93	2.68	2.55	4.72	3.28	3.76	1.86	4.15	3.05	2.57	3.26

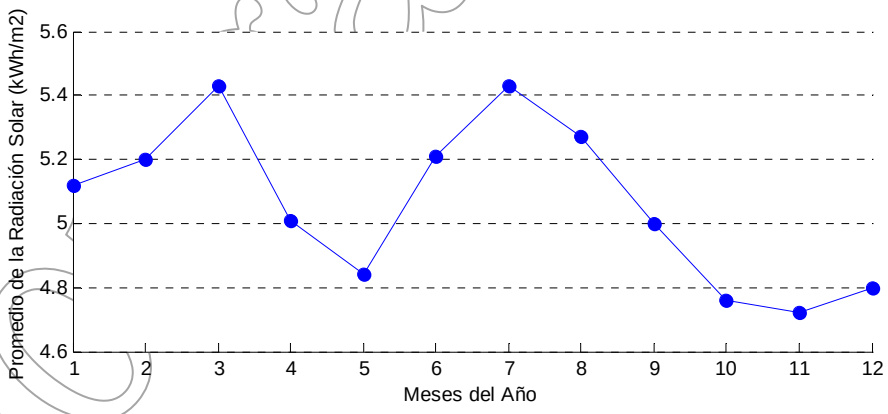


Figura 20. Radiación Solar Mensual en Zulia (kWh/m^2/día) [4]

De la Figura 20, se puede observar que los meses con mayor radiación solar corresponden a los primeros meses de año (enero y abril) ya que esta época pertenece a la estación seca o de verano de Venezuela así como también en los meses de julio y agosto, teniendo un máximo valor de 5.43 kWh/m^2/día en el mes de marzo y julio. El período con menor radiación solar corresponde a los meses cuando empieza la estación lluviosa (mayo-junio) a pesar que el menor valor encontrado se ubica en el mes de noviembre, siendo éste de 4.72 kWh/m^2/día. El promedio anual de la radiación solar es de 5.06 kWh/m^2/día, favorable al momento de implementar proyectos del tipo fotovoltaico ya que la mayoría de los meses poseen más de 5 kWh/m^2/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

Zonas Susceptibles Apropiadas para la Implementación de la Energía Solar

La energía solar puede aprovecharse para la producción de electricidad por medio de la energía solar térmica y la solar fotovoltaica.

Para la energía solar térmica es necesario ciertas características para que se pueda producir energía eléctrica, las principales son: radiación solar superior a 4.5 kWh/m^2/día y que la temperatura del fluido que se desea calentar supere los 300 °C.

En Venezuela existe el suficiente potencial para implementar esta tecnología, a pesar de que algunos diseños están en fase de investigación (torres solares y concentradores de discos). El prototipo que se encuentra comercializado son los cilindros parabólicos y esta especialmente diseñado para escalas mayores a 1MW debido a que presenta baja eficiencia (20%) y poco factor de concentración (80 y 100 veces), en comparación con los otros dos diseños.

Esta investigación hace su estudio para aplicaciones en niveles residenciales, comerciales e industriales, es decir, con potencias inferiores a 100kW, por lo que esta tecnología no es factible incluirla en este tipo de investigación sino en aquellos que requieran producir electricidad en gran escala (superior a 1MW).

En el caso de la energía solar fotovoltaica, requiere radiaciones solares superior a los 5 kWh/m^2/día, para que los paneles fotovoltaicos absorban dicha energía y la transforme en energía eléctrica, a pesar del bajo rendimiento que estos poseen (10 y 20 %).

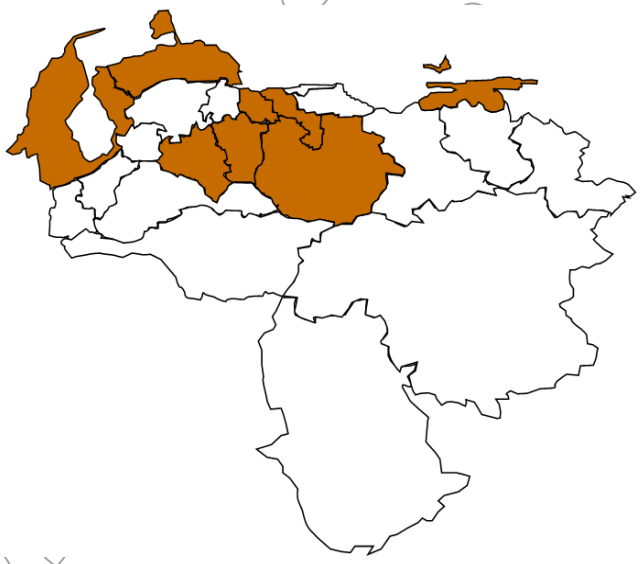


Figura 21. Zonas Susceptibles para Aplicación Solar Fotovoltaica en Venezuela

Como se puede observar en la Figura 21, las zonas con el requerimiento mínimo de 5 kWh/m^2/día se encuentran las regiones costeras, tales como Aragua, Carabobo, Cojedes, Falcón, Nueva Esparta, Sucre y Zulia y algunas regiones llaneras como Guárico y Portuguesa para la implementación de energía solar fotovoltaica.

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

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad.

La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas dependiendo de la altitud y de la topografía [10].

La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares [10].

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 aerogenerador, que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica, y por medio de un generador eléctrico se transforma en electricidad.

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 [11].

Para que un aerogenerador empiece a funcionar y entregar energía, se necesita una velocidad entre 3 y 5 m/s, por lo que depende del tipo y capacidad del aerogenerador; para que funcione apropiadamente debe existir una mínima velocidad media anual entre 6 y 7 m/s en la zona a instalar [10]. Al producirse velocidades mayores a 25 m/s, los aerogeneradores usualmente están controlados para que se detengan por razones de seguridad y protección del mismo.

Fuentes de Información

En Venezuela, el recurso eólico se puede apreciar en la mayoría del territorio nacional, pero la evaluación preliminar de la energía del viento se realiza a partir de dos fuentes específicas de información: Servicio de Meteorología de la Fuerza de Aviación Venezolana, institución militar, que provee información y alertas climatológicas en soporte a las actividades de la Fuerza Armada Venezolana y otras organizaciones que requieran esta información. Para colectar, resumir, procesar y hacer pronósticos el *Servicio de Meteorología de la Fuerza de Aviación Venezolana* [29], posee una red de estaciones climatológicas ubicadas principalmente en aeropuertos y bases militares.

Figura 22. Ubicación de la Red de Estaciones Meteorológicas de la Fuerza Aérea Venezolana [3]

Y la *NASA Earth Science Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) esta formulado por satélite de la NASA y derivados de análisis de datos meteorológicos para el periodo de diez años desde Julio de 1983 hasta Junio de 1993. Los datos obtenidos de éste sistema de información es proveído para una cuadricula cuyas celdas son de 1° de latitud y 1° de longitud sobre todo el globo terráqueo. Mediciones promedio

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

diarias, mensuales de 1195 sitios de medición en tierra del *World Radiation Data Center* [4] están también disponibles.

Ley Exponencial de Hellmann

La velocidad del viento varía con la altura, siguiendo aproximadamente una ecuación de tipo estadístico, conocida como *Ley exponencial de Hellmann*. Esta ley reconocida por la *Norma IEC 61400-1* (requerimientos de diseño) permite realizar extrapolaciones del viento a las alturas establecidas del diseño, lo cual permite obtener un mejor rendimiento del aerogenerador [10]. Dicha ecuación viene dada mediante la expresión:

$$V = V_0 \times \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\alpha} \qquad (2)$$

donde:

V: Velocidad del viento, a la altura h respecto al suelo.
V_0: Velocidad del viento conocida a una altura h_0.
h : Altura a la que se desea estimar la velocidad del viento.
h_0: Altura de referencia.
α : Valores de la exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno.

El coeficiente α es un parámetro que depende de la topografía del terreno y de las condiciones meteorológicas y se conoce como el coeficiente de rugosidad. Los valores que puede obtener α varían dependiendo del tipo de terreno, como se observa en la Tabla 11.

Tabla 11. Estimación del valor de α para distintos terrenos [10]

Tipo de Terreno	Valores de α
Liso (Mar, Arena y Nieve)	0.3 – 0-13
Moderadamente Rugoso (Hierba, Campos de Cereales y Regiones Rurales)	0.13 – 0.20
Rugoso (Bosques y Barrios)	0.20 – 0.27
Muy Rugoso (Ciudades y Altos Edificios)	0.27 – 0.40

La explotación vertical de la velocidad del viento esta basada en la Ley de 1/7 de Potencia donde refiere que el valor de α se toma como 0.14 [3].

Con la *Ley Exponencial de Hellmann*, en la siguiente tabla se muestra los valores que tiene la velocidad a diferentes alturas.

Tabla 12. Velocidad del Viento a Diferentes Alturas [3]

Velocidad @ 10 metros de altura (m/s)	Velocidad @ 30 metros de altura (m/s)	Velocidad @ 50 metros de altura (m/s)
<4.4	<5.1	<5.5
4.4-5.1	5.1-5.9	5.5-6.4
5.1-5.6	5.9-6.5	6.4-7.0
5.6-6.0	6.5-7.0	7.0-7.5
6.0-6.4	7.0-7.5	7.5-8.0
6.4-7.0	7.5-8.2	8.0-8.8
>7.0	>8.2	>8.8

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

La variación de la velocidad con respecto a la altura es importante, debido a que a medida que aumenta la altura, el viento también lo hace. Este efecto se debe a que la superficie terrestre ejerce una fuerza de rozamiento que se opone al movimiento del aire y cuyo efecto se refleja en una desaceleración del flujo del aire. Este efecto disminuye a medida que se aleja de la superficie del suelo y de los obstáculos que se encuentren en este [3].

Como es conocido la evaluación del recurso eólico es un elemento crítico en la estimación del desempeño de la turbina de viento en un sitio dado. La clase de la densidad de potencia es un buen indicador para el uso adecuado del recurso eólico.

Tabla 13. Clases de Densidad de Potencia del Viento a 10 y 50 m de Altura [12]

Clases de Densidad de Potencia	*10 m de altura*		*50 m de altura*	
	Densidad de Potencia del Viento (W/m^2)	*Velocidad (m/s)*	*Densidad de Potencia del Viento (W/m^2)*	*Velocidad (m/s)*
1	<100	<4.4	<200	<5.6
2	100-150	4.4-5.1	200-300	5.6-6.4
3	150-200	5.1-5.6	300-400	6.4-7.0
4	200-250	5.6-6.0	400-500	7.0-7.5
5	250-300	6.0-6.4	500-600	7.5-8.0
6	300-400	6.4-7.0	600-800	8.0-8.8
7	>400	>7.0	>800	>8.8

En base a las fuentes de información mencionadas, estas suministraron el potencial del recurso eólico disponible en cada estado venezolano, con mediciones realizadas a 10 metros de altura, como se detalla en la Figura 23.

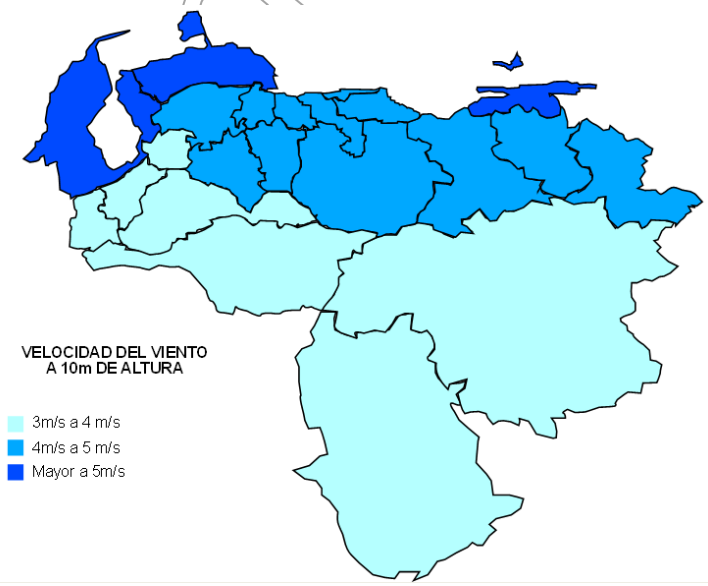


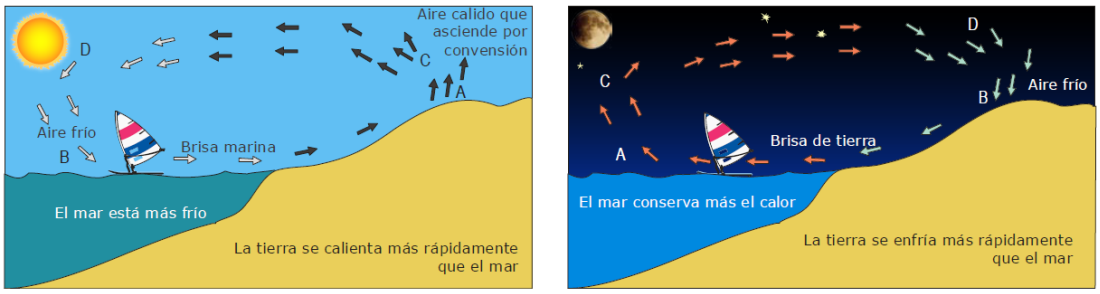
Figura 23. Potencial Eólico Presente en los Estados Venezolanos, @ 10 metros de altura [4]

Como se puede observar en la Figura 23, los estados que encuentran ubicados al sur de Venezuela como Amazonas, Apure, Barinas, Bolívar, Mérida, Táchira y Trujillo corresponden a los estados que tienen las velocidades de viento mas baja, entre 3 y 4 m/s @ 10m de altura; por otra parte los estados ubicados a lo largo de la costa venezolana como Anzoátegui, Aragua, Carabobo, Distrito Capital, Miranda y Vargas así

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

como también algunos estados llaneros como Cojedes, Guárico, Monagas, Portuguesa y Yaracuy poseen vientos con velocidades entre 4 y 5 m/s @ 10 m de altura. Finalmente los estados con mayor potencial eólico son los estados costeros ubicados más al norte de Venezuela, como Falcón, Nueva Esparta, Sucre y Zulia con velocidades de viento superiores a los 5 m/s @ 10 m.

Como se ha demostrado anteriormente, en Venezuela, es común encontrarse valores de velocidad altos (mayores a 5 m/s) en los estados costeros del país, específicamente en Falcón, Nueva Esparta, Sucre y Zulia, considerando las brisas marinas, que se originan como consecuencia de los distintos calores específicos, y la diferente velocidad de calentamiento y enfriamiento del mar y la tierra. Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que el mar, haciendo que el viento sople del mar a la tierra (mediodía y tarde). Por la noche y el amanecer el viento sopla hacia el mar, ya que la tierra se enfría más rápidamente que el mar [13].



a) **b)**

Figura 24. Brisa marina a) mediodía y tarde, b) noche y amanecer [13]

En consideración con lo anterior, se seleccionan los estados que presentan mayor cantidad de potencial eólico, como son los estados costeros y se toman en consideración aquellos estados cuyos valores promedios sean diagnosticados con una clase de densidad de potencia 3 según la Tabla 2, es decir, con valores superiores a los 5.1 m/s @ 10m de altura, ya que con alturas mayores la velocidad aumenta en dicho lugar de acuerdo a la *Ley Exponencial de Hellmann* y será factible para la instalar aerogeneradores y producir energía eléctrica [10].

Tabla 14. Valores Máximos y Mínimos de la Velocidad del Viento Ubicados en Estados con Mayor Potencial Eólico

Estado	***Velocidad del Viento @ 10 m de altura***	
	Mínima	***Máxima***
Falcón	5.51	7.92
Nueva Esparta	4.57	7.892
Sucre	1.458	7.438
Zulia	3.251	6.427

Observándose en la Tabla 14 que en dichos estados se encuentran los valores de mayor potencial eólico en comparación con el resto de los estados venezolanos. En el caso del estado Sucre, donde la velocidad máxima resulta un viento con clase de densidad de potencia 7, formidable para la aplicación de una turbina eólica, pero al observar el valor mínimo se puede notar que representa un viento de velocidad muy baja (1.458 m/s), lo que implica que en ciertos momentos del día quizás la velocidad del viento no sea suficiente para movilizar una turbina eólica, dado que la velocidad mínima de arranque de una turbina eólica se encuentra normalizado entre 3 y 5 m/s [14].

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

Estados como Falcón, Nueva Esparta y Sucre, presentan valores máximos y mínimos cercanos, haciendo que la velocidad del viento permanezca prácticamente constante y moderada con el transcurrir de los meses, favoreciendo a la generación de energía eléctrica por medio de aerogeneradores.

Estado Falcón

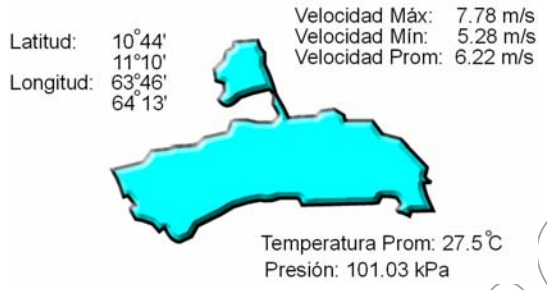


Figura 25. Mapa Político del Estado Falcón

Tabla 15. Promedio de la Velocidad Mensual del Viento en el Estado Falcón en m/s [4]

Estado Falcón												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
7.92	7.65	7.48	6.07	6.14	5.93	6.31	6.05	5.5	5.12	5.95	5.98	6.34

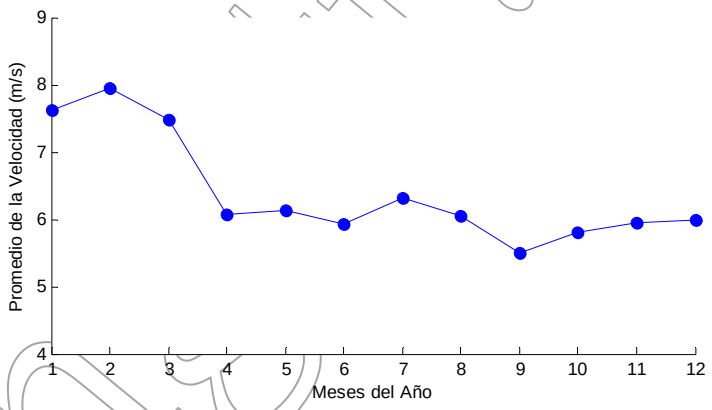


Figura 26. Variación de la Velocidad Mensual del Viento en Falcón

De la Figura 26, se presenta un valor mínimo en la velocidad del viento para el mes de septiembre, presentando un valor mínimo de 5.5 m/s @ 10 m de altura, mientras que el valor más alto registrado ha sido de 7.9 m/s @ 10 metros de altura durante el mes de febrero, estos valores tomados en un promedio de 30 años por parte del sistema de recolección de datos de la NASA, específicamente *Earth Science Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) [4].

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

Estado Nueva Esparta

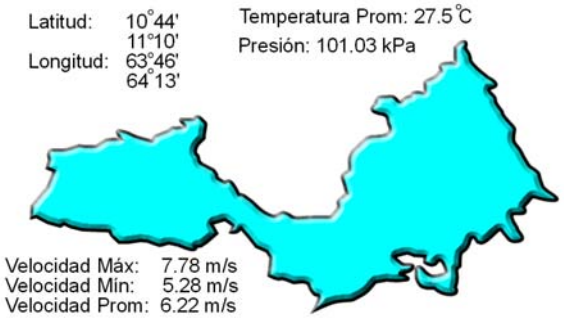


Figura 27. Mapa Político del Estado Nueva Esparta

Tabla 16. Velocidad Mensual del Viento en Nueva Esparta en m/s [4]

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
7.34	7.78	7.63	5.95	6.04	6.31	6.44	5.86	5.75	5.35	5.28	5.67	6.22

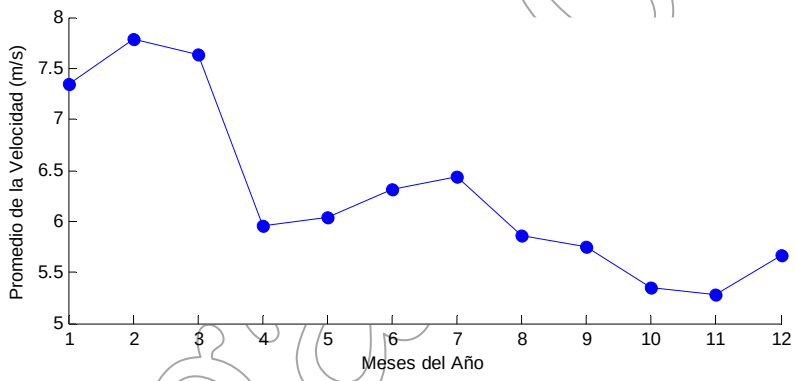


Figura 28. Variación de la Velocidad Mensual del Viento en Nueva Esparta en m/s [4]

Observándose la Figura 28, presenta un valor mínimo en la velocidad del viento para el mes de noviembre, presentando un valor mínimo de 5.28 m/s @ 10 m de altura, mientras que el valor más alto registrado ha sido de 7.78 m/s @ 10 metros de altura durante el mes de febrero, estos valores tomados en un promedio de 30 años por parte del sistema de recolección de datos de la NASA, específicamente *Earth Science Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) [4]

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

Estado Zulia

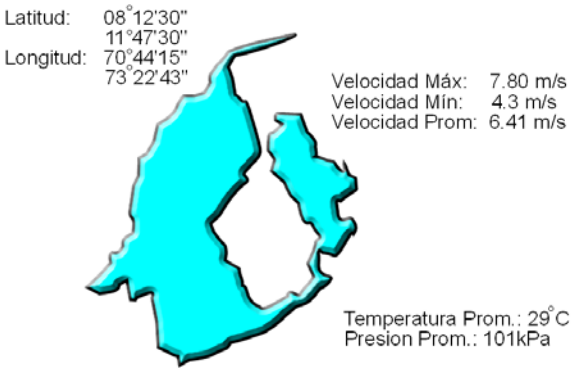


Figura 29. Mapa Político del Estado Zulia [6]

Tabla 17. Velocidad Mensual del Viento en Zulia en m/s [5]

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
7.51	7.28	7.03	6.95	6.68	6.82	6.31	5.95	6.25	5.45	5.78	5.97	6.41

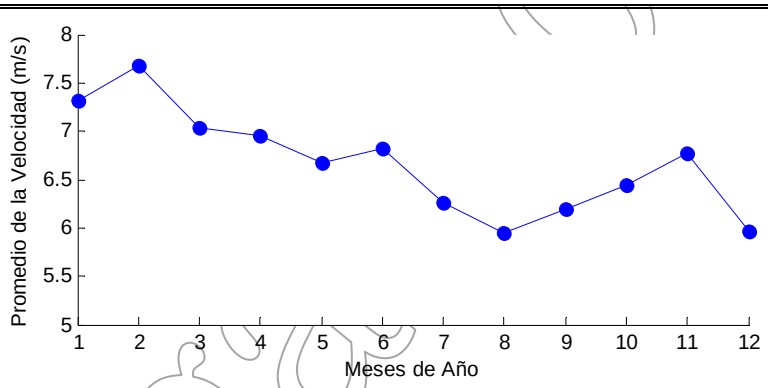


Figura 30. Variación de la Velocidad Mensual del Viento en Zulia [4]

De la Figura 30 se puede notar que presenta un valor mínimo en la velocidad del viento para el mes de agosto, presentando un valor mínimo de 5.95 m/s @ 10 m de altura, mientras que el valor más alto registrado ha sido de 7.78 m/s @ 10 metros de altura durante el mes de febrero, estos valores tomados en un promedio de 30 años por parte del sistema de recolección de datos de la NASA, específicamente *Earth Science Surface meteorology and Solar Energy* (SSE) [4]. Es importante recalcar, que los valores mencionados no son del estado Zulia completo, ya que las velocidades en la zona sur son muy bajas (menos de 4 m/s @ 10 m de altura), por lo que se consideró en este caso la parte norte del estado como tal.

Recurso Eólico en Venezuela

En términos generales, se tienen tres estados venezolanos que son susceptibles para la implementación de proyectos eólicos ya que poseen velocidades superiores a los 5 m/s @ 10 m de altura, estos son Falcón, Nueva Esparta y Zulia, que corresponden a los estados costeros de Venezuela.

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

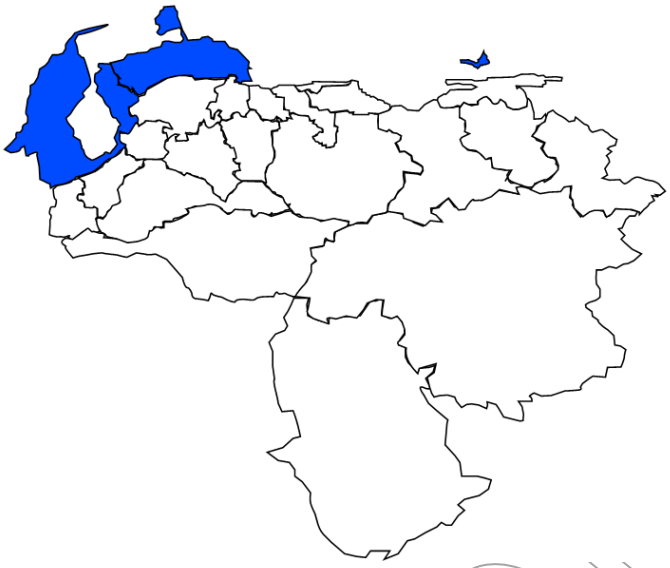


Figura 31. Zonas Susceptibles para Aplicación de Energía Eólica en Venezuela

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 Mareomotriz

Fuente de Información

En Venezuela, el recurso proveniente de las mareas se puede apreciar a lo largo y ancho de la costa venezolana y la evaluación preliminar de este tipo la realiza específicamente la Dirección de Hidrografía y Navegación, institución militar que administra y proporciona los servicios en el área de hidrografía, oceanografía y ayudas a la navegación, con el fin de satisfacer las necesidades de la Armada Venezolana, comunidad acuática y demás usuarios nacionales e internacionales. Los datos factibles para la presente investigación se encuentran en el *Departamento de Oceanografía del Observatorio Cagigal* [17].

Energía de las Mareas

El principio fundamental para la conversión de esta energía en energía eléctrica, 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 (pleamar) y la baja (bajamar) para la producción mínima de 150kW, dependiendo del área y volumen del embalse [6].

Esta diferencia de niveles causa una diferencia de presiones de agua dentro y fuera del dique y debido a esta diferencia, es que el flujo de agua que pasa a través del dique, hacen rotar turbinas, produciendo de este modo energía eléctrica. El rendimiento de una central mareomotriz depende de la amplitud de la marea, de la superficie del embalse y de la longitud del dique construido pero aproximadamente es del 25% [15]. La ubicación ideal para instalar una central mareomotriz es un estuario, una bahía o un río, donde el agua de mar penetre [16].

En Venezuela, la diferencia de altura de las mareas se muestra en la siguiente tabla gracias a la data suministrada por el *Observatorio Cagigal*, instalaciones pertenecientes a la *Dirección de Hidrografía y Navegación de la Fuerza Armada Venezolana* [17], específicamente en el *Departamento de Oceanografía* gracias a años de estudio e investigación en materia de mareas. Se observan los valores referentes a las diferencias entre pleamar y bajamar con respecto al nivel del mar, (cero (0) metros) a lo largo de los puertos costeros venezolanos.

Tabla 18. Mareas en la Costa Venezolana [17]

Ubicación Costera	*Pleamar (m)*	*Bajamar (m)*	*Diferencia entre Pleamar y Bajamar (m)*
Amuay, Falcón	0.558	-0.564	1.122
La Guaira, Vargas	0.524	-0.390	0.914
Puerto Hierro, Sucre	0.988	-1.220	2.208
Cumaná, Sucre	0.556	-0.393	0.949
Puerto Cabello, Carabobo	0.524	-0.390	0.914
Guiria, Sucre	1.229	-1.210	2.439
Maracaibo, Zulia	0.463	-0.451	0.914

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

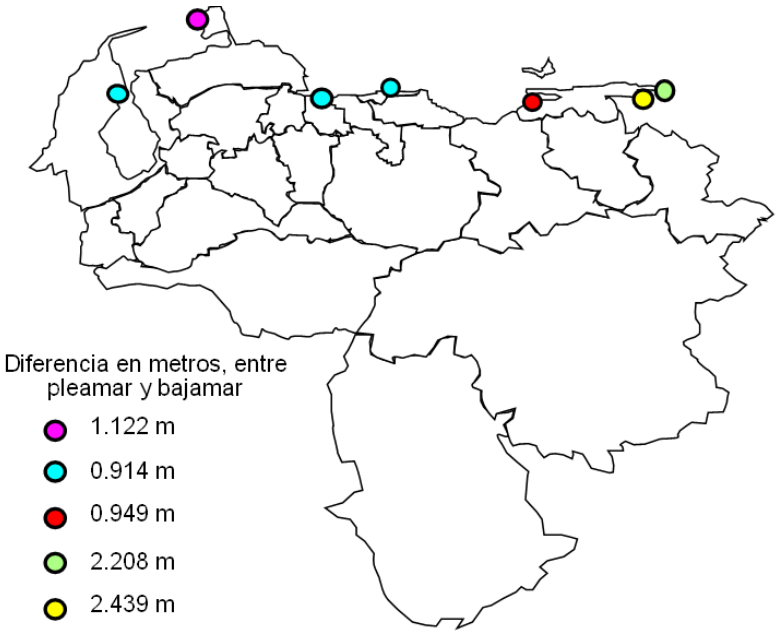


Figura 32. Localización de Puertos Venezolanos con Valores en Relación a las Diferencias de Mareas (pleamar y bajamar)

Como se observa en la Figura 32, la mayor diferencia entre pleamar y bajamar se ubica al oriente de Venezuela, en la cual se obtiene valores de 2.208 m de diferencia específicamente en Puerto Hierro y 2.439 m de diferencia en Guiria, ambos lugares en el estado Sucre. El segundo lugar con mayor diferencia de altura de mareas es en Amuay, Falcón con un valor de 1.122 m. Como se ha mencionado, el requisito mínimo para implementar esta tecnología es de 5 m de diferencia entre la pleamar y bajamar para que pueda funcionar con una eficiencia de aproximadamente 25%, pero como se ha explicado que en Venezuela el mayor valor de diferencia de mareas corresponde a 2.439 m en el puerto de Guiria, Sucre, solamente cumple con la mitad de los requerimientos mínimos de operación (5 m de diferencia) por lo que implementarla en Venezuela seria un riesgo considerando que la tecnologías provenientes del mar son las mas costosas en el mercado [18].

Energía Térmica Oceánica

La conversión de energía térmica oceánica es un método de convertir en energía útil la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua que se encuentra por lo menos a 1000 metros de profundidad, como se observa en la Figura 33 y cuenta con una eficiencia entre el 10 y 20% [13]. En las zonas tropicales esta diferencia varía entre 20 y 24 ºC. Para un mayor rendimiento, es necesaria una diferencia mínima de 22ºC según los requisitos de principios de conversión para una producción mínima de 500kW debido a que su rendimiento se encuentra entre 3 y 8% ya que no es fácil conseguir ese tipo de gradiente térmico [18]. Además la instalación disminuye los costos si la estructura es realizada en la costa, y si es realizada mar adentro, la plataforma debería estar ubicada no más de 50km de la costa [13], ya que los costos de inversión y capital aumentarían exageradamente, haciendo que el proyecto no se vea atractivo de implementar.

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

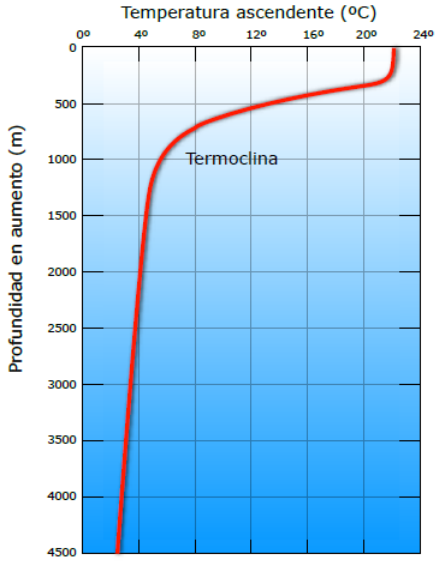


Figura 33. Diferencia de la Temperatura del Mar a Medida que Aumenta la Profundidad [13]

En Venezuela, de acuerdo a los estudios realizados a través de los años por medio de la *Dirección de Hidrografía y Navegación de la Fuerza Armada Venezolana*, existen dos (2) valores típicos de temperatura en las aguas pertenecientes a la circunscripción venezolana, específicamente entre el Archipiélago Los Roques e Isla de Aves ubicados a 170km de Caracas y 500km de Isla de Margarita respectivamente; uno para el período Diciembre-Mayo (estación seca o de verano), el cual tiene un valor de temperatura sobre el nivel del mar a 27ºC y a más 800 metros de profundidad es casi permanente es esta época un valor de 8ºC, existiendo una diferencia de 19ºC. Para el período Junio-Noviembre (estación lluviosa) varía la temperatura, ubicándose a 26ºC sobre el nivel del mar y a más de 800 metros de profundidad se presenta una temperatura de 7 ºC, existiendo una diferencia de 19ºC. [17]

Con estos valores se observa que el periodo en que mayor diferencia de temperatura existe es Junio-Noviembre con una diferencia de temperatura de 19 ºC, con lo que se puede observar que no coincide con el requisito mínimo (22 ºC de diferencia entre la superficie del mar y la profundidad del mar) para la conversión de energía térmica oceánica en energía eléctrica, aunado a eso importante mencionar dos características importantes, la temperatura no es durante todo el año sino que solo resulta durante una época (estación lluviosa) y el lugar donde se ubica el recurso se encuentra exageradamente lejos (entre 170km y 500km de costa venezolana) haciendo que la inversión e instalación de esta tecnología resulte altamente costosa, haciendo que las oportunidades de implementar un proyecto de este tipo disminuyan por lo que se concluye que ésta tecnología no es factible desarrollar en Venezuela.

Energía de las Olas

Los sistemas de captación de olas para la producción de energía eléctrica dependen de la ubicación en el mar, algunos llamados sistemas costeros como el *OWC* (*Oscillation Water Column*), los sistemas *off-shore flotante* como el *AWS (Archimedes Wave Swing*) y los sistemas *off-shore sumergidos* como el *Pelamis y Wave Dragon Systems.*

En la siguiente tabla se describe los requerimientos mínimos que estos necesitan para su funcionamiento en la producción de energía eléctrica [19].

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

Tabla 19. Requerimiento Mínimos de los Sistemas de Captación de Olas [19]

Sistema	*Potencia mínima requerida (kW/m)*	*Velocidad de la Corriente Oceánica (nudos)*	*Eficiencia (%)*	*Producción Mínima Comercial (kW)*
OWC (*Oscillation Water Column*)	25	1 a 3	30	200
AWS (*Archimedes Wave Swing*)	20	1 a 3	25	100
Pelamis	15-20	1 a 3	25-35	250
Wave Dragon Systems	20	1 a 3	30-35	1000

En Venezuela, la *Dirección de Hidrografía y Navegación de la Fuerza Armada Venezolana* tiene el promedio de las mediciones de las velocidades de las olas que se realizaron durante varios años por lo que se tiene valores de las velocidades de las corrientes oceánicas, existiendo dos valores promedios a lo largo del año.

Dentro de las aguas venezolanas las mínimas velocidades que se pueden encontrar es de 0.4 nudos en la costa oeste de la Península de Paraguaná, Estado Falcón; y la máxima velocidad de corrientes que se puede encontrar tiene un valor de aproximadamente de 1.3 nudos en la zona norte entre la Isla Los Roques y la Isla La Orchila, como se indica en la Figura 34.

Aunado a eso se tiene que la potencia aprovechable de las corrientes marinas en espacios marítimos venezolanos es de aproximadamente 10-12kW/m, observándose que no se acerca a la potencia mínima requerida (15kW/m) para poder aprovechar el recurso proveniente de las olas a pesar de que si posee la velocidad necesaria (1 nudo), de manera que si en algún momento se desea implementar esta tecnología tomando en cuenta estos factores, el sistema no estaría funcionando correctamente ya que no se tienen los requerimientos mínimos para la producción de electricidad.

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 34. Valores de las Corrientes Marinas en Venezuela

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 Biomasa

Fuente de Información

En Venezuela, el recurso proveniente de las *residuos sólidos urbanos* (RSU) se encuentra en toda Venezuela, en cada entidad regional por cada ciudad o poblado que conforma al país. La evaluación y control preliminar de este tipo de recurso lo lleva a cabo el *Instituto Nacional de Estadísticas* (INE), el cual tiene su sede en Caracas, Dto. Capital, el cual es una institución pública de referencia nacional e internacional, con el fin de coordinar el Sistema Estadístico Nacional y producir estadísticas oficiales, dirigidas a la planificación nacional y al ejercicio del poder popular en la gestión publica [20].

Biomasa Natural

Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana. En la explotación de esta biomasa cabe vigilar el hecho de no explotar los recursos, tales como árboles y plantas alimenticias, por encima de la tasa de renovación del ecosistema, ya que, si así fuese, el ecosistema se vería afectado de una forma irreversible y, con él, la supervivencia de la especie en interés.

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.

Clasificación de la Basura

Por su origen los residuos sólidos se clasifican en orgánicos e inorgánicos.

- ***Orgánicos***: Son combustibles tales como papel y sus derivados, cartón, madera y sus sub productos, plásticos, textiles, cueros, cauchos o gomas, grama y plantas o árboles podados
- ***Inorgánicos***: Son los no combustibles tales como metales, latas, hojas de lata, cerámica, vidrio, otros residuos minerales.

Atendiendo a su categoría, composición y lugar de procedencia, los residuos sólidos se tipifican bajo la clasificación mostrada en la Tabla 20.

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

Tabla 20. Clasificación de los Residuos Sólidos [14]

Categoría	*Composición*	*Procedencia*
Desechos Domésticos	Alimentos de cocina, Papel y cartón, Plástico, Madera y cenizas, Vidrio, Metal: aluminio, latón, Cauchos, Textiles: trapos, Desechos voluminosos: muebles y artefactos de línea blanca.	Viviendas familiares: casas, apartamentos y pequeños negocios.
Desechos Comerciales/Institucionales	Los mismos desechos enunciados en el párrafo anterior, agregando a la lista los desechos Biomédicos (hospitalarios, químicos de laboratorios).	Tiendas, mercados y supermercados, hoteles, oficinas, hospitales, laboratorios, bases militares.
Desechos Industriales	Papeles, metales, plásticos, madera, caucho, textiles y otros.	Fabricas de transformación, de tratamiento, de empaques, de ensamblaje y demás ramas de la producción industrial.
Varios	Carrocería de automóviles, desechos de construcción y/o demolición, desechos de calles	Calles, terrenos públicos, obras de construcción, incendios.

En Venezuela, se produce cantidades de basura considerables que serian útiles para la producción de energía eléctrica. A continuación se presenta una tabla donde se detalla cada estado venezolano junto con su producción diaria de basura.

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

Tabla 21. Producción Diaria de Residuos Sólidos en Cada Entidad Federal de Venezuela Para el Año 2006 [20]

Entidad Federal	Total de Residuos Recolectados (kg/d)
Amazonas	50.500
Anzoátegui	1.172.500
Apure	632.100
Aragua	973.012
Barinas	257.480
Bolívar	1.345.740
Carabobo	2.001.796
Cojedes	306.708
Delta Amacuro	88.598
Falcón	769.680
Guárico	452.000
Lara	1.154.696
Mérida	76.000
Miranda	3.305.400
Monagas	106.227
Nueva Esparta	384.600
Portuguesa	570.015
Sucre	1.164.800
Táchira	2.052.200
Trujillo	546.251
Vargas	311.039
Yaracuy	570.558
Zulia	4.617.272
Total	*22.909.172*

Concluyendo de la tabla se puede notar que los mayores estados con producción de desechos sólidos son Zulia y Miranda con valores de más de 4.617 ton/día y 3.305ton/día respectivamente. En estos estados la cantidad total de residuos sólidos urbanos (RSU) se clasifican en desechos orgánicos e inorgánicos como se detalla en la Tabla 22.

Figura 35. Regiones con Mayor Índice de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en el Día

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

Tabla 22. Cantidades de los Residuos Sólidos Urbanos (Ton/día) [20]

Entidad	*Papel y Cartón*	*Plástico*	*Aluminio y Hierro*	*Vidrio*	*Total*
Miranda	1.858	249	145	1.053	**3.305**
Zulia	2.162	647	452	1.356	**4.610**

Como se puede observar en la Tabla 22, los residuos sólidos urbanos en las entidades regionales como Miranda y Zulia, se clasifican en papel/cartón, plástico, aluminio e hierro/vidrio, notándose valores superiores en lo que respecta al papel y cartón, siendo este de 1858 Ton/día en el estado Miranda y 2.162 Ton/día en el estado Zulia.

Producción de Electricidad con Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Para la producción de electricidad con los residuos sólidos urbanos (RSU) es necesario que los desechos sean de origen orgánicos (papel, cartón) de manera que se pueda producir la combustión de estos y generar el suficiente vapor que mueva una turbina. En base a esto se descartan los desechos sólidos inorgánicos como plástico, aluminio, hierro y vidrio, por lo solo queda las toneladas diarias de papel y cartón de dichas entidades, 1858 Ton/día en Miranda y 2.152 Ton/día en Zulia.

En Venezuela, como se ha mencionado, hay suficientes cantidades de desechos orgánicos (papel y cartón) que con tan solo 2000 toneladas al día se puede llegar a producir en un planta biomasa mas de 50MW, con una eficiencia del 40% [6] pero se ha mencionado que esta investigación tiene dentro de sus alcances implementar proyectos en niveles residenciales, comerciales e industriales con potencias inferiores a 100kW, por lo que este tipo de tecnología no será de estudio a pesar de que es factible implementar para la producción de electricidad en grandes escalas (orden de los MW).

Biomasa Producida

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

En Venezuela, hasta la actualidad, por órdenes del Jefe de Estado, Presidente Hugo Rafael Chávez Frías, aún no esta permitido la siembra de alimentos para que sean destinados a la producción de biocombustibles. Según este, es un crimen utilizar los sembradíos como el maíz, para la producción de combustibles y lo que se busca es la producción agraria para la alimentación de todos y cada uno de los venezolanos, todo esto soportado con el *Plan Social Revolucionario* que actualmente este lidera. [22]

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

Diversos estudios científicos [23,24] 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*.

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 300, 1.525 y 3.000 metros, el punto de ebullición del agua se eleva a 230, 315 y 600°C respectivamente.

Fuentes de Información

En Venezuela, se han hecho estudios de geotermia, cuyos informes están principalmente en la *Universidad Central de Venezuela* (UCV), *Universidad de los Andes* (ULA) y *Universidad de Oriente* (UDO), así como también el *Ministerio de Energía y Minas* (MENPET). Las universidades mencionadas hacen dichos estudios debido a que en ellas se dictan carreras universitarias con relación a la geotermia (geología, geofísica) y por ello deben su interés en esta fuente alterna de energía. Por otra parte el ministerio corresponde a una institución pública que entre otras cosas tiene especialmente un departamento encargado para el área de las energías alternativas y por eso su interés e investigación de esta tecnología en Venezuela.

Investigaciones en Venezuela

Se han identificado tres grandes áreas con manifestaciones geotérmicas: *La Provincia Geotérmica Occidental* (Estados Falcón, Trujillo, Táchira, Mérida, Barinas, Portuguesa, Lara y Zulia), *Provincia Geotérmica Central* (Estados Aragua, Miranda, Carabobo, Guárico y Distrito Capital) y la *Provincia Nor-Oriental* (Estados Sucre, Monagas y Anzoátegui) [25].

Un proyecto geotérmico comprende las siguientes etapas:

- Etapa de Exploración
- Etapa de Pre-factibilidad
- Etapa de Factibilidad
- Etapa de Desarrollo

De los tres tipos de explotación de geotermia para producir energía eléctrica: Hidrotérmicos, Geopresurizados y de Roca Caliente, es necesario para su funcionamiento excavar a ciertas profundidades, y debido a que las investigaciones realizadas en Venezuela no sobrepasan de los 2000 metros de profundidad [25], conlleva que esta investigación pertenece al tipo Hidrotérmicos (comprendido entre 1 y 10 km).

En el Estado Sucre, provincia Nor-Oriental, ya se han realizado las dos primeras etapas (Exploración y Pre-Factibilidad), que contempla una serie de estudios que incluyen geología, geofísica, geoquímica, entre otras. Actualmente el Ministerio de Energía y Petróleo (MENPET) se preparan para comenzar con la tercera etapa (Factibilidad), la cual incluye la perforación de pozos que superan los 3000 metros de profundidad [25]. En las otras dos provincias aun no se ha completado la etapa de exploración.

Por medio de la geología, principal herramienta usada en las dos primeras etapas (exploración y pre-factibilidad), se integra los resultados de lo investigado (profundidad, tipo de suelo, temperatura en la superficie de la zona a estudiar, etc.) para presentar el modelo esquemático, y así poder planificar y estudiar a continuación la etapa de factibilidad. Las temperaturas se calculan mediante modelos matemáticos llamados geotermómetros, para los cuales se necesita tener la temperatura superficial y análisis físico-químico de las aguas, ya que se necesita conocer la calidad y cantidad de los iones disueltos y dicha información se incluye en el geotermómetro para finalmente calcular la temperatura del agua en los reservorios [25].

Las más altas manifestaciones geotérmicas existentes en el país se mencionan a continuación, dando a conocer las zonas donde estas se ubican y por ende las temperaturas que tienen estas.

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

Tabla 23. Manifestaciones Térmicas Presentes en Venezuela Para el Año 2004 [26]

Nº	Ubicación	Coordenada Geográfica		Manifestación	Temp. (ºC)	Altitud (msnm)
		Latitud	Longitud			
1	Carabobo, Trincheras	68º 4’ 56’’	10º 18’ 30’’	Fuente Termal Sulfurada	72	362
2	Carabobo, Mariara, Aguas Calientes	67º 40’ 54’’	10º 18’ 48’’	Fuente Termal Sulfurada	85,8	480
3	Carabobo, Mariara, Aguas Calientes	67º 41’ 30’’	10º 18’ 18’’	Fuente de Baño Termal	91,5	470
4	Trujillo, Motatan Pozo 70	70º 37’ 0’’	9º 23’ 17’’	Fuente Termal Sulfurada	73,5	420
5	Trujillo, Agua Viva	70º 38’ 7’’	9º 33’ 45’’	Fuente Termal Sulfurada	80	100
6	Trujillo, Agua Caliente	70º 36’ 20’’	9º 37’ 45’’	Fuente Termal Sulfurada	70	300
7	Sucre, Las Pailas (A)	63º 12’ 36’’	10º 31’ 35’’	Fuente Termal Sulfuradas	93,5	73
8	Sucre, Las Pailas (B)	63º 12’ 36’’	10º 31’ 35’’	Fuente Termal Sulfuradas	79	73
9	Sucre, Qda. de Aguas Calientes (A)	63º 12’ 36’’	10º 31’ 35’’	Fuente Termal Sulfuradas	84	74
10	Sucre, Qda. de Aguas Calientes (B)	63º 12’ 36’’	10º 31’ 37’’	Fuente Termal Sulfuradas	85	80
11	Sucre, Qda. de Aguas Calientes (C)	63º 12’ 36’’	10º 31’ 38’’	Fuente Termal Sulfuradas	89	80
12	Sucre, Qda. de Aguas Calientes (D)	63º 11’ 40’’	10º 31’ 35’’	Fuente Termal Sulfuradas	90	82
13	Sucre, Qda. de Aguas Calientes (E)	63º 11’ 42’’	10º 31’ 37’’	Fuente Termal Sulfuradas	84	90
14	Sucre, Juan Gregorio	63º 12’ 3’’	10º 31’ 22’’	Fuente Termal Sulfuradas	59	90
15	Sucre, Los Chirriaderos	63º 13’ 8’	10º 31’ 16’’	Fuente Termal Sulfuradas	94	155
16	Sucre, Qda. Aguas Calientes	63º 12’ 36’’	10º 31’ 38’’	Fuente Termal Sulfuradas	92	75
17	Sucre, Las Pailas	63º 11’ 42’’	10º 31’ 30’’	Fuente Termal Sulfuradas	87.5	72
18	Sucre, Chirriadero Buena Esperanza	63º 12’ 0’’	10º 32’ 12’’	Fuente Termal Acidas	97	232
19	Sucre, Mina El Salvaje	63º 12’ 28’’	10º 31’ 52’’	Fuente Termal Acidas	91	280
20	Sucre, Mina El Salvaje	63º 12’ 28’’	10º 31’ 52’’	Fuente Termal Acidas	41	280
21	Sucre, Mina El Salvaje	63º 12’ 28’’	10º 31’ 52’’	Fuente Termal Acidas	56	280
22	Sucre, Mina Rio de Janeiro	63º 11’ 48’’	10º 31’ 46’’	Fuente Termal Alcalinas	100	132
23	Sucre, Mundo Nuevo	63º 15’ 16’’	10º 30’ 57’’	Fuente Termal Sulfuradas	90.5	350
24	Sucre, Mundo Nuevo	63º 15’ 16’’	10º 30’ 57’’	Fuente Termal Sulfuradas	72	350
25	Sucre, Mundo Nuevo	63º 15’ 16’’	10º 30’ 57’’	Fuente Termal Sulfuradas	95	353
26	Sucre, Mundo Nuevo	63º 15’ 16’’	10º 30’ 57’’	Fuente Termal Sulfuradas	80	353
27	Sucre, Mereyes Azufral	63º 15’ 44’’	10º 30’ 48’’	Fuente Termal Sulfuradas	85	380
28	Sucre, Hervidor Los Matapalos	63º 15’ 33’’	10º 31’ 7’’	Fuente Termal Sulfuradas	71	341
29	Vargas, Chichiriviche de la Costa	67º 14’ 28’’	10º 32’ 0’’	Fuente Termal Sulfuradas	72	25

Según se puede observar, solo la fuente de la Mina Rio de Janeiro en el estado Sucre es la que llega los 100 ºC y no hay ninguna fuente termal que alcance el valor mínimo de 150 ºC para utilizar la conversión de tipo hidrotérmica en energía eléctrica, y producir un mínimo de 300 kW con una eficiencia de 45% [6].

Como resultado se tiene que aun esta tecnología no esta próxima a implementarse en Venezuela, debido a que no posee una de las características principales (valor mínimo de temperatura 150ºC) para transformarse en energía eléctrica, aunado a eso influye la no culminación de los proyectos geotérmicos, ya que aun se encuentran en las primeras etapas de desarrollo.

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

Microturbinas de Combustibles

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 oscilan entre los 30 y 350 kW [27].

Esta tecnología utiliza gas natural y diesel como combustible. El gas natural el principal constituyente es siempre el metano, que representa generalmente entre el 75 y el 95 % del volumen total de la mezcla, razón por la cual se suele llamar metano al gas natural. Los otros hidrocarburos gaseosos que suelen estar presentes son el etano, butano y propano, y aparecen siempre en proporciones menores. Tiene un gran poder calorífico (9.000-12.000 kcal/m^3) constituyendo una energía eficaz, rentable y limpia. No tiene olor ni color y por lo general se encuentra en forma natural mezclado con otros hidrocarburos fósiles. Al momento de su extracción, el gas natural contiene impurezas como agua, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y nitrógeno que tienen que ser removidas antes de su transporte y comercialización [28].

Por otro lado el diesel, por ser un derivado del petróleo, resulta ser más contaminante aunque este resulte menos costoso. Además lo que se busca es la utilización de otros recursos diferentes al petróleo y no la dependencia directa de este para la producción de electricidad. Es por ello que para esta tecnología solo se evaluara utilizando el gas natural.

De acuerdo al tamaño de la microturbina varia el nivel de combustible (gas natural) a suministrar. En la siguiente tabla se observan diferentes tamaños de microturbina junto con la cantidad necesaria de combustible para su funcionamiento [27].

Tabla 24. Eficiencias de Diferentes Tamaños de las Microturbinas [27]

Capacidad (kW)	*Entrada de Combustible (MMBTU/h)*	*Entrada de Combustible (Pie^3/h)*	*Eficiencia (%)*	*Presión de Gas de Combustible Requerido (psi)*
30kW	0.437	437	23.4	55
70kW	0.948	948	25.2	55
100kW	1.264	1.264	27	75
350kW	4.118	4.118	29	135

En Venezuela, existe la posibilidad de que se instale esta tecnología debido a la existencia del recurso para alimentar las microturbinas. Se cuenta que para el año 2008 las reservas nacionales de gas superaban los 180 BPC (billones de pies cúbicos) ubicadas en los reservorios de gas en Venezuela como se detalla en la Figura 36 [28].

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

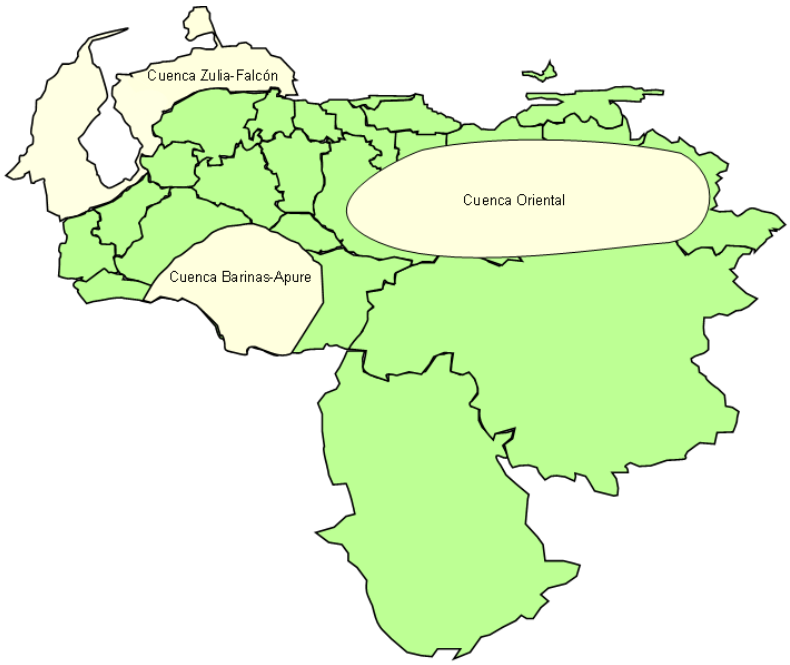


Figura 36. Localización de la Red de Gas en Venezuela

En cuestión de costos de este combustible, para el año 2009 las tarifas del gas natural varían de acuerdo a su ubicación de explotación, en Zulia y Falcón el costo de este es de 0.0561 BsF/m^3 y en el resto del país este se encuentra en 0.0358 BsF/m^3, esto es debido al poder calorífico que este contiene. Es importante saber que esto no incluye el costo del transporte y este varía dependiendo del lugar de destino final.

Tabla 25. Tarifas del Gas Natural en Venezuela Para el Año 2009 [28]

Ubicación	*Tarifa BsF/m^3*	*Tarifa US$/MMBTU*
Zulia y Falcón	0.0561	0.738
Resto del País	0.0358	0.471

Zonas Susceptibles en Venezuela Para Aplicación de Microturbinas de Combustibles

Como se observo en la Figura 36, existen tres cuencas gasíferas en Venezuela, en el primer lugar con el 68% de las reservas la cuenca oriental con 146 BPC (Billones de Pies Cúbicos), en segundo lugar con el 23% se ubica la cuenca occidental o Falcón-Zulia con 33.5 BPC (Billones de Pies Cúbicos) y en último lugar con el 9% se encuentra la cuenca sur o Barinas-Apure 0.50 BPC (Billones de Pies Cúbicos).

Específicamente la cuenca oriental corresponde a los estados Anzoátegui, Delta Amacuro, Guárico, Monagas y Sucre. La cuenca occidental comprenden los estados Falcón y Zulia y la cuenca sur corresponden los estados Apure y Barinas, siendo cualquiera de estos estados propicios para la implementación de microturbinas de con gas natural, por poseer grandes reservas de este combustible.

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

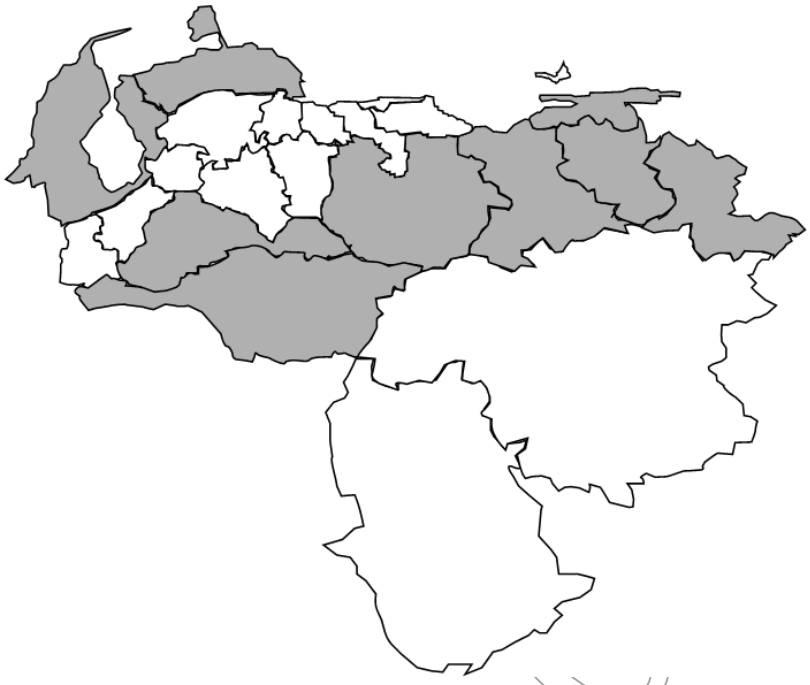


Figura 37. Zonas Susceptibles Para Aplicación de Microturbinas en Venezuela [26]

Celdas de Combustibles

Las celdas de combustibles son dispositivos electro químicos que convierten la energía química de reacciones directamente en energía eléctrica. Una celda de combustible esta compuesta por dos electrodos (cátodo y ánodo) separado por un electrolito, donde este último no es más que cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico. En términos simples, el electrólito es un material que se disuelve en agua para producir una solución que conduce una corriente eléctrica [28].

Celdas de Combustible de Alcalina (AFC)

Emplea como electrolito una solución alcalina de Hidróxido de Potasio (KOH) y la temperatura de operación esta alrededor de 90 y 100 ºC. Este tipo de celda esta siendo usada desde hace varios años por la *NASA* en misiones espaciales.

La desventaja de este tipo de células de combustible es que es fácilmente envenenada por el dióxido de carbono (CO_2). De hecho, incluso la pequeña cantidad de CO_2 en el aire puede afectar el funcionamiento de esta célula, por lo que es necesario purificar tanto el hidrógeno y el oxígeno utilizado en la celda. Este proceso de purificación es costoso [28].

Celdas de Combustible de Metanol Directo (DMFC)

Estas celdas son alimentadas por metanol puro, que se mezcla con el vapor y va alimentado directamente al ánodo de la pila de combustible. Las pilas de combustible de metanol directo no tienen muchos de los problemas típicos de almacenamiento de combustible de algunas células de combustible de metanol porque tiene una mayor densidad de energía del hidrógeno, aunque menos que la gasolina o diesel.

Celdas de Combustible de Carbonato Fundido (MCFC)

Consiste en un electrolito, generalmente una mezcla de sal de carbonato fundido suspendida en una matriz cerámica. La principal desventaja de esta tecnología es la durabilidad. Las altas temperaturas en las que estas células funcionan y el electrólito corrosivo utilizado aceleran el componente desglose y la

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

corrosión. Los científicos están estudiando materiales resistentes a la corrosión de los componentes, así como diseños de pilas de combustible de células que aumentan el rendimiento sin reducir la vida [28].

Celdas de Combustible de Acido Fosfórico (PAFC)

Estas celdas utilizan ácido fosfórico como un electrolito ácido. La pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC) es considerada la "primera generación" de las modernas celdas de combustible. Estas celdas son más tolerantes de las impurezas en los combustibles fósiles y también suelen ser grandes y pesadas. Los PAFC también son caros. Al igual que las pilas de combustible PEMFC, las PAFC requieren un costoso platino catalizador, lo que eleva el costo de la pila de combustible. Una pila de combustible de ácido fosfórico cuesta entre $ 4000 y $ 4.500 por kilovatio para operar [28].

Celdas de Combustible de Oxido Sólido (SOFC)

Utilizan un duro y no poroso compuesto de cerámica como electrolito. El funcionamiento a altas temperaturas elimina la necesidad de metales preciosos, catalizadores, reduciendo así los costos. Son también las más resistentes a azufre, y pueden tolerar varios órdenes de magnitud de azufre que otros tipos de celdas. Además, no son envenenadas por monóxido de carbono (CO_2), que puede incluso ser utilizado como combustible. Esta propiedad permite el uso de gases realizados a partir del carbón. El desarrollo de bajo costo con materiales de alta durabilidad en las temperaturas de funcionamiento de células es el principal desafío técnico que enfrenta esta tecnología.

Celdas de Combustible de Membrana de Polímero Electroquímico (PEMFC)

Consta de una membrana de electrolito de polímero y son también llamadas membrana de intercambio de protones. Son celdas de alta densidad de potencia y ofrecen las ventajas de bajo peso y volumen, en comparación con otras pilas de combustible. Las pilas de combustible PEMFC utilizar un polímero sólido como electrolito. Sin embargo, requiere que un catalizador de metal noble (normalmente platino) se utiliza para separar el hidrógeno de los electrones y protones, que se suma a los costos del sistema. El catalizador de platino es también extremadamente sensible a la intoxicación por CO_2, por lo que es necesario emplear un reactor adicional para reducir las emisiones de CO_2 en el gas combustible de hidrógeno, si se obtiene a partir de un combustible de alcohol o de hidrocarburos y esto también añade costo.

Las pilas de combustible PEMFC se utilizan principalmente para aplicaciones de transporte. Debido a su rápido tiempo de inicio, la baja sensibilidad a la orientación, y favorable poder-peso, las pilas de combustible PEMFC son particularmente aptos para su utilización en vehículos de pasajeros, tales como automóviles y autobuses.

Combustible

Para la producción de electricidad, las celdas de combustibles requieren como recurso de entrada hidrogeno y oxigeno. En la siguiente tabla se da a conocer los diferentes componentes primarios con los que se puede producir hidrógeno [28].

Tabla 26. Producción de Hidrógeno [28]

Proceso	*Eficiencia (%)*	*Emisiones Contaminantes*
Reformado con Vapor (gas natural)	83-90	Si
Gasificación (carbón)	63	Si
Gasificación (biomasa)	40-50	Neutral
Procesos termoquímicos	Hasta 50	No

Donde el reformado con vapor de gas natural es la técnica más utilizada. Este proceso consiste en exponer al gas natural, de alto contenido de metano, con vapor de agua a alta temperatura y presión. Se obtienen como resultado de la reacción química; hidrógeno y dióxido de carbono, y dependiendo el

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

compuesto reformado, también monóxido de carbono, este proceso tiene una eficiencia de 65%, y en el caso de que el gas natural contenga azufre, este debe ser eliminado mediante la desulfuración

La gasificación de carbón resulta interesante por la gran cantidad de reservas existentes y su precio, bajo y estable. Sin embargo, los efectos ambientales son muy importante (grandes emisiones de CO_2). Se trata de una tecnología avanzada mediante la cual el carbón u otros combustibles, como biomasa, madera, petróleo, se convierten en un gas combustible limpio con un poder calorífico bajo o medio.

En general, puede efectuarse de dos formas. La primera opción consiste en transformar el carbón en gas, una vez que éste es extraído de la mina, para lo cual se inyecta en un reactor oxígeno junto con el carbón para generar un gas apto para ser quemado en una central. La segunda opción es una gasificación "in situ" o subterránea, es decir, inyectando oxígeno directamente en el yacimiento. Esta última opción, una vez completamente desarrollada, permitirá el aprovechamiento de yacimientos que, por su especial configuración y profundidad, plantean graves problemas técnicos y económicos en la extracción del mineral.

La gasificación de biomasa está en fase de demostración. El efecto sobre las emisiones es neutral (se emite lo que retiene la propia biomasa en su producción) pero su utilización es limitada, debido a su disponibilidad y al bajo contenido de hidrógeno.

Los procesos termoquímicos implican la descomposición del agua mediante calor que podría ser suministrado por la energía solar.

Diferencia de las Celdas de Combustible

El principio de funcionamiento de las celdas de combustibles es el mismo, lo que varía de acuerdo a su clasificación es el electrolito por el que esta compuesto y esto hace variar la eficiencia y la temperatura que la celda llega a producir. En la siguiente tabla se mostrara estas diferencias incluyendo también la potencia que cada celda puede producir [28]

Tabla 27. Diferencias de las Celdas de Combustible [28]

Tipo de Celda	*Electrolito*	*Temperatura (ºC)*	*Combustible*	*Eficiencia (%)*	*Potencia (kWh)*
Alcalinas	KOH	90-100	H_2	70	
Metanol Directo	Nafión	60-100	CH_3OH	40	
Carbonato Fundido	Carbonato, Li, Na, K.	600-1000	H_2	45-55	250kW-10MW
Acido Fosfórico	H_3PO_4	175-200	H_2	36-42	100-200kW
Oxido Sólido	(Zr, Y)O_2	800-1000	H_2	45-55	1kW-10MW
Membrana de Polímero Electroquímico	Nafión	60-100	H_2	30-40	3-250 kW

De acuerdo a los valores de la tabla se puede observar que la mayoría utiliza como combustible el hidrógeno, y como se detalló anteriormente, el gas natural y carbón son los que mayor eficiencia tienen para la producción de hidrogeno, pero en este estudio se descarta de estudio el carbón por ser un combustible más contaminante que el gas natural.

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

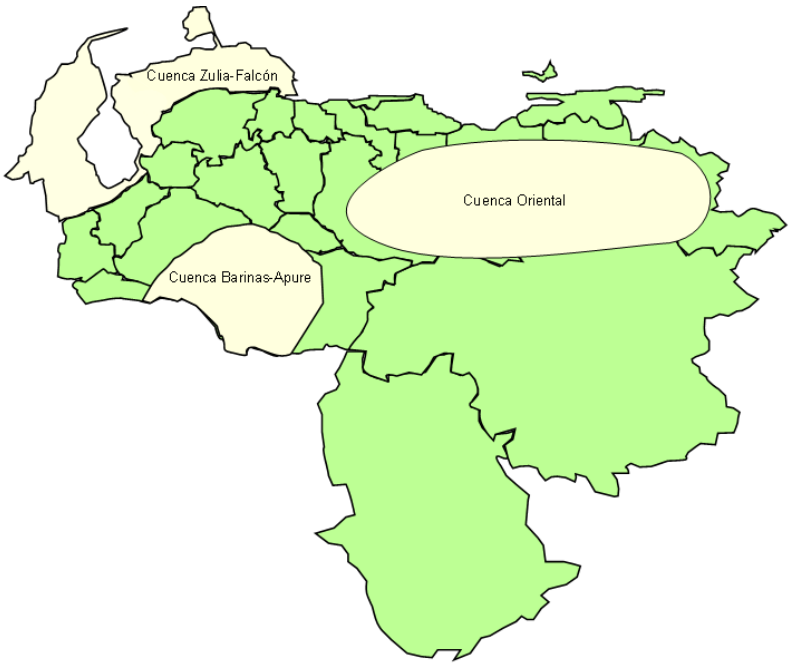


Figura 38. Localización de la Red de Gas en Venezuela

En Venezuela existe grandes cantidades de reserva de gas natural, por ello es posible la implementación de esta tecnología. La cantidad total de reservas de gas natural para el año 2008 es de 180 BPC (billones de pies cúbicos) ubicadas en los reservorios de gas en Venezuela como se detalla en la Figura 36 [28].

Zonas Susceptibles en Venezuela Para Aplicación de Celdas de Combustibles

Como se observa en la Figura 38, existen tres cuencas gasíferas en Venezuela, en el primer lugar con el 68% de las reservas la cuenca oriental con 146 BPC (Billones de Pies Cúbicos), en segundo lugar con el 23% se ubica la cuenca occidental o Falcón-Zulia con 33.5 BPC (Billones de Pies Cúbicos) y en último lugar con el 9% se encuentra la cuenca sur o Barinas-Apure 0.50 BPC (Billones de Pies Cúbicos) [26].

Específicamente la cuenca oriental corresponde a los estados Anzoátegui, Delta Amacuro, Guárico, Monagas y Sucre. La cuenca occidental comprenden los estados Falcón y Zulia y la cuenca sur corresponden los estados Apure y Barinas, siendo cualquiera de estos estados propicios para la implementación de celdas de combustibles de con gas natural.

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

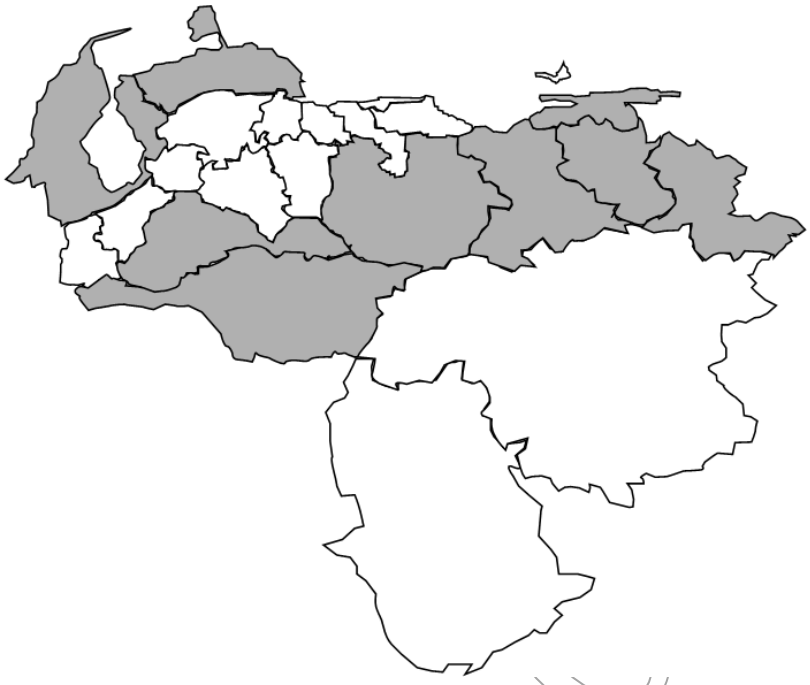


Figura 39. Zonas Susceptibles Para Aplicación de Celdas de Combustibles en Venezuela [26]

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

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

Fuentes Alternas de Energías Susceptibles de Aplicación en Venezuela

En Venezuela existen recursos naturales con alto potencial en determinados estados para aprovecharlos en la producción de energía eléctrica. En base a la características técnicas y requerimientos mínimos de cada fuente alterna de energía, tales como velocidad mínima del viento a 10 m de altura, radiación solar, reservas de gas natural, entre otras, fueron seleccionadas cuatro (4) tecnologías de aplicación en Venezuela ya que cumplen con dichos requisitos. Estas fuentes alternas de energía son:

- Energía Solar.
- Energía Eólica.
- Microturbinas.
- Celdas de Combustibles.

Tabla 28. Entidades con Mayor Potencial de los Recursos Naturales Presentes en Venezuela

Recurso Natural	*Estados Disponibles*
Potencial Solar con Radiación > 5 kWh/m^2/día	Aragua, Carabobo, Cojedes, Falcón, Guárico, Nueva Esparta, Portuguesa, Sucre y Zulia.
Potencial Eólico con Velocidad del Viento > 5 m/s	Falcón, Nueva Esparta y Zulia
Reservas de Gas Natural en Billones de Pies Cúbicos (BPC)	Apure, Anzoátegui, Barinas, Delta Amacuro, Falcón, Guárico, Monagas, Sucre y Zulia.

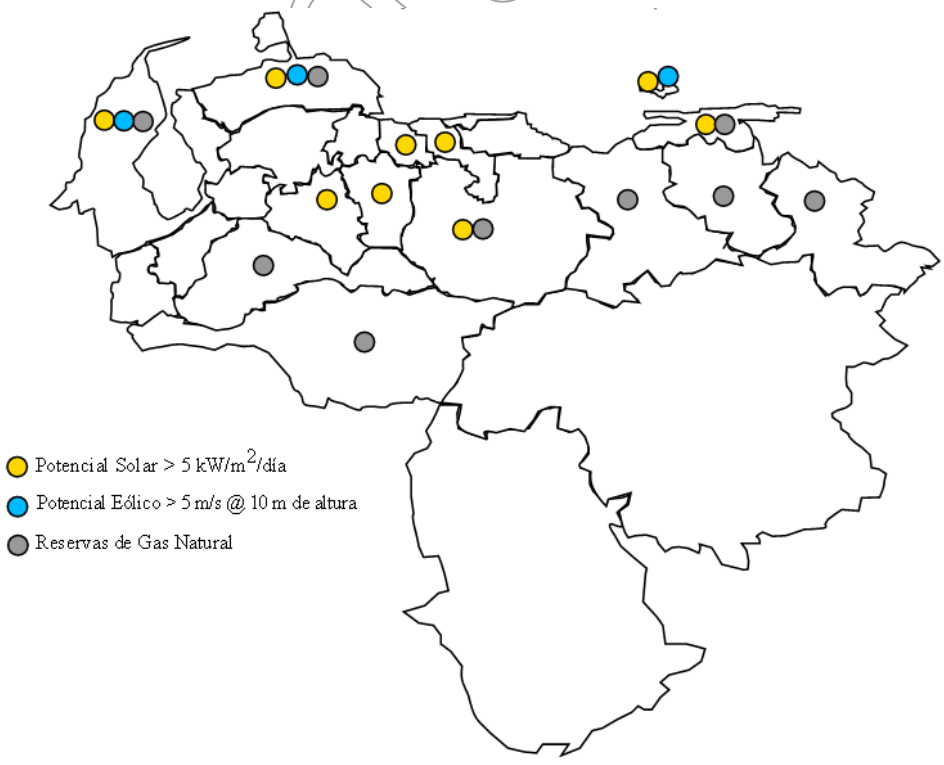


Figura 40. Estados Susceptibles Para Aplicación de Fuentes Alternas de Energía en Venezuela

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

Como se observa en la Figura 40, gran parte del territorio venezolano (catorce estados específicamente) es factible de implementar fuentes alternas de energía para la producción de electricidad. El estado Falcón y Zulia fueron beneficiados con buen potencial solar y eólico (superiores a 5 kWh/m^2/día y 5 m/s respectivamente) así como también con grandes reservas de gas natural (billones de pies cúbicos) y en ellos se puede incluir cualquiera de las tecnologías seleccionadas ya que cuentan con los recursos naturales en la zona y sobrepasan los requerimientos mínimos para ser implementados. En el caso de las reservas del gas natural, se tiene presente en nueve (9) estados del país, que aunque no en todos es explotado y comercializado actualmente, en un futuro no muy lejano esto será una realidad por lo que implementar celdas de combustibles o microturbinas en estas regiones es muy apropiado.

En el caso de la energía solar, Venezuela posee en la mayoría del territorio y en todos los meses del año este recurso, pero el mayor potencial solar se encuentra presente en nueve (9) estados del país, la mayoría en la costa venezolana. Como se ha explicado anteriormente, con este recurso se puede implementar módulos fotovoltaicos para producir electricidad.

Finalmente el recurso eólico es más específico encontrarlo en Venezuela, ya que necesita velocidades superiores a los 5 m/s para que puedan implementarse aerogeneradores que transformen la energía cinética del viento en mecánica y luego en energía eléctrica. Los estados que superan este valor son Falcón, Nueva Esparta y Zulia.

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

Conclusiones

En el presente reporte de investigación primeramente se hizo el estudio donde se estudiaron todas las características técnicas que tienen las fuentes alternas de energía de posible implementación en Venezuela como fueron: energía solar térmica y fotovoltaica, eólica, mareomotriz, geotérmica, biomasa, celdas y microturbinas de combustibles, y se evaluó, en base a los recursos que estas necesitaban, la disponibilidad que tenían en el país, donde se incluyeron para tal evaluación datos climáticos y meteorológicos, mapas geográficos de Venezuela, gráficas, combustible a utilizar, entre otros.

Luego de realizar tal estudio fueron seleccionadas cuatro (4) tipos de tecnologías como candidatas para la producción de electricidad en Venezuela ya que cumplían con los requerimientos mínimos necesarios para su implementación en el país, las cuales son: energía solar fotovoltaica en los estados costeros como Aragua, Carabobo, Falcón, Nueva Esparta, Sucre y Zulia y estados llaneros como Cojedes, Guárico y Portuguesa ya que poseen radiación solar superior a 5kWh/m^2 la mayoría de los meses del año; energía eólica en los estados Falcón, Nueva Esparta y Zulia por poseer velocidades superiores a 5 m/s @ 10 m de altura, y las celdas y microturbinas de combustibles son también factibles de implementar ya que en Venezuela es rico en gas natural con reservas superiores de los 180 billones de metros cúbicos aprobadas hasta el año 2008, ubicadas en las cuencas gasíferas oriental, occidental y sur, que corresponden a los estados Anzoátegui, Apure, Barinas, Delta Amacuro, Falcón, Guárico, Monagas, Sucre y Zulia.

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] Goetzberger A, Hoffmann V.U. *''Photovoltaic Solar Energy Generation''*. Editorial Springer Verlag Berlin Heidelberg 2005.

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

[3] Francisco M. González-Longatt, Rubén Terán, Juan Méndez, Arturo Hernández, Frednides Guillen. "*Evaluación del Recurso Eólico en Venezuela: Parte I",* I Congreso Petrolero Energético ASME-UNEFA, Puerto Cabello, Venezuela 26-28 OCT, 2006.

[4] Earth Science Surface Meteorology and Solar Energy (SSE) (Website On line) Available at: http://www.eosweb.larc.nasa.gov/

[5] Kratka, M. *Uso de los sistemas solares fotovoltaicos*. Diciembre 2007

[6] Kaltschmitt, M; Streicher, W. *''Renewable Energy: Technology, Economics and Environment''*. Editorial Springer, Germany. 2007

[7] Ciemat. (On line) Available at: http://www.ciemat.es

[8] Iberdrola. (On line) Available at: http://www.iberdrola.es

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

[10] Fernández, P. *Energía Eólica.* (I.- Antecedentes Históricos y Fuentes Eólicas). Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. España. 2002.

[11] Méndez J, Villasana R. "Análisis de Pre-factibilidad Técnica – Comercial para el Desarrollo de un Granja de Viento en la Isla de Margarita, Venezuela" *Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Electricista en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional,* Maracay, Venezuela. 2006.

[12] Francisco M. González-Longatt. "*Uso del Recurso Eólico en Venezuela",* III Congreso Petrolero Energético ASME- UNEFA, Puerto Cabello, Venezuela.

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

[14] Norma IEC 6400.

[15] Fernández, P. *Energía de las Olas*. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. España. 2002.

[16] American Wind Energy Association. *Energía eólica* (On line) Available at: http://www.awea.org

[17] Dirección de Navegación e Hidrografía. Instalaciones del Observatorio Cagigal. Caracas, Venezuela

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

[19] Wave Energy Center. *Energía Mareomotriz.* (On line) Available at: http://www.wavec.org

[20] Instituto Nacional de Estadísticas. Caracas Venezuela.

[21] Radio Mundial de Venezuela. *Biomasa Producida.* (On line) Available at: http://www.radiomundial.com.ve

[22] Pagina web de Energía Geotérmica. *Energía Geotérmica* (On line) Available at: https://www.geothermal.marin.org

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

[24] *Geotermia en Venezuela para Aplicación de Fuentes Alternas de Energía en el País*. (L. Ortega, Ing. Geólogo del Departamento de Energías Alternativas perteneciente a Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA). Caracas, Venezuela, conversación vía e-mail, Abril 15, 2009)

[25] Hernández, D., Sánchez, S. *Distribución, caracterización y marco teórico de las aguas termales en Venezuela.* Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Geólogo en la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 2004.

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

[26] Francisco M. González-Longatt. *''Microturbinas''*. Sistemas de Generación Distribuida. (On line) Available at: http://www.fglongatt.org.ve/Archivos/Archivos/SistGD/PPT-Tema2.3.MciroTurbinas.pdf
[27] Ente Nacional de Gas. *Precios del Gas.* (On line) Available at: http://www.enegas.com.ve
[28] Francisco M. González-Longatt. *''Celdas de Combustibles''*. Sistemas de Generación Distribuida. (On line) Available at: http://www.fglongatt.org.ve/Archivos/Archivos/SistGD/PPT-Tema2.4.CeldasComb.pdf
[29] Servicio de Meteorología de la Fuerza de Aviación Venezolana. (On line) Available at: http://www.meteorología.mil.ve

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