

University of Texas at Tyler

## Scholar Works at UT Tyler

---

Mechanical Engineering Faculty Publications  
and Presentations

Mechanical Engineering

---

2012

### Propuesta de implementación de energía solar fotovoltaica en instalaciones pesqueras en Venezuela

Juan Zambrano

Aleyani Zambrano

Buitrago Franklin

Nelson Fumo

University of Texas at Tyler, [nfumo@uttyler.edu](mailto:nfumo@uttyler.edu)

Follow this and additional works at: [https://scholarworks.uttyler.edu/me\\_fac](https://scholarworks.uttyler.edu/me_fac)



Part of the [Mechanical Engineering Commons](#)

---

#### Recommended Citation

Zambrano, Juan; Zambrano, Aleyani; Franklin, Buitrago; and Fumo, Nelson, "Propuesta de implementación de energía solar fotovoltaica en instalaciones pesqueras en Venezuela" (2012). *Mechanical Engineering Faculty Publications and Presentations*. Paper 6.

<http://hdl.handle.net/10950/425>

This Article is brought to you for free and open access by the Mechanical Engineering at Scholar Works at UT Tyler. It has been accepted for inclusion in Mechanical Engineering Faculty Publications and Presentations by an authorized administrator of Scholar Works at UT Tyler. For more information, please contact [tgullings@uttyler.edu](mailto:tgullings@uttyler.edu).

# Propuesta de implementación de energía solar fotovoltaica en instalaciones pesqueras en Venezuela

Zambrano Juan<sup>1</sup>, Zambrano Aleyani<sup>2</sup>, Buitrago Franklin<sup>3</sup>, Fumo Nelson<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Energías Alternas, Decanato de Investigación, Universidad del Táchira, San Cristóbal 5001, Venezuela, jzambra@unet.edu.ve

<sup>2</sup>Laboratorio de Energías Alternas, Decanato de Investigación, Universidad del Táchira, San Cristóbal 5001, Venezuela, azambranoa@unet.edu.ve

<sup>3</sup>Laboratorio de Energías Alternas, Decanato de Investigación, Universidad del Táchira, San Cristóbal 5001, Venezuela, fbuitrago@unet.edu.ve

<sup>4</sup>Department of Mechanical Engineering, The University of Texas at Tyler, Tyler, TX 75799, Estados Unidos, nfumo@uttyler.edu

## RESUMEN

Los sistemas de obtención de energía por medios renovables han venido creciendo de manera interesante en los últimos años debido a los altos precios de la energía y a la limitada disponibilidad del recurso, en el caso de los sistemas de energía solar fotovoltaica (FV), a nivel mundial se ha demostrado gran potencial en proyectos de electrificación rural para aplicaciones domésticas y labores agropecuarias. Venezuela por su posición geográfica privilegiada, cuenta con un gran potencial energético solar, se tiene garantizado un 85% de la incidencia solar estable durante todo el día, incluso en períodos de verano se alcanzan hasta 8 horas de radiación solar efectiva; por lo que, el uso de los sistemas fotovoltaicos es una alternativa tecnológicamente viable; por otra parte se han venido instalando empresas del tipo socialista para la generación de productos pesqueros de mar y de río en diferentes puntos de la geografía nacional, todos estos con características comunes entre las que se menciona: alta carga eléctrica, sitios alejados de las redes eléctricas o redes cercanas con falta de capacidad de distribución y requerimiento energético a través de todo el año. Para suplir estas necesidades se han instalado grupos electrógenos con motores diesel como medio único de generación eléctrica in situ, esto obliga a transportar y mantener reservas de gasoil para su funcionamiento, además estas máquinas dentro de su plan de mantenimiento requieren cambio de lubricante que constituye un problema de disposición de desechos y en algunos casos parada del sistema productivo. El análisis a desarrollar parte de una metodología desarrollada por los autores, donde se debe conocer el dato meteorológico horario típico para poder diseñar un arreglo de energía solar FV con características de eficiencia energética y completa funcionalidad. El método consiste en simular tanto la capacidad de producción de energía localmente así como la necesidad energética, ambos sobre una base horaria a través de balances de energía y elementos matemáticos de modelado de paneles FV, inversores y baterías. Este estudio permite conocer qué parte de la energía utilizada hoy en día en la industria procesadora pesquera venezolana puede ser captada a través de la energía solar FV, con el objeto de proponer el reemplazo de los grupos electrógenos actuales y conseguir a mediano plazo un desarrollo industrial parcial sostenible, especialmente en estas actividades que generan alimentos, ingresos y reducción en el impacto ambiental. Finalmente se presentan especificaciones técnicas para la implementación de estos sistemas.

**Palabras clave:** energía, fotovoltaico, pesca, refrigeración, solar.

## 1. INTRODUCCIÓN

La humanidad en su continuo desarrollo ha venido mejorando los criterios de supervivencia en el planeta, esto implica directamente la disminución en el consumo de energía de origen fósil, para esto se ha propuesto de manera general la utilización de recursos renovables para la producción de energía eléctrica y su uso local o transmisión a los sitios donde sea requerida. Específicamente Venezuela exhibe un gran potencial en energías renovables como se presenta en la Tabla 1 siendo el recurso solar y el eólico las principales oportunidades aprovechables, no obstante, su explotación no ha evolucionado debido a las altísimas reservas de energía de origen fósil y al bajo precio de la energía en general. Asimismo, el país cuenta con una red eléctrica nacional que cubre más del 95% de los centros poblados, pero cerca de un 25% de la población rural no tiene acceso a servicios energéticos permanentes debido fundamentalmente a su ubicación geográfica [1].

Por otra parte, se han venido instalando centros de procesamiento de pescado en Venezuela a través de los últimos años bajo el esquema de propiedad social, ubicados en sitios rurales cercanos a la costa de los principales ríos del país y del mar Caribe, estos centros de procesamiento poseen un alto requerimiento energético derivado principalmente de la utilización de equipos de refrigeración cuya demanda debe ser satisfecha localmente con equipos electrógenos consumidores de gasoil ya que las redes eléctricas locales no pueden soportar la carga energética. Por tanto, el trabajo pretende cuantificar inicialmente la cantidad de energía que se necesita en los principales procesos de producción y almacenamiento, para luego en función de las variables meteorológicas y la selección de equipos de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica proponer un arreglo con viabilidad técnica.

Tabla 1: Potencial de energías renovables en Venezuela [2]

Fuente	Especificaciones	Potencial (GW)
Minihidro	Hasta 50 MW/instalación	4,5
Bioenergía	Leña, siembras, residuos,	11,7
Energía solar	15 % conversión, 1 % TN <sup>1</sup> , 0,3 PM <sup>2</sup>	157,2
Energía eólica	3 % conversión, 4 % T.N	48,9
Energía Geotérmica	2,5 % TN	5,2
Otras ER	Oceánicas, Híbridos	18,36
Hidro en gran escala		63,8
	Total	309,6

<sup>1</sup> Territorio Nacional    <sup>2</sup> Plataforma marina

## 2. INDUSTRIA PESQUERA SOCIALISTA EN VENEZUELA

Venezuela es uno de centros pesqueros de mayor importancia en el área del mar Caribe, con una producción anual superior a 400.000 t, obtenidas de sus entornos marítimos y fluviales de gran variedad los cuales han sido explotados a través del tiempo [3]. Bajo este esquema el gobierno nacional ha impulsado la construcción de centros de procesamiento pesquero así como centros de distribución de producto a lo largo y ancho del país, para atender la explotación pesquera proveniente de la pesca artesanal no tradicional. Como se mencionó previamente, estos centros de procesamiento se encuentran ubicados en lugares rurales donde la red eléctrica apenas es suficiente para alimentar los centros poblados, lo que obliga a producir la energía localmente usando para ello grandes cantidades de gasoil, lo que obliga a incurrir en altos costos de operación para su adquisición y transporte así como los bien conocidos efectos negativos al medio ambiente.

### 2.1. TIPOS DE CENTRO DE PROCESAMIENTO

Existen diferentes tipos de procesamiento pesquero de acuerdo al tipo de producto que se procesa localmente, pero en términos generales existen cuatro tipos de instalaciones:

- Centros de procesamiento para productos de río.
- Centros de procesamiento para productos de mar.
- Centro de procesamiento de sardinas.
- Centro de procesamiento para atún.
- Centros de distribución.

A efectos del desarrollo de este trabajo se tomará un centro de procesamiento para productos de río ubicado en las cercanías de la localidad de El Baúl, al sur del estado Cojedes como se observa en la Figura 1, ya que es una planta en pleno funcionamiento, se encuentra en una zona de relativa media radiación respecto al país lo que constituye una propuesta conservadora, la red eléctrica solo tiene capacidad para abastecer el centro poblado y los alrededores de la planta están desocupados con poco interés agropecuario.

Básicamente estos centros cuentan con las siguientes áreas:

- Recepción y almacenaje de materia prima
- Sala de extracción de escamas y vísceras.
- Túnel de congelación.
- Sala de fileteado
- Cámara de producto terminado
- Máquina de hielo en escamas.



Figura 1: Ubicación geográfica de El Baúl estado Cojedes (Tomado de Google Maps)

Para lograr las temperaturas de proceso el centro cuenta con equipos de refrigeración compactos, con ciclo de refrigeración por compresión de vapor de diferentes capacidades dependiendo de la aplicación local.

### 3. ENERGÍA SOLAR EN VENEZUELA

Debido a la ubicación de Venezuela en la zona intertropical junto al mar Caribe, el país cuenta con valores de radiación solar relativamente aceptables, los cuales expresados en forma de mapas de potencial se presentan en la Figura 2 donde los valores máximos de radiación pueden alcanzar valores de hasta  $850 \text{ W/m}^2$  para totalizar unos  $6,5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$  de insolación en la zona costera.

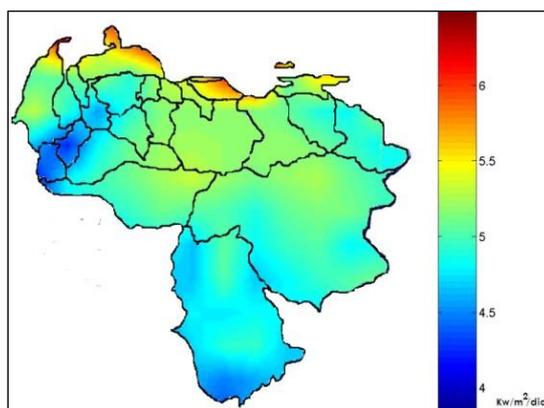


Figura 2: Mapa de insolución [4]

En cuanto al aprovechamiento de las ER, el estado venezolano, quien tiene en sus manos toda la estructura del sistema energético, ha estado impulsando varias acciones de fomento y desarrollo de la energía solar fotovoltaica (FV), el programa Sembrando Luz, destinado a proveer de servicios de energía permanentes y eficientes a poblaciones rurales y aisladas que no disponen de conexión a la red de suministro eléctrico tradicional. Para fines de 2012, se habían instalado 3.139 sistemas, con una potencia total instalada de 2,5 MW abasteciendo a más de 257 mil habitantes de 1.020 comunidades rurales [5], no obstante este programa no toma en cuenta la electrificación de empresas ubicadas en zonas rurales.

### 3.1. DATOS METEOROLÓGICOS

La información meteorológica que se requiere para hacer la propuesta es la radiación solar horaria y la temperatura ambiental horaria, esto con la intención de modelar un sistema fotovoltaico de características estándar. Los datos horarios de un año para la zona seleccionada fueron proporcionados a los investigadores por estaciones meteorológicas de la zona, asimismo como medida de verificación de la información estos datos se han contrastado con los valores recogidos de manera satelital por la NASA [6] la cual a su vez presenta distintas variables asociadas al diseño de sistemas fotovoltaicos en función de su latitud. Longitud y altura sobre el nivel del mar como puede observarse en la Figura 3.

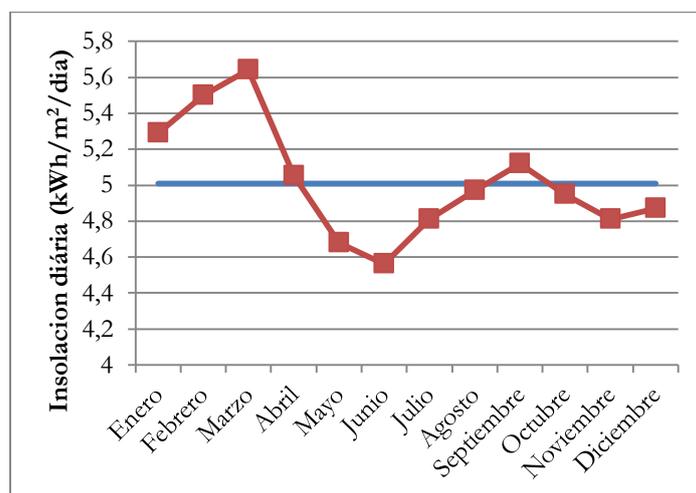


Figura 3: Insolución diaria promedio por mes para El Baúl. Estado Cojedes.

Aunque un parámetro fundamental en el diseño de un sistema fotovoltaico es la máxima cantidad de días sin radiación o días oscuros, lo cual denota el tamaño del sistema de respaldo de energía lo cual puede observarse en la Figura 4.

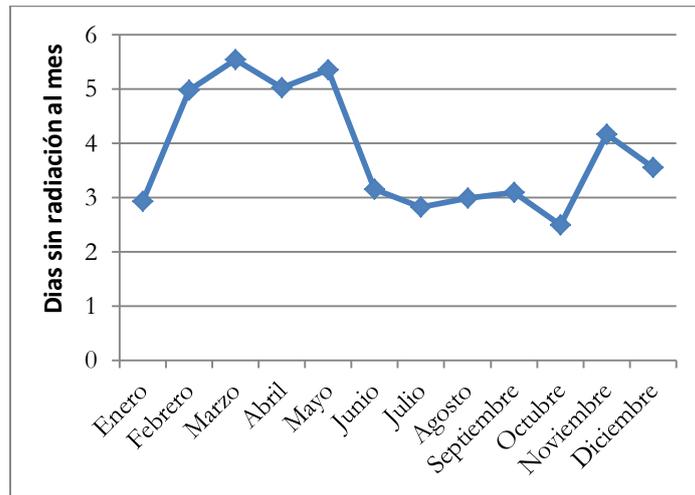


Figura 4: Máxima cantidad de días sin radiación para El Baúl Estado Cojedes

La temperatura del panel fotovoltaico es un modificador de alta incidencia en el desempeño del efecto fotovoltaico [7], que puede disminuir hasta un 20% de energía producida respecto a las condiciones estándar de operación. Esta temperatura depende principalmente de la temperatura del aire que circunda los dispositivos [8]. Entonces se presenta en la de la misma forma la temperatura promedio mensual tomada a 10 m de altura

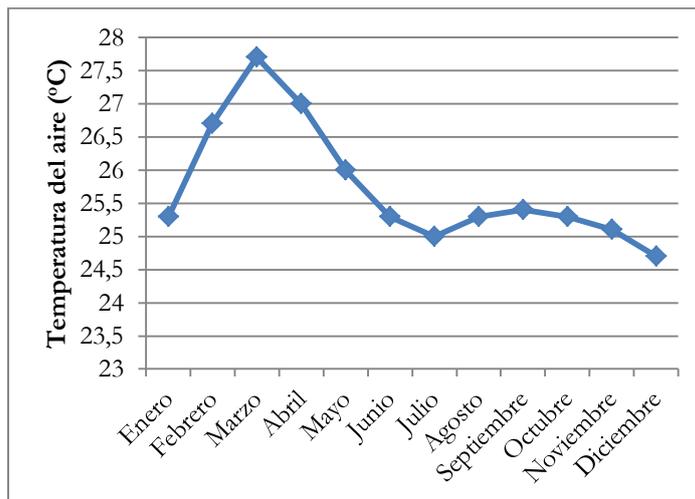


Figura 5: Temperatura promedio del aire a 10 m para El Baúl, estado Cojedes

#### 4. MODELO FOTOVOLTAICO

El modelo propuesto utiliza una modificación del modelo simple que se presenta en el Energyplus Engineering Reference [9] y en la referencia [10] en el cual la radiación incidente sobre el panel fotovoltaico (FV) se multiplica por factores de eficiencia correspondientes a parámetros que ajustan la potencia máxima aprovechable. La ecuación (1) expresa la potencia instantánea producida de un sistema FV por medio del modelo simple.

$$P_{FV} = G_T A_{N,FV} f_{activ} \eta_{celda} \eta_{inv} \eta_{otros} \quad (1)$$

Donde  $G_T$  es la radiación total instantánea,  $N_{panel}$  el número de paneles FV,  $A_{N,FV}$  es el área neta superficial con paneles FV,  $f_{activ}$  es la fracción de área superficial con celdas fotovoltaicas activas,  $\eta_{celda}$  es la eficiencia de conversión del módulo,  $\eta_{inv}$  es la eficiencia de conversión del inversor DC-AC y el parámetro  $\eta_{otros}$  es propuesto por la CEC [11] como se presenta en la ecuación (2), donde  $\eta_{std}$  corresponde a la desviación de las condiciones estándar de prueba,  $\eta_{temp}$  es el factor de reducción por temperatura,  $\eta_{perd}$  es el factor de reducción por pérdidas eléctricas y  $\eta_{sucio}$  es el factor de reducción por sucio y polvo.

$$\eta_{otras} = \eta_{std} \eta_{temp} \eta_{perd} \eta_{sucio} \quad (2)$$

El factor de reducción por temperatura se presenta en la ecuación (3) [7].

$$\eta_{temp} = 1 - \tau (T_{op} - T_{ref}) \quad (3)$$

Donde  $T_{op}$  es la temperatura de operación del módulo y  $\tau$  es el coeficiente de temperatura típico para paneles fotovoltaicos. Aunque hay diferentes correlaciones que se presentan en la literatura para el cálculo de la temperatura de operación, se presenta en la ecuación (4), una expresión aceptada [8] como función de la temperatura ambiente ( $T_a$ ), la temperatura nominal de operación de la celda ( $NOCT$ ), la radiación total ( $G_T$ ) y la radiación solar obtenida a las condiciones nominales ( $G_{NOCT}$ ).

$$T_{op} = T_a + (NOCT - 20^\circ C) \frac{G_T}{G_{NOCT}} \quad (4)$$

## 5. PROPUESTA DE IMPLANTACIÓN

Debido a la gran cantidad de energía que requiere un centro pesquero, específicamente en los asociados a los sistemas de refrigeración, se propone inicialmente la implementación de un sistema fotovoltaico como complemento del sistema electrógeno. Después de analizar las posibles áreas de implantación en el centro pesquero seleccionado, se ha convenido realizar la propuesta sobre la cámara de producto terminado, ya que en los otros sitios puede manipularse una eventual falla del sistema electrógeno. En cuanto a la carga eléctrica, los equipo de refrigeración críticos a suplir tienen una demanda eléctrica de 6,5 kW cada uno y después de realizar un monitoreo de su funcionamiento se ha encontrado que se encuentran encendidos cerca del 75% del tiempo.

Técnicamente la instalación de los paneles fotovoltaicos se tiene que realizar sobre el techo de la planta, la cual tiene facilidad estructural para tal fin, debe preverse la utilización de un inversor de corriente para lograr la carga de baterías si corresponde el caso o acondicionar la energía para su uso inmediato.

### 5.1. LA SIMULACIÓN

Esta sección presenta la información acerca de las variables utilizadas durante la simulación, los parámetros utilizados en la simulación de los módulos fotovoltaicos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 Parámetros del módulo solar

Parámetro	Valor
$f_{activ}$	86,5%
$\eta_{celda}$	20,8%
$\eta_{inv}$	90%
$\eta_{std}$	95%
$\eta_{perd}$	95%
$\eta_{sucio}$	93%
$\tau$	$0.004 K^{-1}$
$NOCT$	$46^\circ C$
$G_{NOCT}$	$800 W/m^2$
$T_{ref}$	$25^\circ C$

Por otra parte puede decirse que la intención inicial es contabilizar la cantidad de energía solar fotovoltaica que pudiera captarse en el área de techos de oficinas y galpón de procesamiento la cual es de  $700 m^2$ .

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de aplicar el modelo propuesto en las simulaciones, la cantidad de energía promedio disponible por cada día se presenta la Figura 6, esto es, el sistema fotovoltaico produciendo electricidad a su máxima eficiencia durante todo el periodo soleado de un día para cada mes. Dado que las simulaciones toman en cuenta la radiación instantánea, los valores presentados corresponden a una aproximación efectiva del proceso.

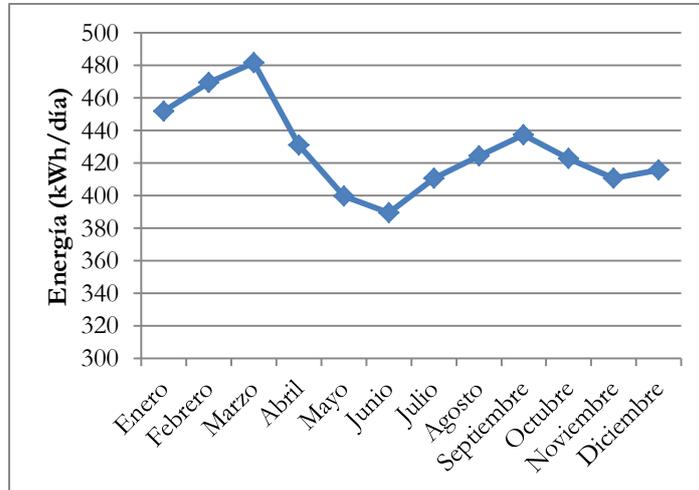


Figura 6: Promedio de energía disponible por generación fotovoltaica para 700 m<sup>2</sup>

En la Figura 7 puede observarse la demanda de energía que pudiese ser satisfecha mediante la colocación de paneles fotovoltaicos en el techo de las instalaciones, la curva que refleja la capacidad de producción para la satisfacción parcial de la carga eléctrica por el periodo soleado mínimo de 8 hr al día. Puede notarse que dicha capacidad es cercana a los 50 kW (~ 67 hp), por lo que puede suplirse diferentes equipos de refrigeración de forma total, cuya selección no forma parte del objeto de esta investigación.

En el caso de evaluar la propuesta de implantar un sistema de respaldo con baterías para uniformizar la disponibilidad energética y contar con un sistema autónomo para mantener las áreas críticas como la de producto terminado las 24 hr, se presenta la opción de satisfacción de carga en ese periodo, como puede notarse este arreglo es capaz de mantener en funcionamiento la cámara de producto terminado en caso de avería del sistema electrógeno ya que su capacidad de producción es de unos 15 kW (~ 20 hp).

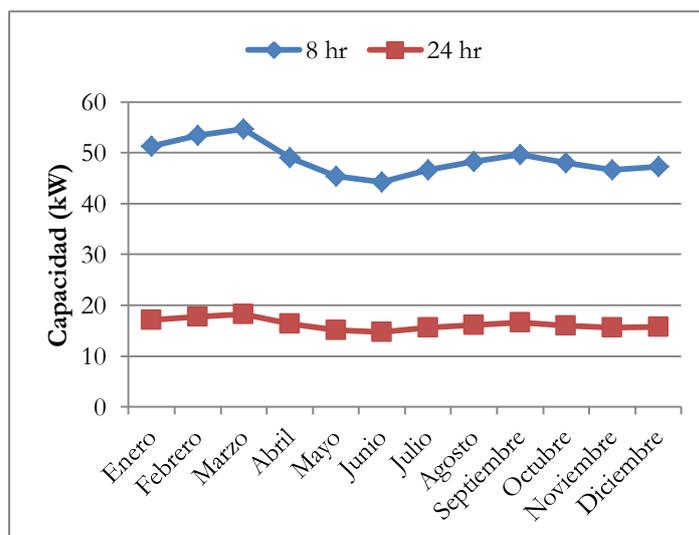


Figura 7: Capacidad de producción eléctrica promedio para satisfacer periodos de carga de 8 hr y 24 hr

## 7. CONCLUSIONES

El uso de energía solar fotovoltaica es una opción viable para el suministro de energía limpia a centros pesqueros ubicados en Venezuela, lo cual queda demostrado con los resultados presentados, que son favorables aun cuando el estudio se realizó en zonas de radiación solar relativamente baja en el país, quedando claro que mayor cantidad de energía puede extraerse en centros pesqueros ubicados en la región costera donde la insolación diaria puede alcanzar valores de 6,5 kWh/m<sup>2</sup>/día.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Energía y Minas, Plan Operativo de Energías Renovables, Caracas, 2002.
- [2] J. Martínez, Potencial Energético de los Recursos Aprovechables, Caracas: Ministerio de Energía y Minas, 2002.
- [3] INSOPESCA, "Generalidades de la pesca en Venezuela," [Online]. Available: [http://www.insopesca.gob.ve/?page\\_id=866](http://www.insopesca.gob.ve/?page_id=866). [Accessed 15 Julio 2013].
- [4] A. Mejías and A. Principal, Caracterización de la energía solar en Venezuela (Tesis de Grado), San Cristobal: Universidad Nacional Experimental del Táchira, 2006.
- [5] Ministerio de Energía y Petróleo, Petróleo y otros datos estadísticos, Caracas: Ministerio de Energía y Petróleo, 2010.
- [6] National Aero Spatial Administration, "Surface Meteorology and Solar Energy," NASA, [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi>. [Accessed 18 Julio 2013].
- [7] E. Skoplaki and J. Palyvos, "On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations," *Solar Energy*, vol. 83, pp. 614-624, 2009.
- [8] R. Ross, "Flat-plate photovoltaic array design optimization," in *14th Photovoltaic Specialists Conference*, San Diego, CA, 1980.
- [9] U.S. Department of Energy, EnergyPlus Engineering Reference, U.S. Department of Energy, 2010.
- [10] M. Sidrach-de-Cardona and L. Mora, "A simple model for sizing stand alone photovoltaic systems," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, no. 55, pp. 199-214, 1998.
- [11] California Energy Commission, A guide to photovoltaic system design and installation, Sacramento, CA: California Energy Commission, 2001.
- [12] Sanyo Components Co., "HIT Photovoltaic Module," 2012. [Online]. Available: <http://www.sanyo-solar.eu>. [Accessed 01 07 2012].
- [13] National Aerospace Administration, "Surface meteorology and Solar Energy," NASA, [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi>. [Accessed 10 Febrero 2013].
- [14] G. Shrestha and L. Goel, "A study on optimal sizing of stand-alone photovoltaic stations," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 13, no. 4, pp. 373-378, 1998.
- [15] W. Shen, "Optimally sizing of solar array and battery in a standalone photovoltaic system in Malaysia," *Renewable Energy*, no. 34, pp. 348-352, 2009.
- [16] J. Samimi, E. Soleimani and M. Zabihi, "Optimal sizing of photovoltaic systems in varied climates," *Solar Energy*, vol. 60, no. 2, pp. 97-107, 1997.