

# Energía solar fotovoltaica en la Isla de San Andrés, Colombia Propuesta para viviendas unifamiliares

## Photovoltaic solar energy in San Andrés Island, Colombia Proposal for houses

**Cristian Gutiérrez<sup>1</sup>, G. A. Carreño<sup>2</sup>, Andrea Morón<sup>3</sup>, Y. C. Tobón<sup>4</sup>, Germán López<sup>5</sup>**

### **Resumen**

En este artículo se presenta una propuesta de suministro de energía eléctrica amigable con el medio ambiente para aplicar en algunos barrios marginales de la isla de San Andrés (Colombia) donde se observan problemas de suministro de energía eléctrica por estar por fuera del sistema interconectado nacional. La generación eléctrica opera con base en plantas diésel, lo que implica un alto costo de producción, principalmente por la compra y transporte del combustible, además de ser una tecnología emisora de gases de efecto invernadero. La propuesta pretende aprovechar la energía solar, ya que la isla experimenta una radiación promedio diaria anual de 4,5-5,0 kWh/m<sup>2</sup>, que es óptima para la implementación del sistema.

**Palabras clave:** Medio ambiente, iluminación solar FV, energía eléctrica, radiación solar.

### **Abstract**

This paper presents a proposal for supplying electric energy is friendly to the environment presented, applicable in some slums of San Andres Island Colombia, they have problems with electrical power, to be on the outside of the national grid, its generation is with plant-based diesel, which generates a high cost of production, primarily for the purchase and transport of fuel, as well as being a technology emitting greenhouse gases. The proposal aims to harness solar energy as the island experienced an annual average daily radiation of 4.5 - 5.0 kWh / m<sup>2</sup>, which is optimal for the system implementation.

**Key words:** Environment, PV system illumination, electricity, solar radiation.

1 Estudiante de Electromecánica, v semestre, Semillero Energías Renovables, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, D. C., lancerogutierrez@hotmail.com.

2 Estudiante de Procesos Industriales, vi semestre, Semillero Energías Renovables, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, D. C., giovannyandrey@hotmail.com.

3 Estudiante de Procesos Industriales, vi semestre, Semillero Energías Renovables, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, D. C., andreamoron\_03@hotmail.com.

4 Estudiante de Procesos Industriales, vi semestre, Semillero Energías Renovables, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, D. C., yaritzacuin@hotmail.com.

5 Docente de Electromecánica, director Semillero Energías Renovables, Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, Bogotá, germanlopezm@yahoo.es.

---

## 1. **Introducción**

Es de gran importancia la utilización de energías renovables amigables con el medio ambiente, con el fin de mitigar la contaminación, desde la utilización de materiales para la generación de energía hasta la disposición de estos. Por tal razón, estudiantes de la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ET-ITC), integrantes del grupo de investigación Semillero de Energías Renovables (SER), se interesaron en realizar una posible adaptación de un sistema de suministro de energía eléctrica con energía solar fotovoltaica en viviendas unifamiliares en uno de los barrios populares de la isla de San Andrés, con el fin de hacer un aporte de suministro de energía a estas comunidades y al ecosistema de la isla.

## 2. **Justificación**

La búsqueda de soluciones energéticas se proyecta hacia la utilización de métodos amigables con el medio ambiente que mitiguen la contaminación. Además de la creciente demanda de energías renovables —que dejan a un lado métodos convencionales para la obtención de energía—, estas han cumplido un papel importante, ya que motivan a las instituciones educativas a investigar sobre este tema.

La realización de este proyecto se basa en plantear una solución que pueda generar expectativas para el desarrollo de nuevos proyectos e incentivar el uso de esta tecnología en el territorio colombiano, en especial, por el apoyo en incentivos económicos y las grandes oportunidades de desarrollo que se plantean en la ley de integración de las energías renovables al sistema energético, 1715 de 2014.

## 3. **Objetivo general**

Calcular un sistema solar fotovoltaico para una vivienda unifamiliar típica de la isla de San Andrés (Colombia), con el fin de evaluar la posibilidad de implementar este sistema en sus barrios marginales.

---

## 3.1. **Objetivos específicos**

Seleccionar los equipos y dispositivos de la instalación solar fotovoltaica, dependiendo de la demanda energética por suplir y de la radiación solar disponible.

Realizar un análisis de costos de la inversión del sistema.

## 4. **Marco teórico**

La energía suministrada por el sol sobre elementos receptores como los paneles solares es el resultado de un proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el interior del sol. Esa radiación solar se puede transformar directamente en electricidad (energía solar eléctrica) o en calor (energía solar térmica). La energía del sol se transforma en electricidad mediante células fotovoltaicas, aprovechando la propiedad que tienen los materiales semiconductores. El material semiconductor utilizado comúnmente en la fabricación de la mayoría de los paneles fotovoltaicos es el silicio: la electricidad se genera a partir de la incidencia de los rayos del sol sobre un material semiconductor; los fotones contenidos en la luz entregan su energía a los electrones que se desprenden y pasan de una banda de valencia a una banda de conducción. Para favorecer el proceso de liberación de electrones, se agregan pequeñas dosis de átomos contaminantes; a este proceso se le denomina dopado del semiconductor. Para poder proveer de energía eléctrica a una vivienda a cualquier hora del día mediante paneles fotovoltaicos, se requiere un banco de baterías en el que se acumula la energía eléctrica generada durante el transcurso del día, y está disponible para su uso cuando se requiera. Un banco de baterías es posible usarlo cuando los consumos de energía son relativamente bajos, como los que se presentan en una vivienda unifamiliar.

## 5. **Metodología**

La metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto es de tipo cuantitativo: Se examinan los

datos de manera numérica a través de los cálculos necesarios para la selección de los paneles y los elementos requeridos en la instalación, además de los datos de radiación solar disponibles en la isla.

Se parte de la determinación de la demanda de energía eléctrica para una vivienda unifamiliar típica de la zona. A continuación se determina el mes más bajo en radiación solar, para proceder con la selección de los paneles solares y demás equipos de la instalación; por último, se hace una evaluación económica del costo de la instalación y se calcula su período de recuperación, para ver su viabilidad.

## 6. Cálculo de la energía por suplir diariamente

Esta cantidad depende del tipo de aparatos o equipos eléctricos y del número de horas de uso en un día.

Para el presente trabajo se estimaron los equipos, dispositivos eléctricos y número de horas de uso en una familia típica de cinco miembros; estos datos se relacionan en la tabla 1.

EQUIPOS	POTENCIA (W)	(HORAS/ DÍA)	CANTIDAD	TOTAL (W-h)
Licudora	140	0,2	1	28
Nevera	230	7	1	1.610
Televisor	100	3	1	300
Plancha	1.000	0,1	1	100
Ventilador	80	4,5	1	360
Computador	200	2,5	1	500
Luminarias	15	4,5	6	405
Total	—	—	—	3.303

**Tabla 1.** Detalle de equipos y consumo típico en una vivienda unifamiliar de San Andrés isla.  
Fuente: Los autores.

El consumo diario en corriente alterna es de 3.303 W-h. Este valor hay que afectarlo por el rendimiento del inversor o convertidor, en este caso se toma 0,90, que corresponde a un valor típico. Por lo tanto, la energía de consumo diario  $E_d$  del proyecto es

$$E_d = \frac{3.303 \text{ Wh}}{0,9} = 3.670 \text{ Wh}$$

La carga por generar ( $C_G$ ) es  $C_G = C_D$  [Ah] (1)

$C_d$  = carga consumida diaria; a su vez,

esta se calcula con la ecuación

$$C_d = \frac{E_d}{V_{tr}} = \frac{3.670 \text{ Wh}}{24 \text{ v}} = 152,9 \text{ [Ah]} \quad (2)$$

La tensión de trabajo ( $V_{tr}$ ), en el banco de baterías, se determinó de 24 V CD, como se aprecia más adelante. Para determinar el número total de paneles fotovoltaicos ( $N_T$ ), se parte de la potencia pico generada por los paneles  $P_{PG}$  multiplicada por el número de horas de sol pico HSP, así:

$$E_G = P_{PG} \times \text{HSP} \text{ [Wh]} \quad (3)$$

Se hace una preselección de un panel fotovoltaico; en este caso se escoge, después de varias iteraciones, un panel policristalino de 290 W pico con una tensión pico por módulo ( $v_{PM}$ ) de 35,93 V y una corriente pico ( $i_{PM}$ ) de 8,07<sup>a</sup>. Por otro lado:

$$E_G = v_{PM} \times i_{PM} \times N_s \times N_p \times \text{HSP} \quad (4) \text{ (Ortega, 2000)}$$

donde  $N_s$  y  $N_p$  corresponden a la cantidad de paneles en serie y en paralelo, respectivamente, necesarios para determinar el número total de paneles y su forma de conectarse, con el fin de cubrir la demanda de energía. El número de HSP tomado para la isla de San Andrés –según el Ideam (Julio Mario Rodríguez Devis, Publicaciones UN y Empresa de Energía de

Bogotá, 1997)– fue 5,1 h. En la tabla 2 se muestran los datos técnicos del panel preseleccionado.

Potencia Max [W]	290 W
Tensión a potencia Max $v_{PM}$ [V]	35,93 V
Intensidad a potencia Max $i_{PM}$ [A]	8,07 A
Tensión en circuito abierto $v_{oc}$ [V]	44,67 V
Corriente en cortocircuito $i_{sc}$ [A]	9,87 A

Tabla 2. Datos técnicos del panel fotovoltaico preseleccionado

Al calcular la carga que genera el panel ( $C_G$ ), se obtiene:

$$C_G = \frac{E_d}{V_{PM}} = \frac{3.670 \text{ Wh}}{35,93 \text{ v}} = 102,14 \text{ [Ah]} \quad (5)$$

El número de paneles en paralelo ( $N_p$ ) se calcula así:

$$N_p = \frac{C_G}{i_{PM} \times \text{HSP}} = \frac{102,14 \text{ Ah}}{8,07 \text{ A} \times 5,1 \text{ h}} = 2,48 \sim 3 \quad (6)$$

El número de paneles fotovoltaicos en serie ( $N_s$ ) se calcula así:

$$N_s = \frac{V_{tr}}{V_{PM}} = \frac{24 \text{ v}}{35,93 \text{ v}} = 0,67 \sim 1 \quad (7)$$

El número total de paneles ( $N_T$ ) es:

$$N_T = N_p \times N_s = 3 \times 1 = 3 \quad (8)$$

Por otra parte, la carga del banco de baterías ( $C_B$ ) que garantiza la autonomía de esta instalación, tomando dos días de autonomía y una profundidad de descarga ( $p_d$ ), de la batería de plomo/ácido libre de mantenimiento de 0,5 de profundidad de descarga, es:

$$C_B = \frac{C_d \times n.^\circ \text{ de días de autonomía}}{pf} = \frac{152,9 \text{ Ah} \times 2}{0,5} = 611,6 \text{ Ah} \quad (9)$$

De este modo, se escogen 10 baterías de 12 V y 125 A-h conectadas 2 en serie, para alcanzar la tensión de 24 V CD y 5 en paralelo para lograr una carga máxima de 625 A-h.

Para el sistema de control de carga del banco de baterías se escogen 2 reguladores de carga de 20 A Max (para un total de 40 A Max) y tensión de circuito abierto de 100 V, con los cuales se cubren las necesidades de carga del banco de baterías; el rendimiento que indica el fabricante es superior al 98%.

En cuanto al sistema inversor de carga, que es el que permite convertir la CD (24 V) a CA (110 V), se escogió un 1 inversor de carga nominal 4.000 W y carga efectiva de 3.760 W, con una eficiencia del 94%, con el que se cubre la demanda de potencia del sistema completo.

En cuanto a la inclinación de los paneles, hay que tener en cuenta la ubicación de las casas en los barrios de la isla donde se proyectó su instalación. En este caso se tomaron como punto de cálculo las siguientes coordenadas: latitud norte de 12° 24' 16" y longitud oeste de 81° 37' 42". Por otro lado, se sabe que el valor promedio de la radiación solar en octubre es el menor de todo el año; por tanto, se toma este mes para ajustar la inclinación más apropiada de los paneles: inclinación aproximada de 17°, con orientación recomendada hacia el sur (Fernandez Diez, 2007).

El dimensionamiento de los demás elementos como protecciones eléctricas requeridas –tanto en CD como en CA, conexión a tierra, estudio y cálculo de la ubicación, la construcción del soporte para los paneles solares– se realiza de acuerdo con las recomendaciones de autores especializados (Ortega, 2000).

## 7. Análisis de costos

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los costos principales de la puesta en funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico aislado para la isla de San Andrés (Colombia).

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Panel policristalino 290 W 35,93 V	3	\$ 835.000	\$ 2.505.000
Regulador de carga de 20 A Max Voc 100 V	2	\$ 740.000	\$ 1.480.000
Baterías plomo/ácido tipo gel 12 V 125Ah	10	\$ 850.000	\$ 8.500.000
Inversor 12 V CC/110 V CA 4.000 W	1	\$ 1.650.000	\$ 1.650.000
Accesorios, complementos, mano de obra	-		\$ 2.100.000
TOTAL			\$ 16.235.000

**Tabla 3.** Costos de la instalación solar fotovoltaica propuesta a una vivienda unifamiliar en San Andrés isla (Colombia)

Con una inversión de \$ 16.235.000 y con un supuesto ahorro de cerca de 100 kW-h/mes, a \$ 230/kW-h, el proyecto se podría pagar en aproximadamente 706 meses (58,8 años aproximadamente), lo cual lo hace inviable y poco atractivo para una familia; sin embargo, para un proyecto con financiación estatal, es probable su implementación.

Con el fin de poder llevar a feliz término una iniciativa ecológica de este tipo, se debe pensar en subsidios gubernamentales, además de implementar rápidamente la aplicación de la Ley 1715 de 2014, la que permite la generación autónoma de energía por parte del usuario empleando fuentes energéticas renovables, como la solar FV, y hasta es posible convertirse en un generador de energía que pueda vender sus excedentes.

## 8. Conclusión

Aunque la propuesta aparentemente es inviable desde el punto de vista financiero del pro-

yecto, ya que se requiere algo más de 58 años para recuperar la inversión, no se descarta la posibilidad de pensar en subsidios gubernamentales que permitan la implementación de esta tecnología en la isla de San Andrés. El principal impacto positivo que se genera es en el ecosistema: se dejaría de emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera, beneficio que no ha sido cuantificado aún.

Una segunda opción es la implementación de la ley que da impulso al uso de las energías renovables por los usuarios finales (Ley 1715 de 2014), para convertirse en autogeneradores, e incluso permitir vender los excedentes, en el caso de poder conectarse al sistema interconectado, si existe.

Por último, se puede pensar en una solución intermedia, esto es, que el sistema no necesariamente cubra el total de la demanda energética, sino una parte de ella, para que su costo de inversión inicial no sea tan alto y el usuario pueda recuperar su inversión en períodos menores. Sin embargo, es necesario contar con un subsidio por parte del Estado.

## 9. Referencias bibliográficas

- Rodríguez Devis, J. (1997). Publicaciones UN y Empresa de Energía de Bogotá. *Energías. sus perspectivas, su conversión y utilización en Colombia*. Bogotá: Publicaciones UN.
- Arista Sur (16 de noviembre de 2006). *Sistemas de coordenadas geográficas*. Recuperado el 10 de enero de 2011, de Sistemas de coordenadas geográficas: [http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://aristasur.com/sites/default/files/image/sistemas\\_coordenadas\\_meridianos.gif](http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://aristasur.com/sites/default/files/image/sistemas_coordenadas_meridianos.gif)
- Censolar (1999). *La energía solar. Aplicaciones prácticas*. Sevilla (España): Progensa.

- Censolar* (10 de 09 de 2008). Recuperado el 13 de 01 de 2011, de Censolar: <http://www.pan-sogal.com/images/stories/principio.jpg>.
- Centro de Investigaciones en Energía (02 de 11 de 2008). *flickrcentro*. Recuperado el 20 de 01 de 2011, de flickrcentro: [http://farm1.static.flickr.com/116/255643227\\_4434a5422d.jpg&imgrefurl=http://flickr.com/photos/hdaniel/255643227/&usg=\\_\\_zydhDLFHPWlbM1\\_irc8hZTGGpA0=&h=333&](http://farm1.static.flickr.com/116/255643227_4434a5422d.jpg&imgrefurl=http://flickr.com/photos/hdaniel/255643227/&usg=__zydhDLFHPWlbM1_irc8hZTGGpA0=&h=333&).
- Fernández Díez, P. (10 de octubre de 2007). *Procesos termosolares en baja y media temperatura*. Recuperado el 09 de enero de 2011, de Procesos termosolares en baja y media temperatura: <http://es.libros.redsauce.net/index.php?pageID=12>.
- Heliocol (20 de 05 de 2008). *Heliocol.com*. Recuperado el 10 de 01 de 2011, de Heliocol.com: [www.heliocol.com.mx/news/images/glazed\\_flat\\_img\\_sp.gif&imgrefurl](http://www.heliocol.com.mx/news/images/glazed_flat_img_sp.gif&imgrefurl).
- Ortega Rodríguez, M. (2000). "Energía solar térmica". En M. Ortega Rodríguez, *Energías renovables* (pág. 328). Madrid: Paraninfo.
- Ortega R. M. (2000). *Energías renovables*. Madrid: Paraninfo.
- PCE Inst. (15 de julio de 2009). *PCE Inst.* Recuperado el 10 de enero de 2011, de PCE Inst.: <http://www.google.com.co/imgres?imgurl=http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/images/medidor-radiacion-pce-spm1-esquema.jpg&imgrefurl=http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/>.
- Placa Solar (10 de 09 de 2008). *Placa Solar.com*. Recuperado el 21 de 01 de 2011, de Placa Solar.com: <http://www.placa-solar.com/colectores-solares.html>.
- Registro CDT (12 de 05 de 2009). *Registro CDT. CL*. Recuperado el 22 de 01 de 2011, de Registro CDT. CL: <http://www.registrocdt.cl/FICHAS/ENERGIA/COLECTORES SOLARES>.
- Sedical (12 de 05 de 2009). *SEDICAL.COM*. Recuperado el 22 de 01 de 2011, de SEDI-CAL.COM: [www.sedical.com/images/DirFich/CPR17.jpg&imgrefurl=http://www.sedical.com/web/productos\\_listado.aspx-%3FCAT\\_ID%3D1%26SUB\\_ID%3D17&usg=\\_\\_o6dRCVStP6TC26FzmkZbpMQIOV8=&h=350&w=350&sz=69&hl=es&start=16&zoom=1&tbnid=j81EoL3wyEu\\_1M:&tbnh=125&tbnw=124&ei=XAK7Te\\_rE](http://www.sedical.com/images/DirFich/CPR17.jpg&imgrefurl=http://www.sedical.com/web/productos_listado.aspx-%3FCAT_ID%3D1%26SUB_ID%3D17&usg=__o6dRCVStP6TC26FzmkZbpMQIOV8=&h=350&w=350&sz=69&hl=es&start=16&zoom=1&tbnid=j81EoL3wyEu_1M:&tbnh=125&tbnw=124&ei=XAK7Te_rE).
- Solar Instruments (28 de noviembre de 2008). *Aula desolar fotovoltaica*. Recuperado el 04 de enero de 2011, de Aula desolar fotovoltaica: [http://www.solar-instruments.es/index\\_archivos/Page2891.htm](http://www.solar-instruments.es/index_archivos/Page2891.htm).
- Solener SA (01 de febrero de 2010). *Soluciones Energéticas, S. A.* Recuperado el 09 de enero de 2011, de Soluciones Energéticas, S. A.: <http://www.solener.com/index.html>.
- Unia (11 de 03 de 2010). *Recursos didácticos en abierto Unia (Universidad Internacional de Andalucía)*. Recuperado el 18 de 01 de 2011, de Recursos didácticos en abierto UNIA Universidad Internacional de Andalucía.: <http://ocw.unia.es/ciencias-de-la-ingenieria/caracterizacion-y-evaluacion-de-la-radiacion-solar/materiales-de-estudio/>.
- UPME-Ideam (10 de febrero de 2002). [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/2-Mapas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf). Recuperado el 13 de noviembre de 2014, de [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/2-Mapas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf): [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/2-Mapas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/2-Mapas_Radiacion_Solar.pdf).
- Wikipedia (20 de abril de 2004). *El Sol*. Recuperado el 09 de enero de 2011, de El Sol: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sol>.