

7

ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN LA REGIÓN CARIBE PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO*

Por: Adalberto Jose Ospino Castro**

Fecha de recibido: 5 de julio de 2010 • Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2010

95

RESUMEN:

La utilización de los rayos solares para la generación de energía eléctrica se ha incrementando en los últimos años, debido principalmente al cambio climático, por tanto es importante demostrar que para la región Caribe existe potencial energético derivado del aprovechamiento de la radiación solar para la utilización de sistemas renovables de energía. Para el proyecto se toma como muestra para el estudio del potencial energético el departamento del Atlántico basado en los mapas de radiación solar de Colombia diseñados por el IDEAM, ya que los mismos permiten obtener parámetros de construcción, y viabilidad técnica. Como resultado se obtiene una metodología que permite establecer los parámetros a tener en cuenta para el desarrollo de los sistemas renovables fotovoltaicos y se realiza a futuro el estudio de viabilidad técnico-económico de implementación de estos sistemas seleccionando el área adecuada obteniendo la tecnología adecuada a las condiciones de la región.

PALABRAS CLAVE:

Radiación solar, Factibilidad, Tecnologías renovables, Energía fotovoltaica.

Revista Inge-CUC / Vol. 6 - No. 6 / Octubre 2010 / Barranquilla - Colombia / ISSN 0122-6517



* Proyecto de Investigación Estudio de Factibilidad para la Selección de la Mejor Variante Tecnológica que Permita Disminuir Costos de Energía Eléctrica, del Grupo de Investigación en Optimización Energética GIOPEN, en la línea de investigación Fuentes Renovables de Energía. Investigador Principal Adalberto J. Ospino Castro.

** Ingeniero electrónico, aspirante a magíster de Ingeniería de Control y Automatización de Procesos en la Universidad URBE (Venezuela). Docente Tiempo Completo del programa de Ingeniería Eléctrica. Corporación Universitaria de la Costa, CUC. Calle 58 No. 55-66. aospino8@cuc.edu.co





7

ANALYSIS OF SOLAR ENERGY POTENTIAL IN THE CARIBBEAN REGION FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM DESIGN

By: Adalberto Jose Ospino Castro

ABSTRACT:

The use of sunlight to generate electricity has been rising in recent years, mainly due to climate change, so it is important to show that for the Caribbean there is the potential energy derived from the use of solar radiation for the use of renewable energy systems. For the project is taken as sample for the study of the energy potential of the Atlantic department based on solar radiation maps designed by the IDEAM

Colombia, since they allow to obtain parameters of construction and technical feasibility. The result is a methodology to set the parameters to be considered for the development of photovoltaic systems and renewable future is carried out technical and economic feasibility of implementing these systems by selecting the appropriate area getting the right technology to the conditions in the region.

KEY WORDS:

Solar radiation, Feasibility, Renewable technologies, Photovoltaic's.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el conocimiento de la disponibilidad de la energía solar, es indispensable para facilitar el aprovechamiento adecuado de los recursos energéticos mediante el uso de sistemas y tecnologías que lo transforman en diversas formas de energía útil; como los sistemas fotovoltaicos o térmicos que finalmente permiten la generación de energía eléctrica.

En Colombia las diferencias geográficas regionales definen una serie de factores muy claros para las características de incidencia de la radiación solar que pueden variar según la posición geográfica (montañoso o llano), y tienen en cuenta algunos factores como distancia al mar, el promedio de lluvias y las condiciones del suelo; que conllevan diferenciar en la cantidad de radiación solar que incide sobre cada región de Colombia.

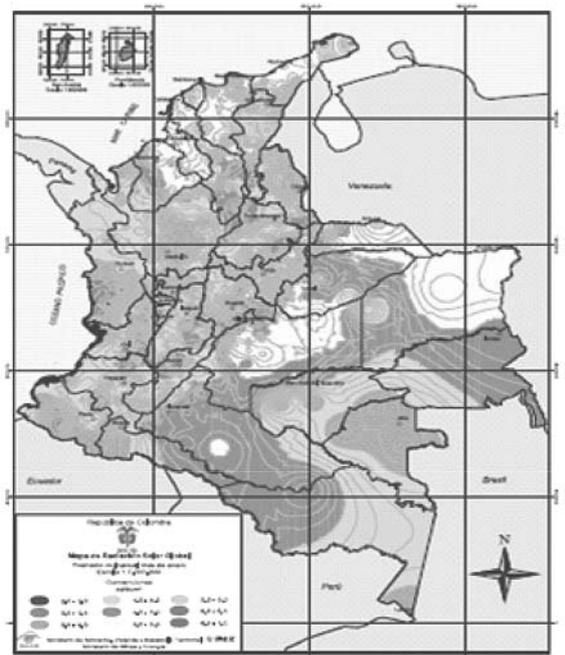
En la región Caribe la radiación o brillo solar incidente sobre el departamento del Atlántico tiene una relación directa con los valores de precipitación; de ahí que la menor radiación coincide con el período más lluvioso y la mayor radiación con la época menos lluviosa y seca alcanzando un nivel de radiación solar de 6,5 KWh/m², que se presenta una temperatura promedio entre 38 °C y 40 °C.

DESARROLLO

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en Colombia en el año 2005 publicó el segundo atlas de radiación solar en Colombia; este es un conjunto de mapas donde se representa la distribución espacial del potencial energético solar de Colombia; en estos mapas se establece el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado. En cada variable se muestran los valores promedio en el tiempo mediante 13 mapas, uno para cada mes del año y un mapa promedio anual.

Basándose en esta información se puede cuantificar la energía solar que incide sobre la superficie del país (ver figura 1). Para el caso de las zonas apartadas de las redes nacionales de transporte y distribución de energía, esta información es necesaria porque se puede utilizar en el dimensionamiento de sistemas o aplicaciones tecnológicas que a partir de la energía solar permiten el abastecimiento de energía eléctrica, con el fin de satisfacer diversos requerimientos como iluminación, comunicaciones, bombeo de agua, señalización o sistemas solares térmicos para el suministro de calor en calentamiento de agua o aire en secadores de productos agrícolas, además facilita la identificación de regiones estratégicas donde es más adecuada la utilización de la energía solar para la solución de necesidades energéticas de la población.[3]

Figura 1. Mapa radiación solar mes de enero



Fuente: Mapas de radiación solar IDEAM

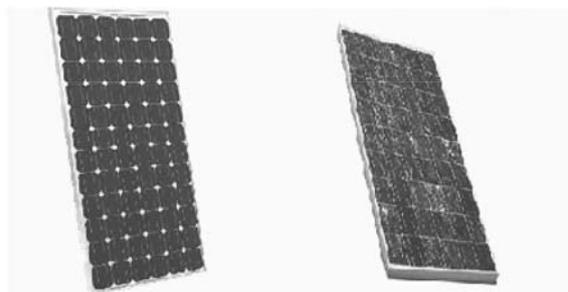
Se usan diferentes unidades para expresar el valor de la insolación de un lugar la más conveniente para nuestra aplicación es el Kilowatt por hora sobre metro cuadrado (KWh/m²).

Los fabricantes de paneles fotovoltaicos (FVs) determinan la máxima potencia eléctrica de salida usando una fuente con una potencia luminosa de 1 KW/m^2 . Por tanto, este valor, conocido con el nombre de SOL, se ha convertido en un estándar para la industria, facilitando la comparación de paneles de distintos orígenes. Recordando que $1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$, y que $1 \text{ KW} = 1.000 \text{ W}$, se tiene que:

$$1 \text{ SOL} = 1 \text{ KW/m}^2 = 100 \text{ mW/cm}^2$$

Las dos cantidades son usadas, indistintamente, en las especificaciones de paneles fotovoltaicos [4]. Para el proyecto, se tiene en cuenta el mismo valor, para la comparación de los diferentes paneles a utilizar en el estudio.

Figura 2. Tipos de paneles



Silicio Puro monocristalino

Silicio puro policristalino

Fuente: <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm>

El valor de la irradiación cambia al variar la masa de aire, la que cambia constantemente desde el amanecer al anochecer. Para simplificar el cálculo de la energía eléctrica generada diariamente por un panel fotovoltaico, se acostumbra a definir el día solar promedio. Este valor es el número de horas, del total de horas entre el amanecer y el anochecer, durante el cual el Sol irradia con una potencia luminosa de 1 SOL.

En la región Caribe se puede encontrar una tasa muy alta de radiación solar debido a la posición en la línea del Ecuador y la ubicación geográfica de costa, ya que los rayos solares inciden directamente y por tanto, la radiación solar resulta ser

más intensa en esa área.

El programa de Ingeniería Eléctrica-CUC en convenio con la Fuerza Aérea (CAMCON3) optan por trabajar en un diseño de un sistema fotovoltaico para ser ubicado en una de las áreas seleccionada durante el estudio buscando mantener ahorros en los consumos de energía eléctrica.

Para iniciar el proyecto es importante determinar el sector adecuado y tomarlo como punto de partida para la toma de datos e implementación de la tecnología demostrando la viabilidad técnica y económica que demuestre el ahorro energético que se obtiene al utilizar estos sistemas.

Para realizar el diseño del sistema fotovoltaico se tiene en cuenta como primer aspecto a considerar el consumo racional de la energía. Es importante conocer cuánta energía eléctrica se requiere en el objetivo a electrificar, teniendo en cuenta las características eléctricas de los equipos (potencia) y el tiempo de empleo por parte del usuario del sistema. Es decir, fue necesario conocer la corriente y la tensión de trabajo de los equipos instalados y el número de horas diarias de funcionamiento, teniendo en cuenta además las posibles ampliaciones que en el futuro se hagan en la instalación proyectada.

El diseño se basa en el manejo del sistema de iluminación haciendo referencia a 15 lámparas T12 (40W) instaladas en el área seleccionada, para un total de 600 W en potencia instalada y con un requerimiento promedio de 8 horas de uso diario.

Un segundo aspecto que se tuvo en cuenta es el promedio de insolación anual de la ciudad de Barranquilla que es de $5,4 \text{ KWh/m}^2$ [2], permitiendo establecer las horas pico solar que se define como las horas de luz solar por día en función de la irradiación solar.

Recordando que los paneles son evaluados usan-

$$DIA \text{ SOLAR} = \frac{5,4 \text{ KWh/m}^2}{1 \text{ KWh/m}^2} = 5,4 \text{ horas}$$

do una intensidad luminosa de 1 SOL, la duración del día solar promedio representa la cantidad de horas, del total de horas de luz diaria, en que el panel es capaz de generar la potencia máxima de salida especificada por el fabricante.

Los niveles de radiación varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación entre las 10 a.m. y las 2 p.m. (cerca del 60% de la radiación es recibida a estas horas), mientras que, cuando el ángulo del Sol está más cercano al horizonte llega menos radiación a la superficie de la Tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmósfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En zonas diferentes a los trópicos los máximos niveles se presentan en los meses de verano alrededor del mediodía.

La altitud también determina la cantidad de radiación que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y más delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares, de manera que a mayor altitud mayor radiación. En promedio, por cada 1.000 metros de incremento de la altitud, la radiación aumenta entre un 10% a un 12%. Las nubes pueden tener un impacto importante en la cantidad de radiación que recibe la superficie terrestre, generalmente las nubes densas bloquean más radiación que una nube delgada.[5]

Las condiciones de lluvia también reducen la cantidad de radiación. La contaminación trabaja en forma similar que las nubes, de tal forma que

Figura 3. Mapa radiación solar con franjas isolíneas



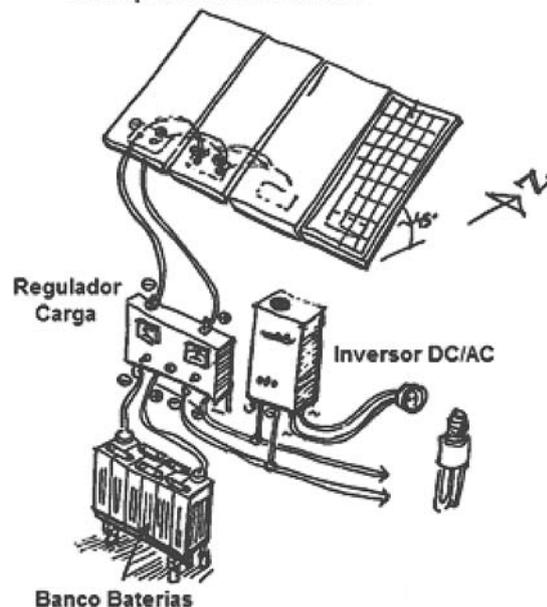
Fuente: mapas de radiación solar IDEAM

la contaminación urbana reduce la cantidad de radiación que llega a la superficie de la Tierra. En la práctica, se toma como valor de la radiación, el promedio de los meses de peor radiación solar durante el año.

Otro aspecto considerado en el proyecto fueron los días consecutivos sin Sol, para determinar la autonomía del sistema teniendo en cuenta que en estos días el sistema solar solo depende en su funcionamiento del banco de baterías. La determinación de este valor es muy importante, ya que fue posible establecer el tamaño del banco de baterías electroquímicas de acumulación, buscando la fiabilidad y el menor costo en el diseño del sistema. Para los cálculos en el diseño del sistema fotovoltaico, se toma como referencia el diseño mostrado en la figura 4.

Para el proyecto se emplea un margen de seguridad de sobredimensionamiento llamado rendimiento global con un valor de 0,75 para instalaciones con suministro de corriente alterna; ya que este coeficiente considera el envejecimiento de los paneles y baterías, polvo y suciedad sobre

Figura 4. Instalación fotovoltaica típica tomada como referencia para el diseño del sistema
Banco paneles Fotovoltaicos



Fuente: Iñaky Urkia, (2003), Energía renovable práctica.



el panel y conexiones eléctricas del cableado y otros accesorios eléctricos.

$$\begin{aligned} \text{Energía real necesaria} &= \frac{\text{consumo diario previsto}}{\text{rendimiento global}} \\ &= \frac{600 \text{ W}}{0.75} \end{aligned}$$

$$\text{Energía real necesaria} = 800 \text{ W}$$

La carga necesaria (energía real necesaria) es de 600 W, por tanto el inversor que puede ser seleccionado provee mínimo esta potencia considerando los valores teóricos, pero se decide adquirir un inversor que maneje una mayor carga de 800 W debido a que en la práctica se pueden presentar problemas de sobrecargas y se ha pensado en una ampliación del sistema en el futuro.

Si la potencia es de 800 W con una tensión de 110 V, la intensidad de la corriente eléctrica del sistema es:

$$I_{\text{corriente}} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje (ac)}} = \frac{800 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 7.28 \text{ A}$$

Los inversores consumen más energía de la que entregan, debido a pérdidas en el transformador y en la conversión electrónica. El factor que normalmente se usa es de 1,8 de la corriente que se entrega, sin embargo puede variar dependiendo de los materiales de fabricación de los elementos según los datos del inversor.

$$I_{\text{corriente}} = 7.28 \text{ A} \times 1.8 \cong 13.2 \text{ A}$$

Basándose en este valor de corriente se optimiza el diseño del banco de baterías haciendo referencia al siguiente concepto de diseño:

$$\text{Capacidad baterías (A.h)} = \frac{(\text{A.h/día}) \times N}{0.9 \times \text{PD}}$$

Donde:

N: Número de días de autonomía del sistema elegido en el diseño, se utilizarán tres días de autonomía.

PD: Profundidad de descarga diaria permitida al banco de baterías electroquímicas.

En general, para baterías del tipo estacionaria de plomo ácido con bajo contenido de antimonio (Sb) en la placa positiva se recomienda una profundidad de 70% (0,7). Si se utiliza una batería de plomo ácido del tipo de arranque automotriz se recomienda 30% de profundidad (0,3). Obteniendo como resultado:

$$\text{Capacidad baterías (Amp. h)} = \frac{(105.6 \text{ A.h/día}) \times 3 \text{ días}}{0.9 \times 0.7}$$

$$\text{Capacidad baterías (A. h)} = 502.8 \text{ A. h}$$

Con la obtención de este dato se selecciona el número de baterías considerando la capacidad nominal de batería (según especificaciones del fabricante); utilizando una especificación de batería marca Trojan referencia CSC-225 de 130 A.h y se obtiene un valor de 3,86 que muestra como resultado la ubicación de cuatro baterías que brindan una autonomía de tres días de funcionamiento para ocho horas por día en plena carga.

El número de paneles solares fotovoltaicos necesarios para un óptimo funcionamiento del sistema se selecciona basado en la siguiente ecuación:

$$N_p = \frac{P_{\text{inicial}}}{P_{\text{max nom}}} = \frac{800 \text{ W}}{130 \text{ W}} = 6.1$$

Se utilizan siete paneles fotovoltaicos con una potencia nominal de 130 W_p, tomada de la hoja característica de fabricante que para este estudio se seleccionan paneles de referencia KCI 30GH-2P.

Antes de implementar el diseño del sistema fotovoltaico hay que tener en cuenta el consumo real de energía que presenta en el área seleccionada; esta medida de consumo se logra independizando el sistema de luces de la sala instalando contadores de energía eléctrica para la toma de datos

con el fin de realizar las comparaciones con el diseño del sistema fotovoltaico propuesto y observar los cambios de los parámetros de diseño buscando la optimización del proceso ahorrando energía una vez implementado el sistema.

CONCLUSIONES

El conocimiento del comportamiento del potencial energético solar en Colombia es necesario porque facilita la identificación de regiones estratégicas por ser adecuada la utilización de la energía solar para la solución de necesidades energéticas. Colombia tiene un buen potencial energético solar en todo el territorio, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 KWh/m², el cual proyecta a la región en una posición estratégica para la explotación de la energía solar, además es importante tener en cuenta que las nuevas tendencias de las políticas energéticas de los diferentes países ha sido aumentar gradualmente el suministro de energía renovable; en el caso particular de Colombia, se ha profesado la Ley 697 de 2001 o comúnmente llamada Ley URE (Uso Racional de Energía) y el Decreto 3683 de 2003, los cuales buscan el fomento del uso racional y eficiente de la energía y promueven la utilización de energías alternativas, dando

el régimen general y los principios esenciales que rigen este tema.

La consideración de proyectos fotovoltaicos en la región Caribe suele ser escasa, quizás como consecuencia de la elevada fiabilidad de las redes eléctricas. No obstante, conviene recordar que una característica de esta aplicación es la simultaneidad que suele existir entre generación y consumo, que se traduce en consecuencias positivas para el sistema eléctrico (ahorro de emisiones futuras y reducción de pérdidas de transmisión y distribución).

El método propuesto está basado en el estudio del consumo real procedente de las medidas tomadas en la Fuerza Aérea CAMCON3, cuya variabilidad permitirá estudiar la influencia que ejercen el tamaño relativo del sistema en la relación costo-beneficio, los hábitos de consumo y el emplazamiento en su balance energético.

La formulación del diseño en una expresión analítica relativamente sencilla utilizada en el proyecto se emplea tanto para evaluar el grado de utilización directa de la energía fotovoltaica, como para analizar el posible efecto de medidas para el fomento de fuentes renovables y de uso racional de la energía.



BIBLIOGRAFÍA

BALBIS, Milen; TOVAR, Iván; BALAGUERA, Jorge (2009). *Energía solar térmica*. Editorial UNICOSTA.

Energía solar y sus propiedades. Radiación que llega a la tierra. <http://www.censolar.org>

GASQUET, Héctor (2004). *Conversión de la luz solar en energía eléctrica, Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos*. <http://www.epsea.org/esp/energiaelectronica.html>

GASQUET, H. (2004). *Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos*. El Paso, Texas.

GARCÍA, Alonso (2006). *Modelado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. España: Editorial Ciemant.

GIMENO, Sales. *Convertidores electrónicos: Energía solar fotovoltaica aplicaciones y diseño*. Departamento de Ingeniería Electrónica, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Edit UPV camino de la vera s/n. España.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, <http://www.igac.gov.co>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales www.ideam.gov.co/files/atlas/radiacion.htm

IÑAKY, Urkia (2003). *Energía renovable práctica*. Navarra: Editorial Pamiela.

Kyocera, BPSolar, e Isofotón: fabricantes de paneles solares.

Qué se puede hacer con la energía solar. Usos posibles de la energía solar. <http://www.maisolar-software.com>

(2003). *Solar and Heliospheric Observatory SOHO*, NASA, National Aeronautics and Space Administration, página web www.nascom.nasa.gov

(2005). Apéndice B, *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá: UPME-IDEAM.

(2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá: UPME-IDEAM.

(2005). Mapas radiación solar, *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá: UPME-IDEAM.