

Evaluación de la eficiencia de conversión de energía de la radiación solar en eléctrica en un Parque Fotovoltaico de 15 kWp.

Francisco García Reina¹
Odelvis Sordo Fernández²
Carlos A. Varela Osuna³
Carlos A. Díaz González³
Lizandro García López³
Ivelisse Almanza Fundora¹

Resumen:

En el presente trabajo se ha calculado el valor de la eficiencia energética del Sistema Fotovoltaico Conectado a Red (SFVCR) instalado recientemente en la gerencia de Copextel Ciego de Ávila, ubicada en la circunvalación norte de la propia ciudad. En la primera parte se realiza la búsqueda bibliográfica donde se valoran experiencias existentes en el mundo y en nuestro país sobre la problemática del uso cada vez más eficiente de la energía solar fotovoltaica como alternativa a la demanda energética requerida para satisfacer los objetivos de la sociedad actual y futura. Se valora la experiencia en Cuba con el montaje de varios parques en todo el país, subrayando el objetivo de que en 2030 el 24% de la matriz de generación de energía sea a partir de Fuentes Renovables de Energía (FRE) y en la cual la Fotovoltaica (FV) se espera sea alrededor del 3%. Para ello la medición de los parámetros que intervienen en la eficiencia de estos sistemas se convierte en la herramienta idónea para realizar el perfeccionamiento y comparación de los parámetros de diseño, construcción, montaje y explotación de los SFVCR para su continuo perfeccionamiento. Se miden y analizan los siguientes parámetros: Irradiancia en el lugar de emplazamiento permitiendo conocer la energía fotovoltaica de entrada al sistema, la potencia activa en Watts (W) de corriente alterna (CA) posterior a los inversores y la energía eléctrica final que entrega el sistema, finalmente se determina el factor de rendimiento o eficiencia. Para el procesamiento de la información se utiliza el programa PTC® Mathcad® 15.0 M045.

Palabras Claves

Energía fotovoltaica, sistema fotovoltaico, eficiencia energética, energía eléctrica, fuentes renovables de energía.

INTRODUCCIÓN

Situación Energética Mundial

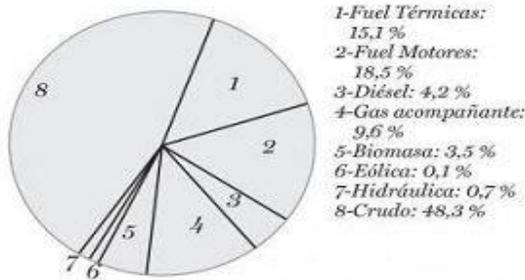
El cambio climático sigue siendo el mayor desafío de nuestro tiempo. El 23 de septiembre de 2019 se celebró la COP 25 para enfatizar en la misión de la ONU de acelerar la implementación del Acuerdo de París. La Cumbre supuso un gran salto en la ambición política colectiva y mostró que se pueden hacer grandes avances en la economía real en apoyo de la agenda 2030.

La transición hacia un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá asimismo efectos económicos muy positivos. Según IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), duplicar la cuota de energías renovables en el mix energético mundial hasta alcanzar el 36% en 2030 supondría un crecimiento adicional a nivel global del 1,1% ese año (equivalente a 1,3 billones de dólares), un incremento del bienestar del 3,7% y el aumento del empleo en el sector hasta más de 24 millones de personas, frente a los 9,2 millones actuales. (Berri, 2014)

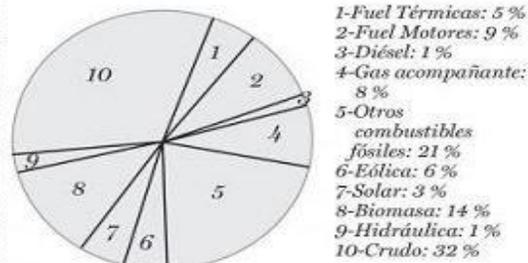
Legislación sobre las FRE en Cuba

Acaba de salir publicada en la Gaceta Oficial No. 95 de la República de Cuba emitida el 28 de Noviembre de 2019, el Decreto-Ley No. 345 (GOC-2019-1063-095) Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía donde se convierte en ley esta política.

MATRIZ ENERGÉTICA ACTUAL DE CUBA, SOLO EL 4,6 % ES DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA



CÓMO DEBE SER LA MATRIZ ENERGÉTICA DE CUBA PARA EL 2030



FUENTE: CUBADEBATE

Figura 1: Situación actual en Cuba y la Provincia Ciego de Ávila

En la actualidad hay en explotación en el país 40 parques con 87,5 MW de potencia, que alcanzan una generación eléctrica de 60,9 GWh y sustituyen aproximadamente 19 mil 440 toneladas de combustible anualmente. Además, están instalados 9 mil 164 paneles solares aislados en (escuelas, policlínicos, casa del médico de la familia entre otros) (Berri, 2014).

En la provincia de Ciego de Ávila hay en explotación hasta el momento tres parques solares fotovoltaicos ubicados en el Municipio de Chambas: 5.0 MW, Venezuela: 2.2 MW y en la localidad de Ceballos: 4,4 MW, los cuales suman 11.60 MW. Se cuenta además con varios paneles aislados instalados que contribuyen al incremento de la capacidad instalada hasta la fecha (Almanza, 2015)

Situación actual en Cuba y la Provincia Ciego de Ávila

“En el territorio cubano, con un poco más de 110 mil kilómetros cuadrados (sin contar los mares adyacentes), se recibe una radiación solar equivalente a 50 millones de toneladas de petróleo cada día, con un valor energético mayor que todo el petróleo que se consume durante cinco años; ya que se recibe 1 800 veces más energía solar que el petróleo que consume”. (Berri, 2015), (Dominico, 2015) (Almanza, 2015).

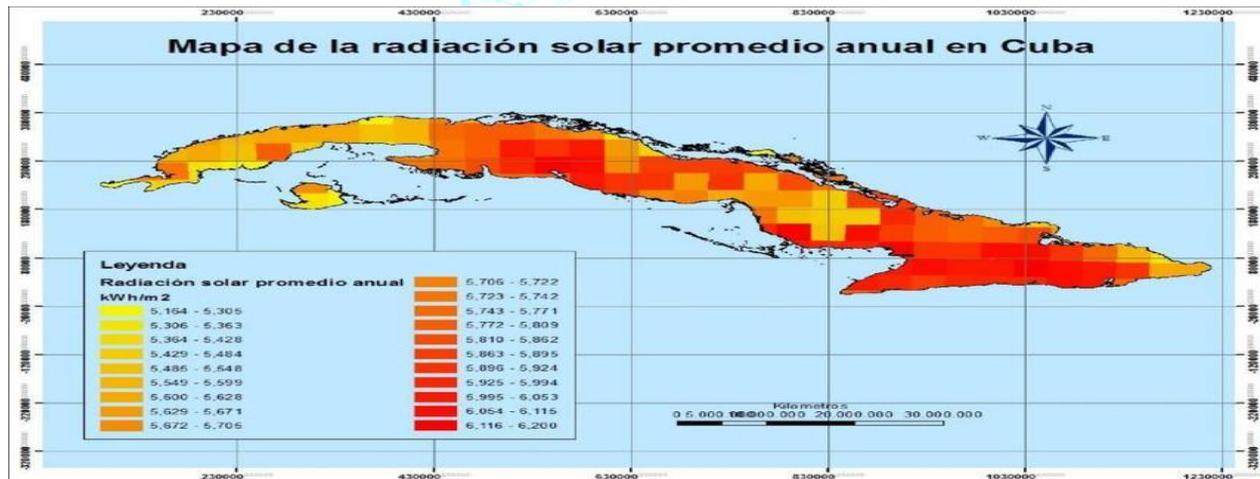




Figura 2: Situación actual en Cuba y la Provincia Ciego de Ávila

DESARROLLO

- Materiales y Métodos:

El terreno donde se localiza el sistema solar fotovoltaica está en las coordenadas GMS (grados, minutos, segundos): latitud 21°50'24" N y longitud 78°45'43" O, a continuación, se muestra una imagen satelital del emplazamiento.

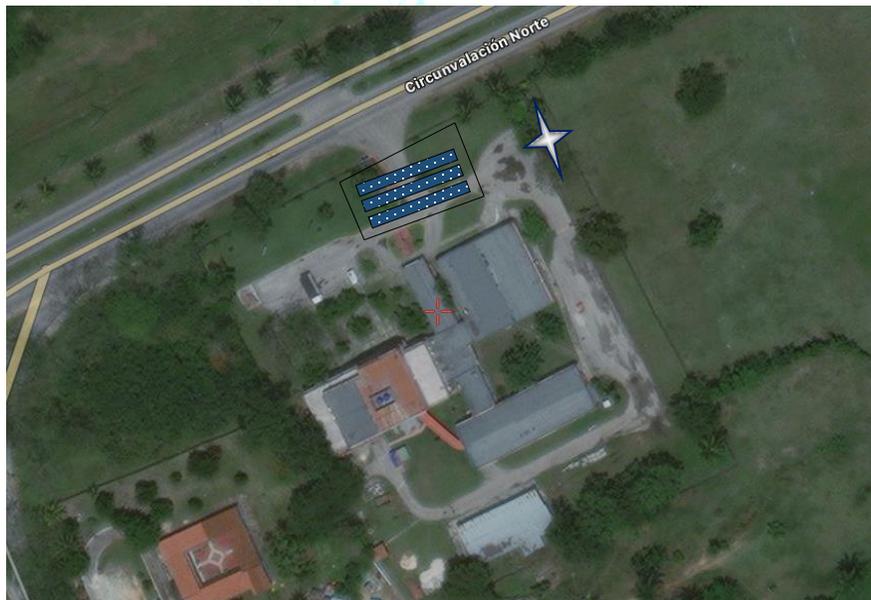


Figura 3: Vista de satélite de la instalación.

Descripción de la instalación

El sistema cuenta con 60 módulos fotovoltaicos de 250 W ubicados en el área verde en la parte frontal del edificio de la gerencia, orientados al SUR con una inclinación de 15°, La distancia entre filas adoptada para garantizar un mínimo de 4 horas de sol entorno al mediodía del solsticio de invierno y buscando una mejor circulación entre filas para facilitar los trabajos de instalación y mantenimiento, es de 0.80 m.

Se utilizan 3 inversores de 5000 W con 2 string cada uno. La distribución de módulos a cada inversor es la siguiente:

Inversor 1

- String 1: 10 módulos conectados en serie.
- String 2: 10 módulos conectados en serie.

Inversor 2

- String 3: 10 módulos conectados en serie.
- String 4: 10 módulos conectados en serie.

Inversor 3.

- String 5: 10 módulos conectados en serie.
- String 6: 10 módulos conectados en serie.

El esquema de nuestro SFVCR es básicamente como se ilustra en la siguiente figura:

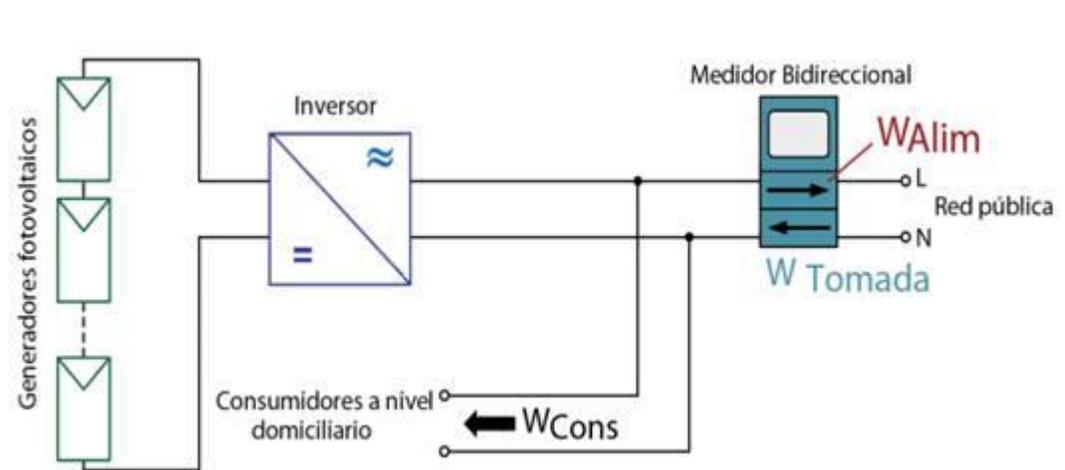


Figura 4: Esquema básico del SFVCR

En la tabla se presenta la característica de los paneles solares del parque

Tabla 1: Característica de los paneles solares del parque

Modelo	TM_P660250
Potencia máxima (Pm)	250 W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37.9 V
Voltaje de funcionamiento óptimo (Vmp)	30.1 V
Corriente de corto circuito (Isc)	8.65 A
Corriente de funcionamiento óptimo (Imp)	8.30A
Tolerancia de potencia	0 ~ +5W
Voltaje Máximo del sistema	1000V DC (IEC)
Máxima clasificación de fusibles	15 A
Temperatura de operación	-40 °C a +85 °C

En la figura 5 se presentan los 3 inversores del sistema, capaces de manejar una potencia pico de 15 kW (5 kW cada uno).



Figura 5: Inversores

En la siguiente figura se muestra el parque solar fotovoltaico de 15 kWp



Figura 6: Parque solar fotovoltaico

Medición de la Irradiancia

A partir de la precisión que se ha obtenido en estudios comparativos para la determinación de la Irradiancia mediante el Piranómetro y el panel FV calibrado (ver gráfico) y teniendo en cuenta que no se posee con un Piranómetro en el lugar, se ha decidido tomar los valores de la corriente de corto circuito I_{sc} del panel calibrado para medir la irradiancia. Dicha medición se hace con un multímetro cada 5 minutos, nueve horas al día durante un mes. (Ekici, 2017) (Al-Taaani, 2018)

El esquema de medición sería el siguiente:



Figura 7: Sistema de medición y registro continuo de la irradiancia solar.

Donde la corriente en cortocircuito del panel NUMEN calibrado se mide en el multímetro UNI-T UT61E, el cual está en interface con la laptop y mediante el software del multímetro se registra en el tiempo la corriente en cortocircuito. Esta corriente es directamente proporcional a la irradiancia mediante la expresión de la recta de calibración, obtenida por mínimos cuadrados:

$$I_{rad}(I_{scm}) = 2693.85702 \cdot I_{scm} + 50.46152$$

Expresión para determinar la Irradiancia solar I_{rad} en W/m^2 en función de la corriente de cortocircuito medida I_{scm} en A.

En la figura 8 se presenta una vista del registro continuo en la laptop de la corriente en corto circuito del panel calibrado y, por ende, de la irradiancia solar. (Green, 2017) (Debije, 2015)



Figura 8: Registro en la laptop de la irradiancia solar.

Medición de la energía eléctrica entregada a la red por el parque solar:

Del Cluster Controller se han obtenido los datos: la potencia en W, el voltaje en V, la corriente en A, la frecuencia en Hz y la energía en kWh entregada por cada inversor y la suma de los tres cada 5 min los que serán comparados con las mediciones realizadas in situ.

- Resultado y su discusión:

Resultados de un día típico

En la siguiente figura se muestra la potencia solar, a partir de los datos de corriente en corto circuito obtenidos entre las 8:00 am y las 5:00 pm, junto con la potencia eléctrica generada en DC por el parque solar.

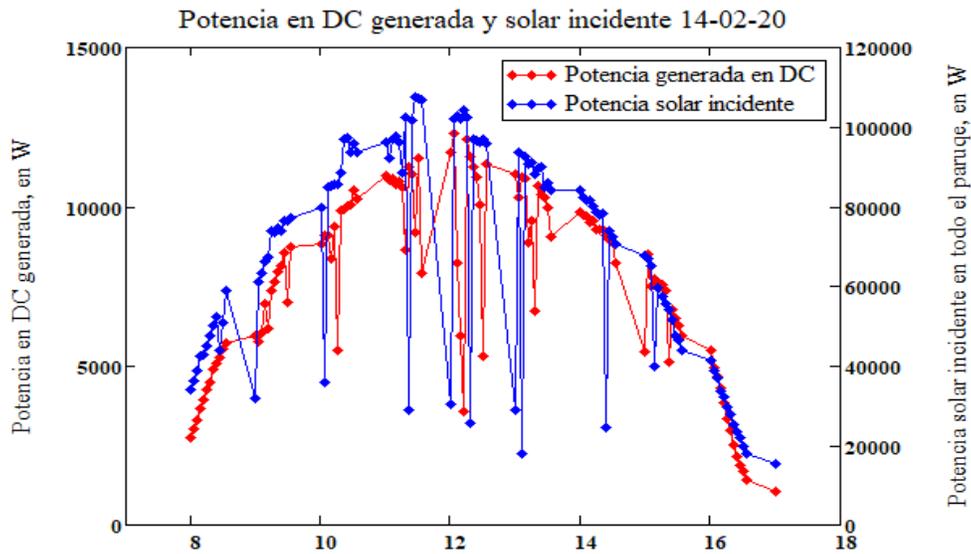


Figura 9: Registro de las potencias DC y solar incidente.

Integrando ambas en todo el intervalo de tiempo se obtiene una eficiencia de conversión de la energía solar en eléctrica de un 16,8 %. En la figura 10 podemos apreciar las potencia en DC y AC generada

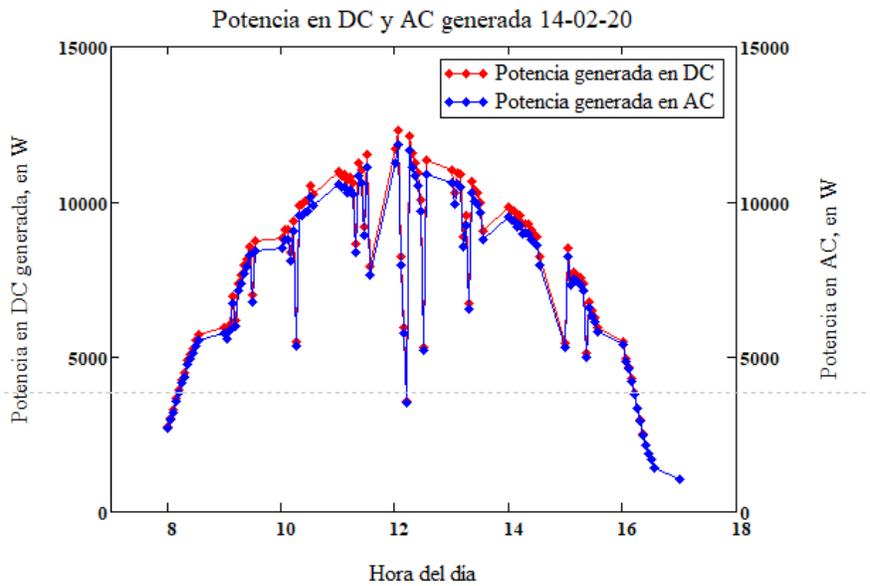
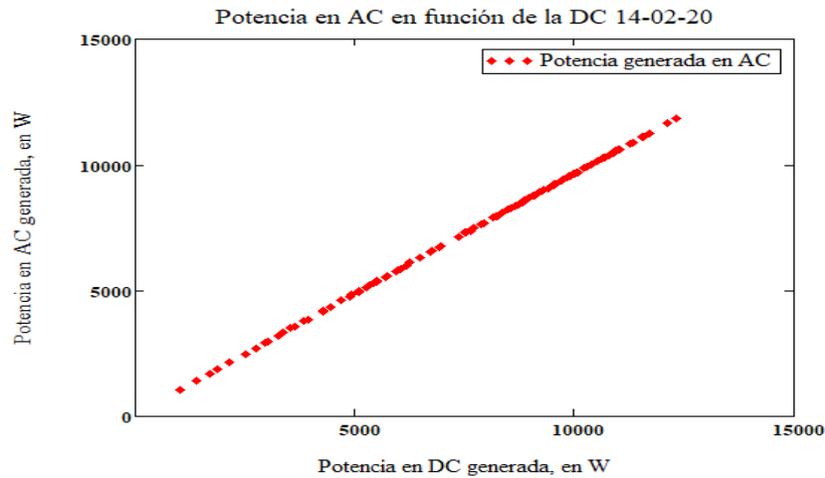


Figura 10: Potencia en DC y AC generada.

Luego hay una excelente correlación lineal entre la energía eléctrica AC con la DC como se muestra en la figura 11, con una eficiencia de conversión de DC en AC de 95,5 %.



$$\text{corr}(P_{dc}, P_{ac})^2 = 1 \quad \text{slope}(P_{dc}, P_{ac}) = 0.955$$

Figura 10: Correlación lineal en la conversión de DC en AC.

Este sistema se encuentra instalado a tiempo completo en este parque solar y está registrando estos resultados todos los días desde febrero de este año, para evaluar el comportamiento del parque durante un año, como parte de un proyecto de Trabajo de Diploma y otro de Maestría en Eficiencia Energética de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba.

CONCLUSIONES

Se diseñó, montó y se puso a punto un sistema preciso para evaluar la eficiencia energética de un parque solar fotovoltaico de 15 kWp, de forma continua y automatizada, el cual permite tener un control directo del mismo para elevar su rendimiento y mejoras permanentes.

REFERENCIAS

- Abella M at al 2005. Operation of standard PV modules in v-through concentrators. 31st IEEE Photovoltaic Specialist Conference, January, Sidney, Australia.
- Almanza Fundora, I. (2015). Desarrollo de un sistema para la medición de la eficiencia energética de celdas solares. Tesis en opción al grado de Master en Eficiencia Energética. Ciego de Ávila. . Ciego de Ávila.
- Al-Taani H. 2018. Solar Irradiance Measurements Using Smart Devices: A Cost-Effective Technique for Estimation of Solar Irradiance for Sustainable Energy Systems. Sustainability, 10: 508-515.
- Berri L. 2014. La energía solar en Cuba. Energía y tú. Vol 12(2), 34-45.
- Debije. (2015). Better luminescent solar panels in prospect. Nature 519, 298-299.
- Dominico Isac, D. (2015). Diseño de una estación fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica a un bombeo en la planta de tratamiento de aguas residuales en Cayo Paredon. Tesis en opción al grado de Master en Eficiencia Energética. Ciego de Ávila. Ciego de Ávila.
- Ekici C. 2017. Total Global Solar Radiation Estimation with Relative Humidity and Air Temperature Extremes in Ireland and Holland. Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 12, 78-90.
- Green MA. 2015, Solar Cell, Operating principles, technology, and system applications, (Prentice-Hall).
- Green, M. (2017). Energy conversion approaches and materials for high-efficiency photovoltaics. Nature Materials 16.