



Análisis energético de un sistema fotovoltaico integrado a una cubierta plana horizontal

Energetic analysis of a photovoltaic system integrated to a horizontal flatrooftop

**Liomnis – Osorio Laurencio
Reineris– Montero Laurencio**

**Recibido: junio de 2015
Aprobado: septiembre de 2015**

RESUMEN/ ABSTRACT

En el presente trabajo se analiza el desempeño energético de un sistema fotovoltaico a base de silicio amorfo, integrado a la cubierta plana horizontal del Edificio Docente #2 del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Con el software PV syst se determinó la producción anual de energía eléctrica del sistema de 3 kWp conectado a la red, así como las pérdidas por sombras, cableado, electrónica de potencia, modificación del ángulo de inclinación y por efecto de la irradiancia y temperatura. También se calcularon los parámetros característicos de la instalación, útiles para establecer perfiles mensuales para la planificación del consumo eléctrico. Los resultados demostraron que la energía anual generada, es equivalente al consumo eléctrico del Instituto durante dos días y además, constituye una alternativa para la generación de energía, a partir del aprovechamiento de espacios disponibles en azoteas de las áreas docentes y administrativas.

Palabras clave: cubierta horizontal, silicio amorfo, sistema fotovoltaico integrado en edificio, PV syst

In this research the energy performance of a photovoltaic system based on amorphous silicon is analyzed. It is integrated to the flat horizontal rooftop of Teaching Building # 2 of the Metallurgical Mining Institute of Moa. With the PVsyst software annual electricity production of 3 kWp system connected to grid, as well as losses shadows, wiring, power electronics, also, tilt angle and the effect of irradiance and temperature were determined. The characteristic parameters of the installation, useful were calculated to establish monthly planning profiles for electrical consumption. The results showed that the annual energy generated is equivalent to the electricity consumption of the Institute for two days and also an alternative for generation energy from the use of space available on rooftops of teaching and administrative areas.

Keywords: *amorphous silicon, building integrated photovoltaic, horizontal rooftop, PVsyst*

INTRODUCCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos integrados a edificios o *BuildingIntegrated Photovoltaic (BIPV)*, cada día incrementan su presencia en los entornos urbanos.

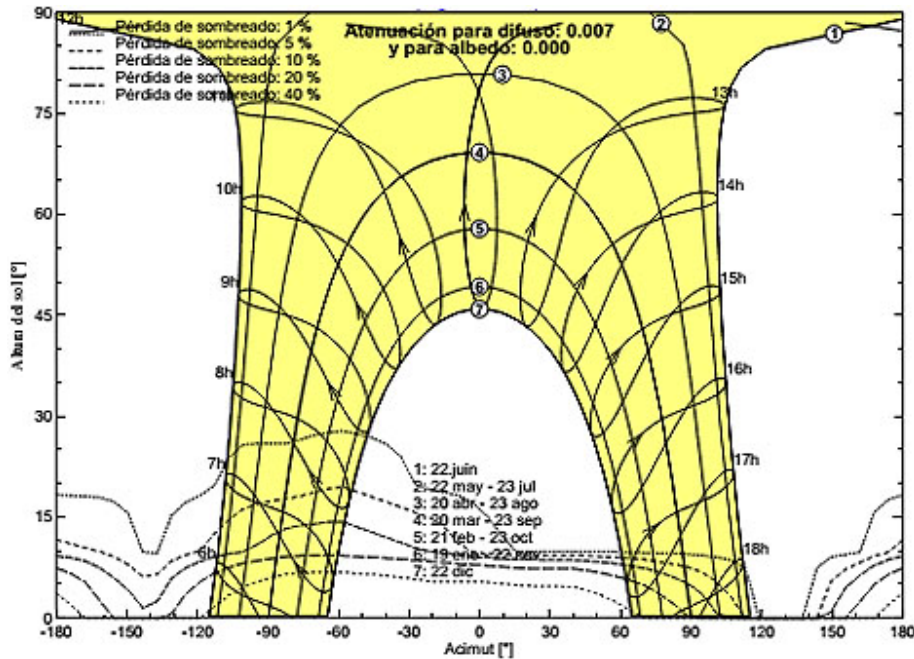


Fig.5. Factor de sombras de la instalación

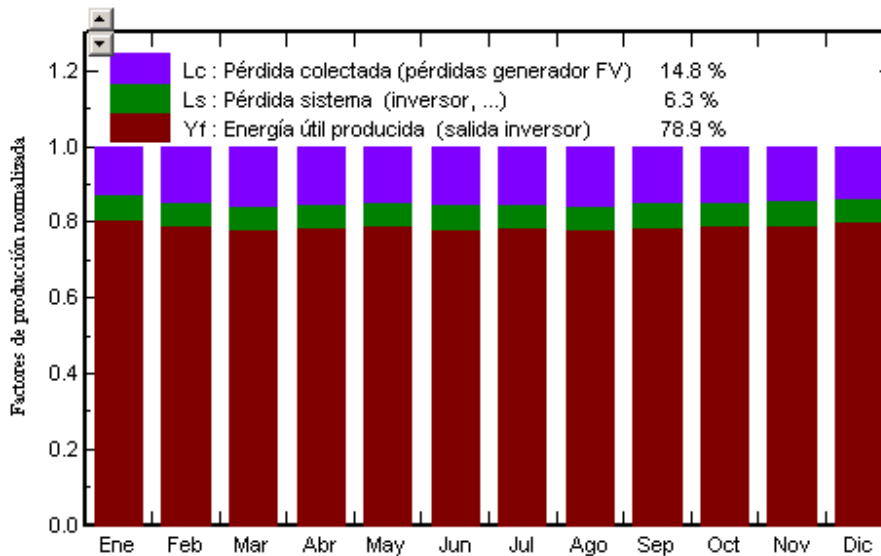


Fig. 6. Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 3024 Wp

La tabla 3, muestra los parámetros característicos normalizados del sistema. El índice de producción de referencia medio diario Y_R obtenido para todo el año es de 5,01 kWh/m², en total concordancia con estudios previos realizados en Cuba [12, 13]. El índice de producción Y_A medio diario de los módulos es de 4,26 kWh/kWp, mientras que el promedio diario del índice de producción final Y_F es de 3,95 kWh/kWp para todo el año.

En la tabla 4, se resumen los balances y resultados principales. El valor más alto de irradiación corresponde al mes de julio con un acumulado de 183 kWh/m² produciendo 469,6 kWh y el valor más discreto corresponde al mes de enero con 110,9 kWh/m² generándose solamente 292,2 kWh. La irradiación anual es de 1 827,1 kWh/m² con una producción de energía eléctrica inyectada a la red de 4 358,3 kWh.

Tabla 3. Coeficientes de rendimiento normalizados								
	Y_R	L_c	Y_A	L_s	Y_F	L_{cr}	L_{sr}	PR
Enero	3,58	0,459	3,12	0,235	2,88	0,128	0,066	0,806
Febrero	4,90	0,720	4,18	0,304	3,87	0,147	0,062	0,791
Marzo	5,64	0,875	4,77	0,356	4,41	0,155	0,063	0,782
Abril	5,59	0,849	4,74	0,350	4,39	0,152	0,063	0,785
Mayo	5,54	0,805	4,74	0,349	4,39	0,145	0,063	0,792
Junio	5,78	0,883	4,90	0,370	4,53	0,153	0,064	0,783
Julio	5,90	0,894	5,01	0,369	4,64	0,151	0,062	0,786
Agosto	5,76	0,906	4,85	0,356	4,50	0,157	0,062	0,781
Septiembre	4,97	0,735	4,23	0,316	3,92	0,148	0,064	0,788
Octubre	4,51	0,659	3,85	0,288	3,56	0,146	0,064	0,790
Noviembre	4,10	0,583	3,52	0,264	3,26	0,142	0,064	0,794
Diciembre	3,79	0,522	3,27	0,238	3,03	0,138	0,063	0,799
Año	5,01	0,741	4,26	0,316	3,95	0,148	0,063	0,789

Leyenda:

Y_R: Energía Incidente de Referencia en plano receptor (kWh/m².día)

L_c: Pérdidas Generador Normalizado

Y_A: Producción Generador Normalizado (kWh/kWp/día)

L_s: Pérdidas Sistema Normalizado

Y_F: Producción Sistema Normalizado (kWh/kWp/día)

L_{cr}: Relación Pérdida generador/Energía incidente

L_{sr}: Relación Pérdida sistema/Energía incidente

PR: Factor de Rendimiento

Tabla 4. Balances y principales resultados								
	GlobHor kWh/m ²	T_{Amb} °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_{Array} kWh	E_{Grid} kWh	EffArrR %	EffSysR %
Enero	110,9	24,00	110,9	103,4	292,2	270,2	6,22	5,75
Febrero	137,1	24,30	137,1	128,7	353,6	327,8	6,08	5,64
Marzo	174,8	25,20	174,8	164,9	446,7	413,3	6,03	5,58
Abril	167,8	25,90	167,8	158,4	430,2	398,5	6,05	5,60
Mayo	171,9	27,00	171,9	162,2	444,2	411,5	6,10	5,65
Junio	173,5	27,90	173,5	164,0	444,7	411,1	6,04	5,59
Julio	183,0	28,40	183,0	173,0	469,6	435,1	6,05	5,61
Agosto	178,6	28,40	178,6	168,9	455,0	421,6	6,01	5,57
Septiembre	149,0	27,80	149,0	140,4	384,0	355,4	6,08	5,62
Octubre	139,9	27,00	139,9	131,2	361,2	334,2	6,09	5,64
Noviembre	123,1	25,90	123,1	115,1	319,5	295,5	6,12	5,66
Diciembre	117,6	24,80	117,6	109,6	306,5	284,2	6,15	5,70
Año	1827,1	26,40	1827,1	1719,9	4707,4	4358,3	6,08	5,63

Leyenda:

GlobHor: Irradiación Global Horizontal

T_{Amb}: Temperatura Ambiente

GlobInc: Irradiación Global Incidente sobre el plano receptor

GlobEff: Irradiación Global Efectiva, corrección para modificación del ángulo de inclinación y sombreados

E_{Array}: Energía efectiva en la salida del generador

E_{Grid}: Energía reinyectada en la red

EffArrR: Eficiencia a la salida de los módulos

EffSysR: Eficiencia a la salida del sistema

Nótese que la eficiencia de los módulos FV bajo el efecto de la radiación incidente, se mantiene en el rango del 6 al 7 %, con un promedio anual de 6,08 %. Los resultados de la tabla 4, permiten establecer perfiles mensuales de generación de electricidad, lo cual favorece la planificación del consumo de energía del Edificio Docente #2, pudiéndose extrapolar a las demás áreas administrativas.

En la figura 7, se muestra el diagrama de pérdidas del sistema durante todo el año. Se representan de arriba hacia abajo: las pérdidas ópticas en la captación solar de 3,9 %, las pérdidas del generador de 12,2 % y finalmente las pérdidas en el inversor 6,4 %. La suma total de las pérdidas asciende a 22,5 %.

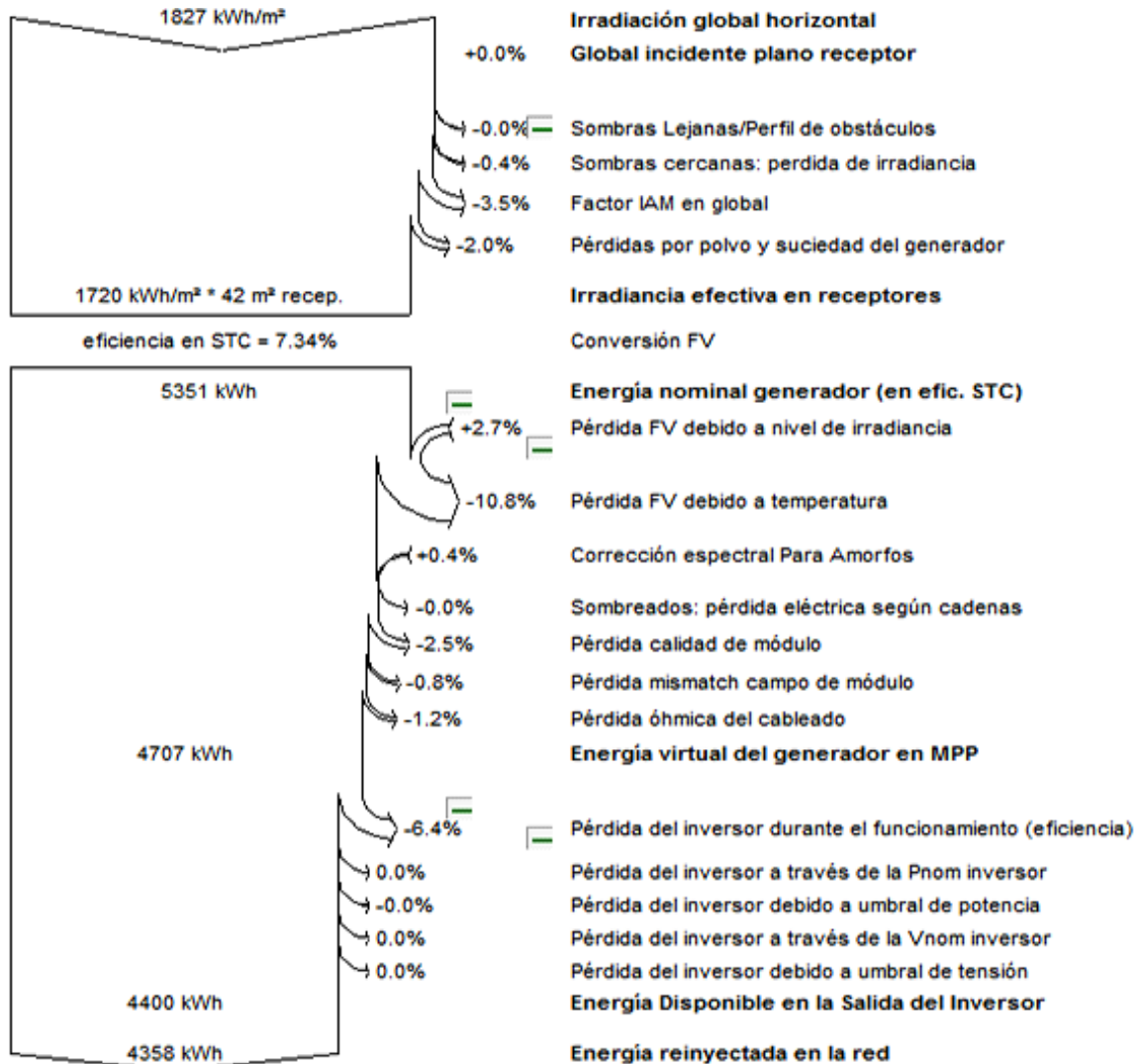


Fig. 7. Diagrama de pérdidas de la instalación durante todo el año

Generalmente el a-Si presenta menor coeficiente de reducción del rendimiento por el incremento de la temperatura, con un 0,21 (%/°C) frente a los cristalinos con 0,43 (%/°C) [2]. Este caso en particular presenta un coeficiente mayor al estándar con 0,38 (%/°C). Como no existe circulación de aire por la parte trasera de las tiras FV, las pérdidas por efecto de la temperatura de operación son relativamente altas, del 10,8 % como se muestra en la figura anterior. Los resultados de la figura 7, muestran que la irradiación global sobre el plano horizontal recibida durante un año en Moa es de 1827 kWh/m², en correspondencia con el valor promedio anual para el territorio nacional [13,14]. No existe ganancia de irradiación incidente sobre el plano receptor, ya que no poseen el ángulo de inclinación recomendado para Cuba de 30°, como sucede con los módulos convencionales. Sin embargo, se obtuvo 0,4 % de ganancia mediante la corrección espectral para este tipo de tecnología. Nótese que la eficiencia de los módulos a STC es de un 7,34 %, acorde a los estándares mundiales.

A la irradiación global sobre el plano horizontal se le resta el 3,9 % debido al efecto de modificación del ángulo de inclinación y un 2 % por suciedad y el polvo, obteniéndose un valor efectivo de 1720 kWh/m² anual. Finalmente, la energía entregada a la red es de 4358,3 kWh/ año, lo que equivale aproximadamente al consumo de dos días completos del ISMMM y además, representa el 0,63% (692,99 MW) del plan anual. Este centro universitario tiene unos 4904 m² de cubiertas en áreas docentes y administrativas, con una disponibilidad del 90 % (4 413,6 m²), si se aprovechan estos espacios ociosos, se pueden instalar mediante esta tecnología unos 315,257 kWp.

CONCLUSIONES

En la presente investigación se realizó el análisis del comportamiento energético de un sistema fotovoltaico integrado a la cubierta plana horizontal del Edificio Docente #2 del ISMMM. El empleo del PV syst permitió conocer en detalles el desempeño energético de la potencia asignada al proyecto, para ello fue necesario configurar rigurosamente la tecnología de silicio amorfo empleada. El segmento de azotea escogido para la instalación del BIPV es idóneo, ya que no ofrece pérdidas significativas por sombreado y tiene suficiente espacio libre. Los resultados obtenidos en cuanto al recurso solar y el rendimiento de la tecnología de a-Si empleada, se ajustan perfectamente a estudios previos en Cuba y otras regiones del mundo. Aprovechando esta tecnología en las superficies de cubiertas disponibles en las áreas administrativas, se podría aumentar aproximadamente 100 veces más la potencia instalada en el proyecto con RESIGUM. Con vistas a realizar un análisis integral de esta nueva tecnología en el mercado cubano, en próximas investigaciones se realizará un análisis económico y medioambiental.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a *ABC RESIGUM International S.r.L* por el donativo de la tecnología BIPV para desarrollar esta investigación. Asimismo, se agradece la colaboración de los miembros del Proyecto *RENet Project: Renewable Energies Education Network* de la Universidad Carlos III de Madrid.

REFERENCIAS

- [1] Álvarez López Ramón A, García Angarita Maritza A. Parámetros comparativos de células fotoeléctricas para generación de energía: implementación de banco de pruebas usando DSP. Ingeniería Energética. 2014. [Citado: 3 de diciembre de 2014]; XXXV(3):193-201. Disponible en: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/404/422>. ISSN 1815-5901.
- [2] Martín Chivelet Nuria. Integración de la Energía Fotovoltaica en Edificios. 1ra. ed: PROGENSA; 2011. pp. 23-24, 59-60. ISBN 978-84-95693-68-6.
- [3] 3. Agai Florin, Caka Nebi, Komoni Vjollca. Design optimization and simulation of the photovoltaic systems on buildings in Southeast Europe. International Journal of Advances in Engineering & Technology. 2011. [Citado: 20 de febrero de 2015]; 1(5):58-68. Disponible en: <http://archives-ijaet.org/media/715-IJAET0511565-DESIGN-OPTIMIZATION-AND-SIMULATION-Copyright-IJAET.pdf>. ISSN 2231-1963.
- [4] Grossi Gallegos H, Righini R. Ángulo óptimo para planos colectores de energía solar integrados a edificios. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2012. [Citado: 18 de diciembre de 2014]; 16:04.01-04.07. Disponible en: http://www.gersol.unlu.edu.ar/trabajos/783_ART.pdf. ISSN 0329-5184.
- [5] Loulas Nikolaos M, M. Karteris Marinos, Pilavachi Petros A, et al. Photovoltaics in urban environment: A case study for typical apartment buildings in Greece. Renewable Energy. 2012. [Citado: 20 de marzo de 2015]; 48:453-463. Disponible en: <http://www.karteco.gr/en/pdf/Renewable%20Energy%202012.pdf>. ISSN 0960-1481.
- [6] Suresh Parvathy, Thomas Jaimol, G Anu. A. Performance analysis of stand-alone PV systems using PVsyst. Proceedings of Second IRF International Conference on 10th. Cochin, India 2014. p. 5.
- [7] 7. RAMOLIYA JAYDEEP V. Performance Evaluation of Grid-connected Solar Photovoltaic plant using PVSYST Software. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). 2015. [Citado: 1 de abril de 2015]; 2(2):7. Disponible en: www.jetir.org/papers/JETIR1502036.pdf. ISSN 2349-5162.
- [8] Akinola Adeyinka Babatunde, Serkan Abbasoglu. Evaluation of Field Data and Simulation Results of a Photovoltaic System in Countries with High Solar Radiation. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2014. [Citado: 20 de diciembre de 2014]; 0(0):1-11. Disponible en: <http://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/>. ISSN 1402-313.

- [9] Axaopoulos Petros J, Fylladitakis Emmanouil D, Gkarakis Konstantinos. Accuracy analysis of software for de estimation and planning of photovoltaic installations. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2014. [Citado: 1 de abril de 2015]; 5(1):1-7. Disponible en: www.journal-ijeee.com/content/5/1/1. ISSN 2251-6832.
- [10] Kumar Sharma Dinesh, Verma Varsha, Pratap Singh Anil. Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares. International Journal of Current Engineering and Technology. 2014. [Citado: 4(2):725-731. Disponible en: <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2014/04/Paper48725-731.pdf>. ISSN 2347-5161.
- [11] Caamaño Martín Estefanía. Edificios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: Caracterización y análisis [Tesis Doctoral]: Escuela técnica superior de ingenieros de telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid; 1998. [Citado: s/f] Disponible en: http://oa.upm.es/1322/1/ESTEFANIA_CAAMANO_MARTIN.pdf.
- [12] Sarmiento Sera Antonio. Una pregunta sobre paneles fotovoltaicos. Energía y Tú. 2010. [Citado: 10 de enero de 2015]; 51(5):3. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia51/HTML/articulo05.htm>. ISSN 1028-9925.
- [13] Stolik Novygrad Daniel. Cien preguntas y respuestas sobre la energía fotovoltaica (I). Energía y Tú. 2012. [Citado: 14 de abril de 2015]; 58(3):10. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia58/HTML/articulo03.htm>. ISSN 1028-9925.

AUTORES

Liomnis Osorio Laurencio

Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica, Profesor Instructor, Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa (CEETAM), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), Holguín, Cuba.
e-mail: losorio@ismm.edu.cu

Reineris Montero Laurencio

Ingeniero Eléctrico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Asistente, Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa (CEETAM), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM), Holguín, Cuba.
e-mail: rmontero@ismm.edu.cu