

Caracterización de Tecnologías de Paneles Fotovoltaicos en la producción de energía eléctrica en centros del SENA Colombia

Cristian Rolando Ardila Pérez¹, Guillermo Coronado Murcia², Fabio Cárdenas Gil³, Juan Pablo Villamil Poveda⁴
C. R. Ardila¹; G. Coronado²; F. Cárdenas³; J.P. Villamil⁴.
crardila41@misena.edu.co¹, guillecor@msn.com², fabiocar.75@hotmail.com³, juanpvp@misena.edu.co⁴
Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera - SENA DC.



Fotografía: archivos Sennova CTCM.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo de un procedimiento experimental para caracterizar el comportamiento de 3 tecnologías solares fotovoltaicas (monocristalina, policristalina y silicio amorfo) en 4 centros del SENA de Colombia (Leticia Amazonas, San Andrés Islas, Riohacha Guajira y Bogotá), buscando conocer la afectación de la temperatura en la conversión de energía solar a eléctrica en cada una de las tecnologías fotovoltaicas mencionadas. Se realiza la toma de datos durante 12 meses, por medio de un sistema de inyección a red con microinversores y monitoreo remoto por internet de cada tecnología y estación solar por separado. Los resultados evidencian los efectos perjudiciales de la temperatura en la conversión de energía solar a eléctrica con paneles fototovoltaicos y a su vez demuestra el mejor comportamiento a este fenómeno por los paneles de silicio amorfo.

ABSTRACT

This paper presents the development of an experimental procedure to characterize the behavior of 3 photovoltaic solar technologies (monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon) in 4 SENA centers in Colombia (Leticia Amazonas, San Andrés Islas, Riohacha Guajira and Bogotá), seeking know the affect of the temperature in the conversion of solar energy to electricity in each of the photovoltaic technologies mentioned. The data collection is carried out for 12 months, through a network injection system with microinverters and remote monitoring by internet of each technology and solar station separately. The results show the detrimental effects of the temperature in the conversion of solar energy to electricity with phototovoltaic panels and at the same time shows the best behavior to this phenomenon by the amorphous silicon panels.

INTRODUCCIÓN

Colombia presenta un gran potencial para el aprovechamiento de la energía solar para la producción de electricidad, más sin embargo es necesario conocer el compartimento real de las tecnologías que intervienen en estos procesos cuando son instalados en nuestro territorio nacional, ya que las condiciones climáticas y geográficas hacen variar drásticamente los cálculos de producción de energía con los cuales vienen referenciados de fábrica los dispositivos solares de captación. (Paneles Solares).

En la literatura sobre el comportamiento de los paneles solares se manifiesta que existen variables meteorológicas que afectan la eficiencia de conversión de los paneles solares fotovoltaicos, una de ellas es la temperatura [1,2].

Caracterización de Tecnologías de Paneles Fotovoltaicos en la producción de energía eléctrica en centros del SENA Colombia

En una deducción general se puede argumentar que cualquier obstrucción física de la incidencia directa o indirecta de la luz al panel solar ocasionará una reducción de la conversión fotovoltaica, ya que la cantidad de energía transformada por las celdas solares dependerá directamente del área expuesta a la fuente de energía lumínica, ya sea natural o artificial.

En este artículo mostraremos el desarrollo y resultados del proceso experimental para caracterizar el comportamiento de 3 tecnologías solares fotovoltaicas (monocristalina, policristalina y silicio amorfo) en 4 centros del SENA de Colombia con datos obtenidos durante un año de seguimiento al proyecto.

NOMENCLATURA		
Variables		
V	Voltaje	((V) voltios)
P	Potencia	((W) vatios)
A	Amperios	((Amp) amperios)
Pmax	Potencia máxima	((wp) vatios pico)
Imp	Corriente de Máxima Potencia	(Amps)
Isc	Corriente de Corto Circuito	(Amps)
Vmp	Voltaje de Máxima potencia	(V)
Voc	Voltaje de Circuito Abierto	(V)
Coef		
Temp	Coeficiente de temperatura de máxima potencia	(%/°C)
T	Temperatura	(°C)

ESTACIONES DE MONITOREO INSTALADAS A NIVEL NACIONAL



Figura. 1. Planta experimental para monitoreo de tecnologías fotovoltaicas " CTCM BOGOTÁ"

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

COMPUESTA POR:

- PANEL SOLAR MONOCRISTALINO:
 - a) Dos paneles monocristalinos en serie, con los siguientes datos de ficha de fabricante;
 - Pmax: 80wp
 - Imp: 5.31Amps
 - Vmp: 15.43 V
 - Voc: 19.73 V

Isc: 5.63 Amps
 ***Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax) :
 -0.45 %/°C.

- PANEL SOLAR POLICRISTALINO
 - b) Dos paneles policristalinos en serie. Con los siguientes datos de ficha de fabricante;
 - Pmax: 80wp
 - Imp: 4.58Amps
 - Vmp: 17.5 V
 - Voc: 21.6 V
 - Isc: 5.17 Amps

Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax):
-0.47 %/°C.

• **PANEL SOLAR SILICIO AMORFO**

c) Un panel solar flexible de silicio amorfo con los siguientes datos de ficha de fabricante;

Pmax: 136wp

Imp: 4,1Amps

Vmp: 33 V

Voc: 46.2 V

Isc: 5.1 Amps

***Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax)

-0.21 %/°C.

• **MICROINVERSORES**

Son dispositivos electrónicos que transforman la corriente continua de cada panel solar o un arreglo de estos, en corriente alterna con una onda sinusoidal pura que tiene las características adecuadas para ser inyectada a la red de forma directa, estos sistemas permiten realizar el monitoreo de su actividad vía remota.

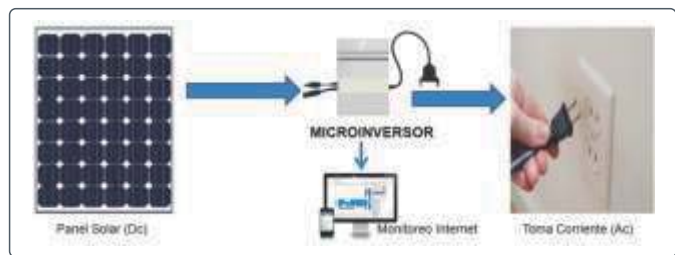


Figura. 2. Sistema de inyección a Red con microinversor.

• **SISTEMA DE MONITOREO**

Los sistemas de monitoreo para paneles solares pueden trabajar de forma local o por internet, de esta manera cada microinversor envía la información de su actividad a un modem por vía inalámbrica o por la misma línea eléctrica que comparten con los microinversores (PLC), estos módems se encargan de enviar la información a una plataforma donde se guardarán y se visualizarán los datos obtenidos, curvas de potencia, energía, temperatura, voltajes, corrientes de los paneles solares. (Figura. 3 y 4) pudiéndose hacer seguimiento por separado del comportamiento de los paneles solares.

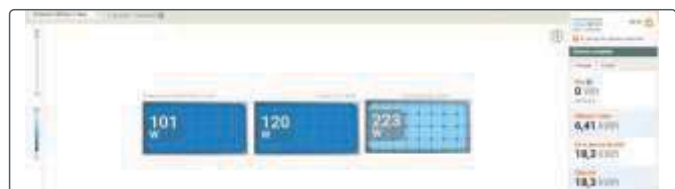


Figura. 3. Sistema de Monitoreo de Paneles solares con microinversor (potencia por panel).

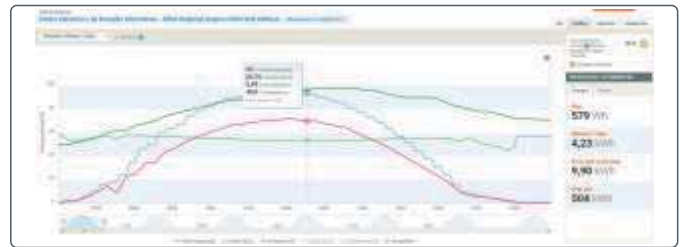


Figura. 4. Sistema de Monitoreo de Paneles solares con microinversor (curvas de variables en panel solar).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se construyeron 4 estaciones de monitoreo a nivel nacional:

1. Amazonas - Leticia (-4.198396 latitud)
2. Guajira - Riohacha (11.516356 latitud)
3. San Andrés islas (12.578288 latitud)
4. Bogotá (4.591295 latitud)

- Con 3 clases de paneles solares fotovoltaicos (monocristalino, policristalino y capa fina silicio amorfo) por estación y se conectaron por intermedio de microinversores, realizando la inyección a red de su producción diaria y a su vez con la ayuda de un dispositivo electrónico conectado a internet se registraron los datos de producción de cada estación y cada panel por separado.

-los paneles fueron ubicados de oriente a occidente con una inclinación correspondiente a la latitud de cada estación y enfrentados al hemisferio contrario

-El sistema de inyección a red se realizó con micro inversores, trabajando con voltajes de entrada desde 24 a 48 voltios DC y salida de 208 – 260 voltios CA (2 fases, neutro y tierra) a 60hz.

CÁLCULOS DE PÉRDIDAS POR TEMPERATURA

La potencia máxima de un panel solar se puede obtener en condiciones ideales de radiación, temperatura, masa de aire entre otras, condiciones que difieren en gran medida de las experimentadas por los paneles en una instalación real, siendo la temperatura una variable determinante en la transformación total de energía solar a eléctrica. Teniendo en cuenta el coeficiente de temperatura que facilita cada fabricante por sus paneles solares analizaremos el comportamiento de las tres tecnologías que se caracterizaron en este proyecto.

Caracterización de Tecnologías de Paneles Fotovoltaicos en la producción de energía eléctrica en centros del SENA Colombia

- Panel Solar Monocristalino:
Pmax: 160wp
***Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax): -0.45 %/°C
- Panel Solar Policristalino
Pmax: 160wp
Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax): -0.47 %/°C
- Panel Solar Silicio Amorfo
Pmax: 136wp
***Coeficiente de temperatura de potencia (Pmax): -0.21 %/°C
- Para el cálculo utilizamos la siguiente fórmula:

$$\% \text{ pérdidas por temperatura} = \text{Coef Temp} (\text{Temp panel} - 25^\circ\text{C})$$

Tipo	Coef Temp	Pmax (wp)	Temp panel °C	% Pérdidas	Pot efectiva (w)
poly	0,47%	160	44	8,93	145,712
mono	0,45%	160	44	8,55	146,32
aSi	0,21%	136	44	3,99	130,5736

Tabla 1. Cálculo de % pérdidas por temperatura

- Valores obtenidos del sistema de monitoreo

Tipo	Coef Temp	Pmax (wp)	Temp panel °C	% Pérdidas	Pot efectiva (w)
poly	0,47%	160	41	17,5	132
mono	0,45%	160	39	11,25	142
aSi	0,21%	136	45	1,784117647	133,5736

Tabla 2. Cálculo de % pérdidas por temperatura con datos medidos del sistema de monitoreo.

Comparando las 2 tablas anteriores (valores calculados vrs valores medidos) se observa que los porcentajes de Pérdidas varían hasta máximo de un 10.8% para los paneles policristalinos, un 5.3% para los monocristalinos y un 2.5% para los de silicio amorfo. Esto es debido a que las mediciones de temperatura y potencia instantánea pueden verse influidas por otras variables como nubosidad o aumento de exposición solar por efectos de reflejos por superficies o nubes, pero de igual forma el comportamiento de los paneles a la temperatura siguen el coeficiente porcentual (Coef Temp) al cual vienen referenciados por su ficha técnica, donde las menores Pérdidas por aumento de temperatura las experimenta la tecnología fotovoltaica de Silicio amorfo (aSi).



Fotografía: archivos Sennova CTCM.

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN GUAJIRA CON PANELES INSTALADOS EN BOGOTÁ

Comparamos paneles monocristalinos ubicados en Guajira con paneles monocristalinos ubicados en Bogotá ya que estos por ser de potencia pico iguales y del mismo fabricante, nos garantizan que las mediciones de su comportamiento se harán en condiciones con un alto rango de semejanza.

-Análisis en potencia de panel monocristalino ubicado en Guajira V.S. panel monocristalino ubicado en Bogotá.

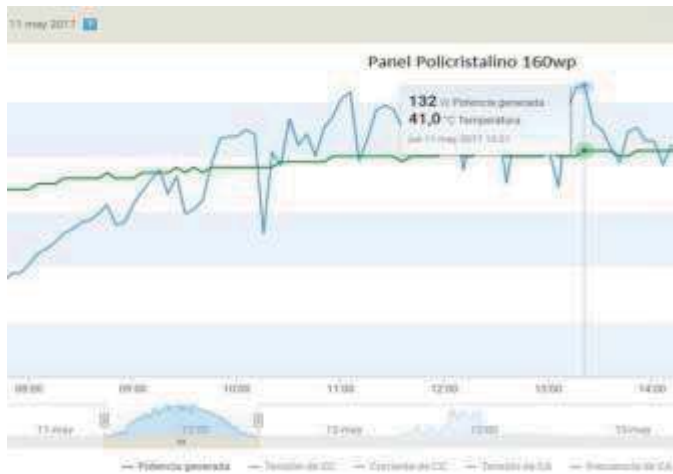


Figura 5. Curva de potencia - temperatura de panel policristalino con datos medidos del sistema de monitoreo.

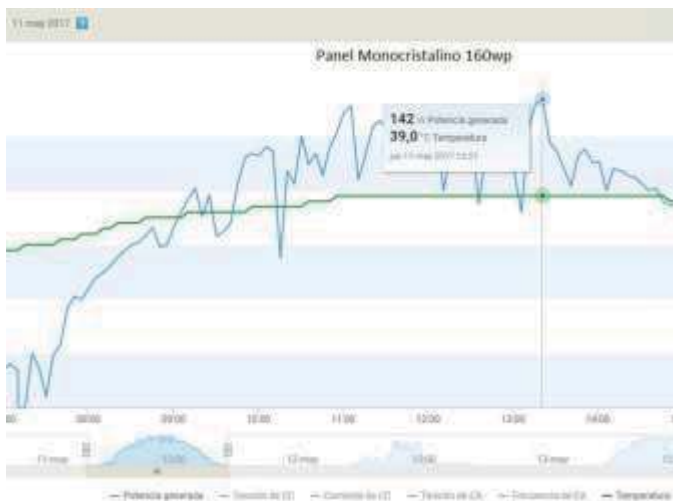


Figura 6. Curva de potencia - temperatura de panel Monocristalino con datos medidos del sistema de monitoreo.



Figura 7. Curva de potencia - temperatura de panel Silicio Amorfo con datos medidos del sistema de monitoreo

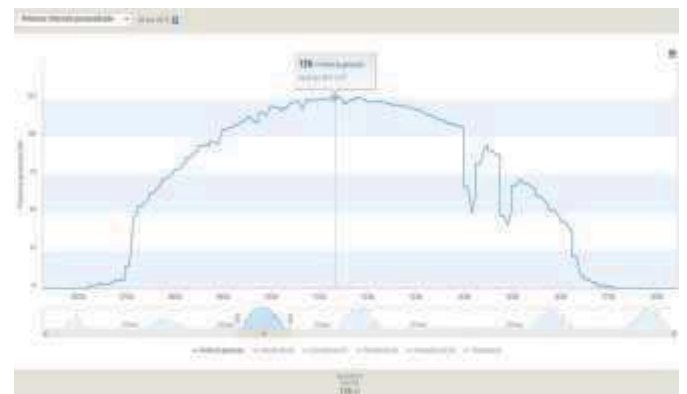


Figura 8. Curva de potencia panel monocristalino de 160wp (Guajira)



Figura 9. Curva de potencia panel monocristalino de 160wp (Bogotá)



Figura 10. Curva de historial de generación de energía panel monocristalino de 160wp (Guajira)



Figura. 11. Curva de historial de generación de energía panel monocristalino de 160wp (Bogotá).

La máxima energía generada en la estación de la GUAJIRA por un panel solar monocristalino de 160wp en un día, fue de 898Wh con un pico de potencia de 126w, (Figura. 8 y 10) mientras que la máxima energía generada por un panel solar monocristalino de 160wp en un día en la estación de BOGOTÁ fue de 1066Wh (Figura. 9 y 11) con un pico de potencia de 152w, lo que evidencia que un panel solar de las mismas características puede llegar a producir hasta un 18,7% más de energía en Bogotá, comparado con el instalado en Guajira. Esta situación es debido a que la temperatura en Bogotá rara vez supera los 30°C, mientras que en Guajira los paneles trabajan siempre a temperaturas superiores 40 °C.

Cabe aclarar que aunque en un día se pueda generar más energía en Bogotá que en la Guajira con el mismo modelo de panel solar; esto solo se da en un día casi ideal de bajas temperaturas y cielo completamente despejado, pero estas condiciones casi ideales no son frecuentes en Bogotá.

Por lo tanto un panel solar fotovoltaico instalado en la Guajira aunque trabaje al 80% por la afectación de las altas temperaturas, terminaría produciendo más energía eléctrica en un periodo de tiempo, ya que en la Guajira las condiciones de cielo despejado son predominantes, garantizando más horas solares efectivas de incidencia a los paneles instalados y por consiguiente mayor producción del energía eléctrica.

CONCLUSIONES

Los paneles solares fotovoltaicos se ven notoriamente afectados por la temperatura en la transformación de energía solar a eléctrica, llegando a perder hasta un 20% de su potencia pico al cual vienen diseñados



Fotografía: archivos Sennova CTCM.



Fotografía: archivos Sennova CTCM.



La tecnología solar fotovoltaica caracterizada en este estudio que mejor se comporta a condiciones de alta temperatura es la de Silicio Amorfo, comprobándose que su coeficiente de temperatura de $-0.21 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$, ya que los valores obtenidos por el sistema de monitoreo avalan dicho porcentaje al ser analizados los valores de pérdidas por temperatura de forma matemática y de forma real con los datos de temperatura y potencia medidos por el sistema de monitoreo.

Un panel solar de las mismas características puede llegar a producir hasta un 18,7% más de energía en Bogotá, comparado con el instalado en Guajira. Esta situación es debido a que la temperatura en Bogotá rara vez supera los 30°C , mientras que en Guajira los paneles trabajan siempre a temperaturas superiores 40°C .

La gran disponibilidad diaria del recurso solar en la Guajira, garantiza que un panel solar aunque se vea afectado por las altas temperaturas, termine produciendo más energía a lo largo de un periodo, comparado con un sitio de bajas temperaturas pero poca incidencia solar diaria.

El sistema de monitoreo utilizado para este estudio nos permite recomendar el uso de la tecnología de microinversores en la inyección a red, ya que su comportamiento fue muy fiable durante todo el periodo de la caracterización y mostró tasas muy altas de conversión de energía eléctrica DC procedente de los paneles solares y la energía eléctrica CA entregada a la red. ●

REFERENCIAS

[1] Markvart, T., 2000. Solar Electricity, second ed. Wiley, Chichester, p. 37.

[2] E. Skoplaki, J.A. Palyvos. 2008. On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. Solar Energy 83 (2009) 614–624



Fotografía: archivos Sennova CTCM.