

Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico

Effects of temperature on the efficiency of a photovoltaic module

MESSINA-LÓPEZ, Víctor*†, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VÁZQUEZ, César.

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León

ID 1^{er} Autor: Víctor, Messina-López

ID 1^{er} Coautor: Luis, Dibene-Arriola

ID 2^{do} Coautor: César, Paredes-Vázquez

DOI: 10.35429/JOES.2020.22.7.14.22

Recibido: Enero 20, 2020; Aceptado: Junio 30, 2020

Resumen

Diversos factores son los que pueden afectar la eficiencia de un panel fotovoltaico, entre ellos, la temperatura. Este trabajo se centra en concentrar 30 lecturas de temperatura usando sensores LM35, provenientes de un solo módulo de los 24 en que consiste el SFV instalado en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, con una potencia eléctrica de 6 kWp. Estos 30 sensores darán una temperatura individual y otro promedio con un muestreo por minuto hasta llegar a 10 muestras que arrojarán el promedio individual de la celda y del panel en su totalidad. Otros 12 sensores de temperatura estarán dispuestos en puntos estratégicos, los cuales nos darán una temperatura promedio individual, la cual, será comparada y analizada por medio de tarjetas de adquisición de datos (DAQ), con interfaz a Labview® para su visualización. Los fabricantes indican y la literatura nos dice que la eficiencia de una célula fotovoltaica vs el panel en su totalidad difiere de un 1 a 3% respectivamente. Por tal motivo, los resultados obtenidos en este trabajo nos darán la pauta para poder inquirir en dicha información para la toma de decisiones en lo que a orientación óptima se refiere a la hora de implementar estos sistemas.

Temperatura, eficiencia, fotovoltaico, sensor

Abstract

Several factors are those that can affect the efficiency of a photovoltaic panel, including temperature. This paper focuses on concentrating 30 readings using LM35 temperature sensors from a single module 24 that is the SFV installed at the Technological University of Bahía de Banderas, with an electrical output of 6 kWp. These 30 sensors give an individual temperature and other average with sampling per minute up to 10 samples that throw the average individual cell and panel in full. Another 12 temperature sensors shall be arranged at strategic points, which will give us an average individual temperature, which will be compared and analyzed using data acquisition card (DAQ) with Labview® interface for viewing. Manufacturers indicate and literature tells us that the efficiency of a photovoltaic cell vs the panel, differs from 1 to 3% respectively. Therefore, the results obtained in this study will give us the pattern to inquire into this information for making decisions on what to optimum orientation refers to when implementing these systems.

Temperature, efficiency, photovoltaic, sensor

Citación: MESSINA-LÓPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VÁZQUEZ, César.. Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico. Revista de Sistemas Experimentales. 2020. 7-22:14-22.

* Correspondencia al Autor: (Correo electrónico: vmessinal@utbb.edu.mx)

† Investigador contribuido como primer autor.

Introducción

La Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas (UTBB) cuenta desde el año 2015 con un sistema fotovoltaico interconectado a la red de 3kWp en su primera etapa de gestación. Este sistema se encuentra dentro de sus instalaciones, específicamente en la azotea del laboratorio de mantenimiento industrial.



Figura 1 Sistema fotovoltaico de 3kWp en las instalaciones de la UTBB, primera etapa

En mayo de 2016 concluyó la segunda etapa, en la cual, se instaló de nueva cuenta 3kWp adicionales para contar a la fecha con un sistema fotovoltaico interconectado a la red de 6kWp que contribuyen de manera modesta, al consumo interno, pero con una importante trascendencia en el ámbito académico.



Figura 2 Sistema fotovoltaico de 6 kWp en las instalaciones de la UTBB, segunda etapa

Uno de los factores más relevantes en la eficiencia de un módulo fotovoltaico es la temperatura. La zona geográfica en la que se encuentra la UTBB brinda parámetros a considerar.

Mes	Temperatura diaria mínima	Temperatura diaria máxima	Total de lluvia (mm)	Numero de días de lluvia
Enero	16.7	28.8	33.8	2.2
Febrero	16.3	29	5.3	0.7
Marzo	16.9	29.2	2	0.6
Abril	17.2	29.9	1.5	0.2
Mayo	20.2	31	15.4	1
Junio	22.8	32.3	187.6	10.8
Julio	22.9	33.3	328.1	16.4
Agosto	23	33.7	312.4	15.2
Septiembre	22.9	33.6	370	15.6
Octubre	22.2	33.6	93.8	5.1
Noviembre	19.7	32.6	19.8	1.4
Diciembre	18	29.9	22.5	1.9

Tabla 1 Temperaturas y total de lluvia para la región de Bahía de Banderas, Nayarit

Fuente: (World Weather, 2016)

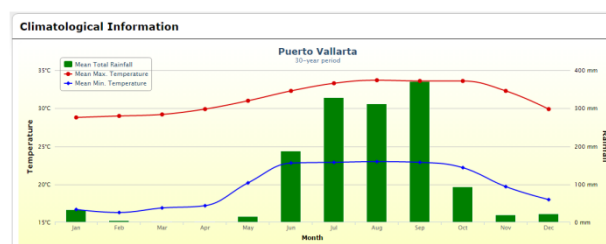


Figura 3 Información climatológica

La potencia de salida de un módulo fotovoltaico depende, entre otros, de los materiales del módulo y de la cantidad de luz solar que incide sobre la superficie del panel, la cual varía día a día y de una región geográfica a otra y es producto de muchas variables.

También se ve afectada por la temperatura del módulo, pérdidas por el cableado, y por condiciones ambientales como altos niveles de polvo atmosférico. Cada variable puede contribuir con una pérdida en la eficiencia que puede dar como resultado una dramática reducción en el rendimiento general del panel fotovoltaico (Ali Al Shehri, 2016).

Fundamentos

El Sol irradia una gran cantidad de energía, misma que llega a la superficie terrestre en una ínfima parte, (aproximadamente dos millonésimas partes). Pero esa parte minúscula en términos relativos supone un flujo extraordinario de energía solar de 10^{18} kilovatios-hora (kWh) anual. Una cantidad que supera con creces, no solo nuestro consumo de energía anual, sino la propia energía contenida en todas las reservas conocidas de energías fósiles. El flujo de energía procedente del Sol es unas 10,000 veces mayor que nuestro consumo energético actual. O dicho en otras palabras, bastaría utilizar el 0.01% de ese flujo energético para cubrir nuestra demanda. (Vallina, 2011).

MESSINA-LÓPEZ, Víctor, DIBENE-ARRIOLA, Luis y PAREDES-VÁZQUEZ, César.. Efectos de la temperatura en la eficiencia de un módulo fotovoltaico. Revista de Sistemas Experimentales. 2020

Un panel fotovoltaico es un conjunto interconectado de células solares y es el componente básico de un sistema fotovoltaico. Un panel o módulo fotovoltaico se compone de una parte frontal transparente, con un perfil de goma, un vidrio frontal, un material de incrustamiento, encapsulado, células solares y lámina posterior. Está enmarcado con un marco de aluminio anodizado, en ocasiones con un acero inoxidable o con un marco de plástico.

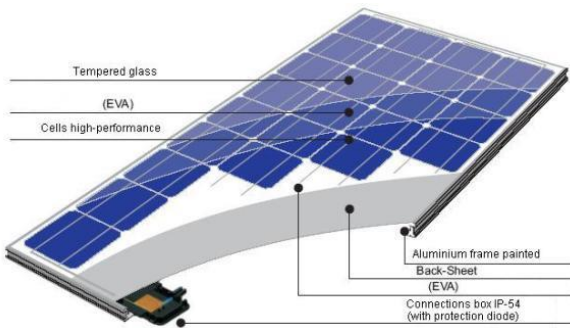


Figura 4 Componentes de un módulo fotovoltaico

El material de la parte delantera (superestrato) es generalmente baja en hierro y el vidrio templado. Los materiales posteriores comúnmente utilizados (sustratos) son EVA (etileno-vinilo-acetato) y PVB (polivinilo butiral). De acuerdo con la tecnología utilizada en las células solares, los paneles fotovoltaicos están clasificados como monocristalinos, policristalinos y paneles solares amorfos, y estos últimos también se conocen como paneles de película delgada (Thin film) o capa fina.

El rendimiento de un panel fotovoltaico es generalmente medido en condiciones standard de ensayo (Standard Test Conditions o STC): radiación de 1,000 W/m² (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5 y temperatura de la célula a 25° C.

Las características eléctricas de los paneles solares, incluyen numerosos parámetros, por citar algunos, incluye el tipo de célula y número, así como su interconexión. Caja de conexiones, tipo y grado IP de protección, la potencia nominal, máxima y mínima garantizada, el voltaje de circuito abierto, intensidad de cortocircuito, corriente y tensión máxima de potencia y tensión máxima del sistema interconectado. También el fusible, diodos bypass, cableado de conexión y longitud, los conectores y tipo, eficiencia del panel, la tolerancia de la potencia máxima y los coeficientes de temperatura.

En cuanto a la temperatura existe una variable que es la temperatura de operación nominal de las células (NOCT o Nominal Operation Cell Temperature): radiación de 800 W/m² (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5, temperatura ambiente de 20° C y velocidad del viento de 1 m/s.

La medida más interesante es la eficiencia del panel, o qué porcentaje de energía de la luz que incide en el panel se convierte en electricidad. Usted debe ser consciente, sin embargo, que la eficiencia de la célula solar no es igual a la eficiencia del panel.

La eficiencia del panel es generalmente de 1 a 3% inferior a la eficiencia de células solares debido a la reflexión de vidrio, marco de sombra, las temperaturas más altas, etc. Por eso algunos fabricantes pueden hablar de la eficiencia de su célula en lugar de la eficiencia del panel.

Una segunda medida del rendimiento es la tolerancia de potencia, que indica el rango de potencia nominal que el fabricante puede garantizar. Por ejemplo, una tolerancia final -3% inferior significa que la potencia pico real podría ser 3% inferior a la potencia nominal indicada.

La tercera medida importante es el rendimiento de los coeficientes de temperatura que muestran cómo los resultados del panel seguirán los cambios de temperatura. Tres coeficientes de temperatura más comunes están disponibles en las hojas de datos del panel, y deben considerarse como parámetros importantes en la etapa de diseño de los sistemas fotovoltaicos.

Los paneles solares deben soportar el calor, el frío, lluvia y granizo durante muchos años. Muchos fabricantes de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino ofrecen garantías que garantizan una producción eléctrica durante 10 años en el 90% de la producción de potencia nominal y 25 años en un 80%.

Estos datos son aproximados, por lo que hay que tener prudencia y asegurarse la garantía de potencia en el contrato de compraventa o por lo menos del fabricante.

La certificación de los paneles, es imprescindible tanto en Europa como en América. Estos, además de asegurar la calidad del producto, sirven para obtener la aprobación de los descuentos federales y estatales en los EE.UU. Cada uno de los países y los estados tienen un conjunto específico de normas que deben cumplir los paneles solares ya sea para uso casero o de uso público. Las normas de certificación más comunes son (APS Valencia Energías Renovables, 2012):

- TÜV Certificate (Alemania)
- IEC 61215 (crystalline silicon performance), 61646 (thin film performance) y 61730 (safety class II)
- UL 1703 (Underwriters Laboratories Inc. EEUU)
- Marcado C
- E (Normas de la Unión Europea)
- El certificado TÜV indica que los paneles han superado las pruebas de las normas IEC, mientras que el certificado UL implica la prueba UL 1703.

Desarrollo

El desarrollo de la investigación se centra en la toma de 30 lecturas de temperatura en un módulo fotovoltaico integrante del sistema con el que se cuenta en la UTBB, para determinar cómo afecta la temperatura la eficiencia del dispositivo en su conjunto. La toma de dichas lecturas procederá de sensores de temperatura LM35, los cuales, tendrán una disposición específica con el fin de poder obtener datos más precisos de la temperatura total del módulo en cuestión. Estos datos de salida serán concentrados en tarjetas DAQ's (Data Adquisition), por sus siglas en Ingles para ser analizados individualmente y en su conjunto por medio de interfaz a Labview®. El sistema fotovoltaico interconectado a la red es de una potencia de 6kWp y consta de dos inversores con una potencia de 3kW cada uno, 24 módulos fotovoltaicos marca Solartec®, con una potencia individual de 250W.



Figura 5 SFV interconectado a la red en la UTBB

225 - 250W SOLAR PANEL
POLYCRYSTALLINE

S60PC
60 Cell Modules

Specifications / Especificaciones

Number of cells / Número de celdas	60 (6 x 10)
Module dimensions / Dimensiones del módulo	1640mm x 910mm
Weight / Peso	23.9 kg
Cable / Cable	90 cm long double XPE leads, TÜV Certified, 4.5mm ²
Connectors / Conexión	MC4 Type IV Junction box with 6 bypass diodes, MC4 Type Plus, TÜV Certified
Back Sheet / Hoja Trasera	White/Black/Blue TPT or Glass
Frame / Marco	Aluminum (40 mm) or Welded frame
Fire Rating / Certificación de fuego	Class C

Temperature Coefficients / Coeficientes de Temperatura

of I_{sc} / de I_{sc} (0)	+0.02% / °C	of V_{oc} / de V_{oc} (0)	-0.33% / °C	of P_{max} / de P_{max} (0)	-0.45% / °C
-------------------------------	-------------	-------------------------------	-------------	---------------------------------	-------------

Guarantees / Garantías

Materials comprising photovoltaic modules and any possible defects due to the manufacturing process for 10 years. Generación mínima del 90% de la potencia de salida nominal del módulo a los 10 años.

At least 90% output power provided by the photovoltaic module over 25 years. Generación mínima del 90% de la potencia de salida nominal del módulo a los 25 años.

Measured under standard test conditions and normal operating cell temperature (NOCT: 3500W/m², 25°C, air 1.6, 60°C). NOCT: 4000W/m², 45°C, air 1.5.

The electric characteristics of each photovoltaic module are individually monitored leaving the results available to the customer. Garantías y tolerancias individuales de cada módulo fotovoltaico son monitoreadas dejando los resultados a disposición del cliente. Tolerancias y tolerancias ± 3%.

Dimensions / Dimensiones

Aluminum Frame / Marco de Aluminio

Warranty / Garantías

10 years / 10 años

Contact / Contacto

Solartec S.A. de C.V.
info@solartec.mx

Carretera Libramenta Norte Km 4.6
Lote No. 9, Parque Industrial Apolo
Irapuato, Gto. México CP 36526
Phone Number: +52 (462) 635 9828

Figura 6 Hoja de datos técnicos, modulo fotovoltaico Solartec® 250W

El sensor empleado para esta investigación es el LM35, debido a su amplio rango de operación, y a su sencilla implementación.

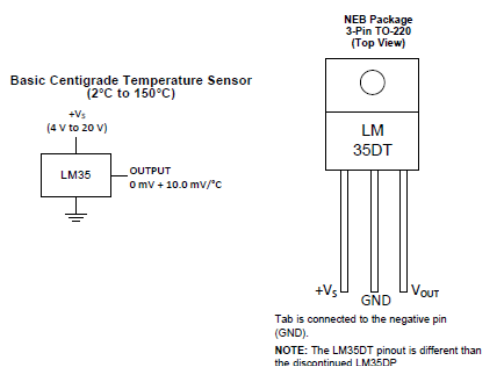


Figura 7 Sensor LM35, diagrama de conexión y encapsulado

El rango de operación se muestra en la siguiente tabla, la cual indica que su operación incrementa o decrementa 10mV por cada grado centígrado de temperatura.

°C	mV
125	1,250
....
45	450
40	400
35	350
30	300
25	250
20	200
15	150
10	100
5	50
0	0
-10	-10
....
-40	-400

Tabla 2 Rangos de temperatura del sensor LM35.

Los 30 sensores de temperatura estarán adheridos con cinta de doble propósito a la parte interna del módulo fotovoltaico, el cual cuenta para el modelo S60PC con 60 células individuales por módulo. En la figura 7 se muestra la disposición de cada uno de los sensores en el módulo.

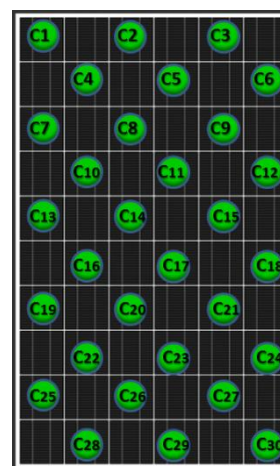


Figura 8 Ubicación de los sensores de temperatura en el módulo fotovoltaico

En la siguiente figura se observa de manera física la conexión y disposición de los sensores de temperatura en la parte inferior del módulo fotovoltaico con un salto entre celdas.

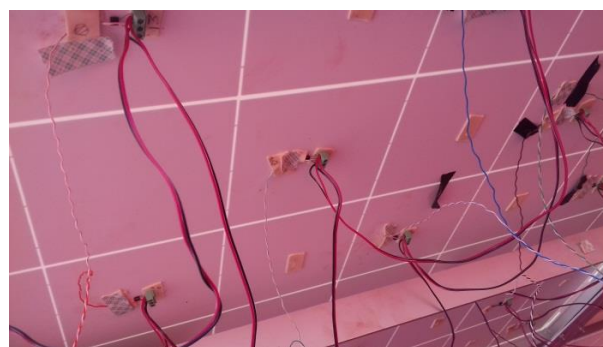


Figura 9 Vista interior de los sensores de temperatura en el módulo fotovoltaico

Con este arreglo, se pretende abarcar la mayor área posible del módulo fotovoltaico con el fin de ver el comportamiento de cada una de las temperaturas en las distintas zonas del panel debido a su inclinación con el que fue diseñado, (aproximadamente 20°), y que en nuestro caso, coincide con la latitud de 20°38'30.1"N, mirando hacia el sur geográfico.(NASA, 2014).

Los datos de salida provenientes de los sensores de temperatura serán conectados por medio de cableado a tarjetas DAQ NI USB300, las cuales, concentrarán a una PC la información.

Este modelo cuenta con 8 entradas analógicas por lo cual se utilizaron 5 tarjetas de adquisición de datos con conexión USB.

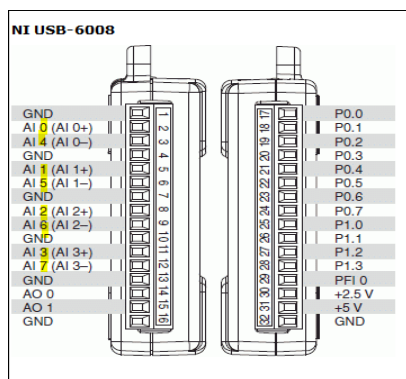


Figura 10 Tarjeta de Adquisición de Datos, DAQ por sus siglas en Inglés NI USB 6008, con 8 puertos de entrada análogos

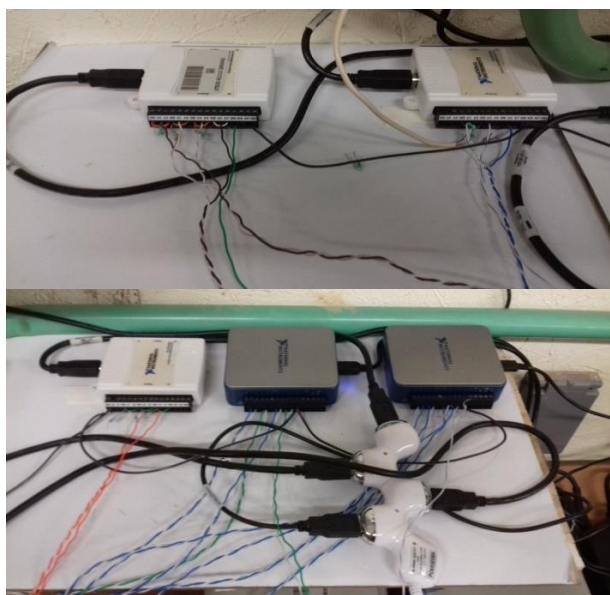


Figura 11 Tarjetas de adquisición de datos utilizada para la concentración de la información hacia la PC

La programación de los comandos e interpretación de los datos provenientes de los sensores se realizó con la interfaz Labview®, en la cual, se implementó un programa específico que tomara lecturas con un espacio de 10 minutos por sensor para dar un promedio de lectura en los 30 instalados en el módulo fotovoltaico, así como también el promedio general del sistema en su conjunto. Los datos de salida se pueden ver de forma gráfica en el programa o también se pueden descargar en archivo de Excel *.xls, para su análisis e interpretación.

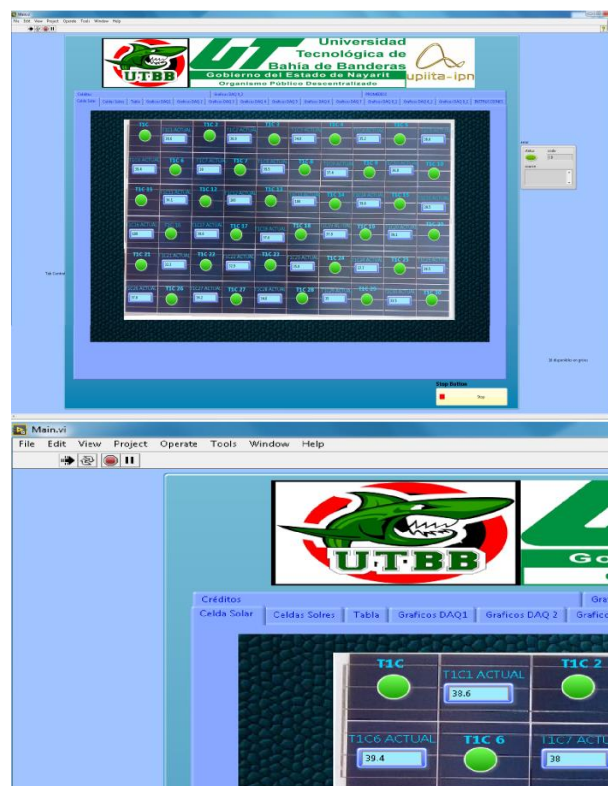


Figura 12 Pantalla principal del programa para la toma de lecturas de los sensores de temperatura en Labview®

El programa muestra virtualmente las mediciones provenientes de los sensores LM35 ubicados en el módulo fotovoltaico, tal y como se muestra en la figura anterior, con la diferencia que el módulo en la ventana se muestra de manera horizontal para fines prácticos, y su ubicación real es 90° hacia la derecha. Las siglas para los sensores son TC, y van del TC1 al TC30, con un color verde (simulando un LED), para temperaturas que oscilan en los rangos de 10° a los 40°C , cualquier temperatura inferior o superior respectivamente se visualizara con un color rojo para su rápida identificación.



Figura 13 Pantalla principal del programa con lecturas fuera de rango u anómalas

Las lecturas del díase muestran en la siguiente tabla de la interfaz Labview®, donde muestra el número de lectura, fecha de la lectura, hora de la lectura y los 30 sensores en cuestión.



Figura 14 Pantalla con la tabla de datos

Adicionalmente, el programa muestra las gráficas individuales de cada uno de los 30 sensores para ver su tendencia con respecto al tiempo, y una gráfica para el promedio total. A la izquierda de la gráfica se muestran las últimas 7 lecturas registradas por el programa.

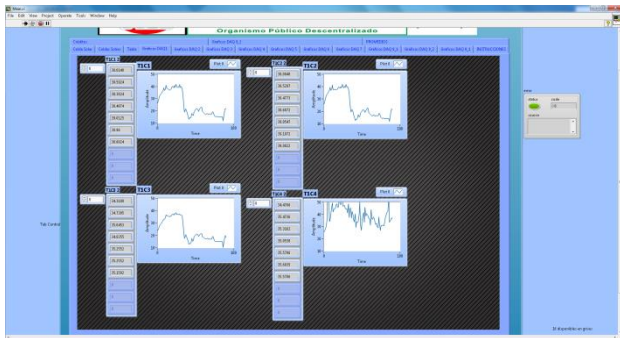


Figura 15 Grafica de cuatro sensores operando simultáneamente.

Resultados

La temperatura óptima de operación de los módulos fotovoltaicos Solartec nos dice lo siguientes:

Condiciones de Operación	
Temperatura	-40 hasta + 90°C
Carga máxima	50 psf (2,400 pascales)
Resistencia al impacto	Granizo - 25mm (1in.) a 23m/s
Normado con	IEC 61215 / IEC 61730 / NMX-J-618

Tabla 3 Condiciones de operación del módulo Solartec S60PC

Donde la eficiencia del panel es del 15.29% a una temperatura de prueba estándar de 25°C, y (Solartec, 2016) radiación de 1,000 W/m² (incidencia normal), distribución espectral AM 1.5 y velocidad del viento de 1 m/s.(Solartec, 2016)

La temperatura registrada por los sensores se realizó entre el 12 de agosto y el 9 de septiembre, los meses más calurosos del año en la región de Bahía de Banderas, Nayarit.

Para fines prácticos el análisis se tomó el día 12 de septiembre, el cual, tuvo momentos intermitentes de sol y nubes debido al temporal de lluvias.

Los resultados fueron analizados en un programa de hoja de cálculo para ver el comportamiento del módulo a través del tiempo que se tomó para la realización de esta investigación.

Los registros de temperatura en las siguientes tablas nos muestran distintos rangos en las células fotovoltaicas del módulo señalad

09/12/2016	07:30:00 p.m.	19.49	18.95	18.93
09/12/2016	07:40:00 p.m.	18.65	18.03	18.35
09/12/2016	07:50:00 p.m.	18.25	17.53	17.87
09/12/2016	08:00:00 p.m.	17.60	16.96	17.47
09/12/2016	08:10:00 p.m.	17.00	16.29	16.94
09/12/2016	08:20:00 p.m.	17.14	16.34	16.98
09/12/2016	08:30:00 p.m.	17.73	16.97	17.70
09/12/2016	08:40:00 p.m.	17.62	16.82	17.56
09/12/2016	08:50:00 p.m.	16.88	16.04	16.79
09/12/2016	09:00:00 p.m.	17.18	16.29	17.01
09/12/2016	09:10:00 p.m.	17.58	16.69	17.34
09/12/2016	09:20:00 p.m.	17.14	16.23	16.87
09/12/2016	09:30:00 p.m.	17.35	16.48	17.17
09/12/2016	09:40:00 p.m.	19.28	18.43	19.18
09/12/2016	09:50:00 p.m.	19.12	18.24	18.93
09/12/2016	10:00:00 p.m.	16.85	15.92	16.54
09/12/2016	10:10:00 p.m.	15.83	14.86	15.51
09/12/2016	10:20:00 p.m.	15.31	14.50	15.22
09/12/2016	10:30:00 p.m.	15.17	14.29	15.01
09/12/2016	10:40:00 p.m.	15.66	14.75	15.34
09/12/2016	10:50:00 p.m.	15.14	14.26	14.89
09/12/2016	11:00:00 p.m.	15.00	14.18	14.89
09/12/2016	11:10:00 p.m.	15.08	14.28	15.05
09/12/2016	11:20:00 p.m.	15.03	14.21	14.95
09/12/2016	11:30:00 p.m.	15.05	14.26	15.10
09/12/2016	11:40:00 p.m.	15.09	14.27	15.06
09/12/2016	11:50:00 p.m.	14.94	14.17	15.02

Tabla 4 Temperatura registrada en celdas solares con un rango de 0 a 20°C

En la tabla se obtuvo que los sensores T1, T2 y T3, registraron temperaturas inferiores a los 20°C, siendo estos los que se encuentran en la parte superior del módulo fotovoltaico, con intervalos desde las 3:30 p.m, hasta el final del día de medición.

09/12/2016	07:30:00 p.m.	28.11	29.77
09/12/2016	07:40:00 p.m.	27.19	28.69
09/12/2016	07:50:00 p.m.	25.95	27.42
09/12/2016	08:00:00 p.m.	24.60	25.98
09/12/2016	08:10:00 p.m.	23.81	25.12
09/12/2016	08:20:00 p.m.	22.97	24.32
09/12/2016	08:30:00 p.m.	22.28	23.64
09/12/2016	08:40:00 p.m.	22.38	23.69
09/12/2016	08:50:00 p.m.	22.59	23.88
09/12/2016	09:00:00 p.m.	22.48	23.82
09/12/2016	09:10:00 p.m.	22.41	23.75
09/12/2016	09:20:00 p.m.	21.78	23.19
09/12/2016	09:30:00 p.m.	22.54	23.89
09/12/2016	09:40:00 p.m.	22.52	23.82
09/12/2016	09:50:00 p.m.	22.58	24.01
09/12/2016	10:00:00 p.m.	23.53	24.98
09/12/2016	10:10:00 p.m.	23.12	24.63
09/12/2016	10:20:00 p.m.	22.56	23.99
09/12/2016	10:30:00 p.m.	22.14	23.56
09/12/2016	10:40:00 p.m.	22.23	23.69
09/12/2016	10:50:00 p.m.	22.30	23.77
09/12/2016	11:00:00 p.m.	22.19	23.66
09/12/2016	11:10:00 p.m.	22.39	23.84
09/12/2016	11:20:00 p.m.	22.10	23.54
09/12/2016	11:30:00 p.m.	22.07	23.53
09/12/2016	11:40:00 p.m.	22.53	23.98
09/12/2016	11:50:00 p.m.	22.43	23.88

Tabla 5 Temperatura registrada en celdas solares con un rango de 20 a 30°C

En la tabla anterior se muestran las temperaturas que estuvieron en los rangos de 20 a 30°C, que es la temperatura en que se realizan las pruebas a los módulos fotovoltaicos, estando solamente 10 de las 60 celdas dentro de estos parámetros de temperatura.

Fecha	Hora	TIC1	TIC2	TIC3	TIC4	TIC5	TIC6	TIC7
09/12/2016	09:50:00 a.m.	28.19	27.86	25.03	26.38	35.18	37.80	55.56
09/12/2016	10:00:00 a.m.	31.14	30.87	27.29	28.86	38.35	41.18	72.78
09/12/2016	10:10:00 a.m.	32.81	32.58	28.37	30.19	39.63	42.80	86.60
09/12/2016	10:20:00 a.m.	33.66	33.66	29.06	34.79	40.10	43.41	73.08
09/12/2016	10:30:00 a.m.	34.30	34.59	29.99	76.99	41.44	44.39	42.36
09/12/2016	10:40:00 a.m.	35.44	35.93	30.87	61.16	42.42	45.50	48.26
09/12/2016	10:50:00 a.m.	36.83	37.13	32.30	34.04	44.40	46.74	44.79
09/12/2016	11:00:00 a.m.	38.82	39.42	33.34	35.57	45.53	48.69	48.54
09/12/2016	11:10:00 a.m.	36.82	36.81	33.11	40.00	44.93	46.38	44.38
09/12/2016	11:20:00 a.m.	37.45	37.89	33.94	46.26	45.99	47.65	45.21
09/12/2016	11:30:00 a.m.	40.98	41.29	36.71	49.47	49.43	51.37	59.75
09/12/2016	11:40:00 a.m.	38.57	37.79	35.98	42.02	48.11	48.34	46.35
09/12/2016	11:50:00 a.m.	38.36	37.78	36.04	44.56	49.00	48.42	46.21
09/12/2016	12:00:00 p.m.	37.91	37.56	35.74	44.58	48.02	47.93	47.86
09/12/2016	12:10:00 p.m.	37.31	37.87	35.42	44.93	47.16	47.81	51.96
09/12/2016	12:20:00 p.m.	37.09	37.08	35.17	48.02	47.27	47.36	47.28
09/12/2016	12:30:00 p.m.	37.58	37.72	35.77	48.79	48.05	48.05	54.45
09/12/2016	12:40:00 p.m.	38.09	37.99	35.58	45.91	47.55	48.33	48.00
09/12/2016	12:50:00 p.m.	39.83	39.92	36.90	45.99	49.10	49.83	47.14
09/12/2016	01:00:00 p.m.	39.88	39.27	37.40	52.30	49.14	49.23	46.87
09/12/2016	01:10:00 p.m.	38.83	38.84	36.47	49.30	48.49	49.14	48.21
09/12/2016	01:20:00 p.m.	40.63	40.04	37.62	47.77	48.99	49.54	47.07
09/12/2016	01:30:00 p.m.	39.36	39.10	37.17	49.69	48.77	49.11	61.40
09/12/2016	01:40:00 p.m.	41.75	41.92	38.46	53.20	51.19	52.05	49.25
09/12/2016	01:50:00 p.m.	39.85	39.88	37.00	46.63	49.03	49.81	50.97
09/12/2016	02:00:00 p.m.	39.11	39.04	36.84	47.01	48.37	49.17	57.07
09/12/2016	02:10:00 p.m.	39.93	40.36	37.13	47.42	48.80	50.12	48.87
09/12/2016	02:20:00 p.m.	39.26	39.36	36.62	44.72	48.52	49.36	76.07
09/12/2016	02:30:00 p.m.	41.51	41.85	37.54	44.76	49.64	51.70	64.10
09/12/2016	02:40:00 p.m.	39.16	39.49	36.41	44.58	48.02	49.36	67.79
09/12/2016	02:50:00 p.m.	39.95	40.07	36.69	41.14	48.31	50.05	73.44
09/12/2016	03:00:00 p.m.	38.35	38.07	35.76	48.77	46.95	48.10	79.26
09/12/2016	03:10:00 p.m.	34.33	34.53	31.44	37.47	46.91	48.73	81.75

Tabla 6 Temperatura registrada en celdas solares con un rango de 30 a 50°C.

Las temperaturas en el módulo fotovoltaico entre los 30 y los 50°C son las temperaturas que predominaron en los registros, incluso se registraron temperaturas en estos rangos en la que no recibían radiación solar.

09/12/2016	11:30:00 a.m.	51.80	50.66	52.13	50.23	52.02
09/12/2016	11:40:00 a.m.	49.33	49.49	52.05	48.43	49.10
09/12/2016	11:50:00 a.m.	49.91	50.39	53.01	49.88	49.84
09/12/2016	12:00:00 p.m.	49.10	49.70	52.38	48.91	49.00
09/12/2016	12:10:00 p.m.	48.79	48.89	51.50	48.14	48.84
09/12/2016	12:20:00 p.m.	48.68	48.87	51.66	48.09	48.53
09/12/2016	12:30:00 p.m.	49.46	49.73	52.50	48.89	49.06
09/12/2016	12:40:00 p.m.	49.44	49.48	52.09	48.70	49.36
09/12/2016	12:50:00 p.m.	50.87	50.84	53.44	49.94	50.74
09/12/2016	01:00:00 p.m.	50.66	51.05	54.06	49.98	50.18
09/12/2016	01:10:00 p.m.	50.36	50.39	53.00	49.25	49.89
09/12/2016	01:20:00 p.m.	50.77	50.70	53.64	49.66	50.48
09/12/2016	01:30:00 p.m.	50.43	50.75	53.71	49.68	50.19
09/12/2016	01:40:00 p.m.	53.19	53.00	55.35	51.97	53.04
09/12/2016	01:50:00 p.m.	51.02	50.88	53.53	49.85	50.74
09/12/2016	02:00:00 p.m.	50.40	50.31	53.05	49.27	50.09
09/12/2016	02:10:00 p.m.	51.10	50.93	53.38	49.77	50.95
09/12/2016	02:20:00 p.m.	50.54	50.71	53.06	49.58	50.48
09/12/2016	02:30:00 p.m.	52.21	53.24	53.55	50.46	52.48
09/12/2016	02:40:00 p.m.	50.37	50.49	52.42	49.03	50.26
09/12/2016	02:50:00 p.m.	50.71	50.38	52.71	49.43	50.93
09/12/2016	03:00:00 p.m.	48.99	49.18	51.51	48.08	49.00
09/12/2016	03:10:00 p.m.	49.34	62.72	50.89	48.25	49.83
09/12/2016	03:20:00 p.m.	50.52	65.30	52.18	49.36	50.70

Tabla 7 Temperatura registrada en celdas solares con un rango > a 50°C

Las celdas solares con temperaturas arriba de los 50°C se reparten entre las horas de mayor incidencia solar que comprende de las 11:30 a.m, a las 16:40

Conclusiones

La temperatura promedio que nos arrojó el módulo fotovoltaico con los 30 sensores dispuestos en 30 células de las 60 que lo componen fue de $\approx 25.65^\circ\text{C}$ en el transcurso del día. Diversos factores son los que afectan la temperatura de los módulos instalados, entre ellas se analizaron:

1. La temporada de verano en la zona de la investigación.
2. La temperatura del panel que llega a incrementarse por arriba de los 50°C
3. Temperaturas de hasta 30°C por las noches.
4. La inclinación del módulo fotovoltaico, 20°, orientación sur.
5. El remanente de calor de la losa que transfiere al módulo fotovoltaico.

6. La temporada de lluvias que hace descender la temperatura de los paneles.
7. La nubosidad.

Las horas solares pico que se registran en la entidad son las siguientes.(R. Almanza S)

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Jal/Nay	PV/BAdB A	5.2	5.7	6	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6	5.5

Tabla 8 Horas solares pico para la región de Bahía de Banderas, Nayarit

Para el mes en que se realizó el estudio el promedio de horas solares se encuentran en el orden de las 5.65 al día, con lo que las temperaturas que mayoritariamente se encuentran en ese rango de producción del sistema fotovoltaico son las encontradas entre los 30 y los 50°C, por lo que el sistema trabaja en regiones superiores a las que el fabricante especifica una eficiencia de 15.29%, a una temperatura de 25°C.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Bahía de banderas por las facilidades otorgadas para la realización del presente trabajo y a los integrantes del cuerpo académico de Innovación y Aplicación Tecnológica, por los comentarios y sugerencias que permitieron la mejora del artículo.

Referencias

APS Valencia Energías Renovables . (22 de Febrero de 2012). Obtenido de <https://apsvalencia.com/2010/02/22/eficiencia-y-rendimiento-de-un-panel-solar-certificaciones/>

Ali Al Shehri, B. P. (2016). Impact of dust deposition and brush-based dry cleaning on glass. Solar Energy, journal homepage: www.elsevier.com/locate/solener, 8.

Aparicio, M. P. (2010). Energía Solar Fotovoltaica. Barcelona: Marcombo.

Asociación de la industria fotovoltaica. (2010). Sistemas de Energía Fotovoltaica Manual del Instalador. Sevilla, España: PROGNSA.

Basant Raj Paudyal, S. R. (2016). Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid. Solar Energy, journal homepage: www.elsevier.com/locate/solener, 8. Gobierno de la República. (2013). Reforma Energética Resumen Ejecutivo.

Gujarati, D. (1997). Econometría. Bogotá: MacGraw-Hill.

<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>. (26 de noviembre de 2014). Surface meteorology and Solar Energy - NASA. Recuperado el 01 de junio de 2016, de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Juan Carlos Vega de Kuyper, S. R. (2015). Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones. México, D. F.: Alfaomega.

Maza, M. Á. (2013). Energía Solar Fotovoltaica (Segunda ed.). México: LIMUSA.

NASA. (26 de noviembre de 2014). Surface meteorology and Solar Energy - NASA. Recuperado el junio de 2016, de <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Óscar Perpiñán Lamigueiro, A. C. (2012). Diseño de sistemas fotovoltaicos. España: PROGNSA.

Pilar Pereda Suquet, A. P. (2009). Proyecto y Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas. Madrid, España: Ediciones de arquitectura.

R. Almanza S, E. C. (s.f.). Reportes de insolación de México, Southwest Technology Development Institute, . NMSU.

Rizo, J. F. (2014). Energías Renovables, la única solución. México, DF: De La Salle ediciones.

Solartec. (2016). Solartec. Obtenido de <http://www.solartec.mx/products.php>

Vallina, M. M. (2011). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Madrid: Paraninfo.

Wethe, D. (2012). Super fracking. Bloomberg Businessweek.