



Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN DE CASO

Evaluación de un sistema solar fotovoltaico de 160 Wp

Evaluation of a 160 Wp photovoltaic solar energy system

Itzel Alejandra Jiménez C.¹, Mario Ernesto Jiménez C.², German López M.³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 12/03/2017

Recibido: 14/05/2017

Aceptado: 23/05/2017

Palabras clave:

Energía renovable

Radiación solar

Sistema solar fotovoltaico

Open access



Keywords:

Renewable energy

Solar radiation

Photovoltaic solar system

RESUMEN

Los sistemas solares fotovoltaicos (SSFV) son una alternativa sostenible en la obtención de energía a partir de la radiación solar [1]. El presente trabajo se desarrolló en la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ET-ITC), en la ciudad de Bogotá D.C., donde existe un SSFV, por lo que se pretendió validar la información de la eficiencia suministrada por el fabricante y compararla con datos recolectados experimentalmente.

Se requirió tener en cuenta la ubicación geográfica del sistema solar, el índice de transparencia atmosférico, los datos de radiación solar suministrados por la estación meteorológica y la energía eléctrica producida por el sistema; de igual manera, se depuraron datos no confiables usando el criterio de Chauvenet. Los datos se recolectaron durante ocho días de evaluación y se obtuvieron valores de eficiencias que oscilaron entre 16.33% y 20.51%, con los que se valida la información suministrada por el fabricante, que es 16.50%.

ABSTRACT

Photovoltaic solar systems (PSS) are a sustainable alternative, in obtaining energy from solar radiation [1]. The present work was developed in the Technological School Central Technical Institute (ET-ITC), in the city of Bogota, where there is a PSS, and so it is intended to validate the efficiency information, provided by the manufacturer, and compare it with data collected experimentally.

It was necessary to take into account the geographical location of the solar system, the atmospheric transparency index, the solar radiation data supplied by the meteorological station and the electrical energy produced by the system; Likewise, unreliable data were debugged using the Chauvenet criterion. Data were collected during eight days of evaluation; Efficiency values ranging from 16.33% to 20.51% were obtained, with which the information supplied by the manufacturer, which is 16.50%, was validated.

¹T.S.U. Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de Tabasco. Correo electrónico: itzelcast@live.com.mx

²T.S.U. Tecnología Ambiental. Universidad Tecnológica de Tabasco. Correo electrónico: jcmario21@gmail.com

³Magister en Ingeniería Mecánica; investigador, Universidad Distrital, Colombia. Correo electrónico: germanlopezm@yahoo.es

1. Introducción

En el 2015 se instaló un sistema solar fotovoltaico (SSFV) en la Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ET-ITC) de Bogotá D.C. (Figura 1 y Figura 2), conformado por dos paneles solares de 80 Wp cada uno, una batería de 150 Ah, un sistema de control, un inversor de carga de 300 W de 12VDC/110VAC y doce luminarias led para iluminar un sitio visible y emblemático de la institución. El SSFV ha sido utilizado para realizar prácticas y desarrollar proyectos de investigación, pero a la fecha no se había realizado una validación de los datos generados.

Figura 1: Ubicación del sistema solar fotovoltaico



Fuente: elaboración propia.

Figura 2: Paneles del sistema solar fotovoltaico



Fuente: elaboración propia.

Es por ello por lo que se decide evaluar la eficiencia de los paneles del SSFV, a partir de la conversión de la radiación solar en eléctrica. Los datos de radiación solar fueron recolectados por la estación meteorológica de la institución. El valor la eficiencia evaluada se comparó con la suministrada por el fabricante de los paneles solares.

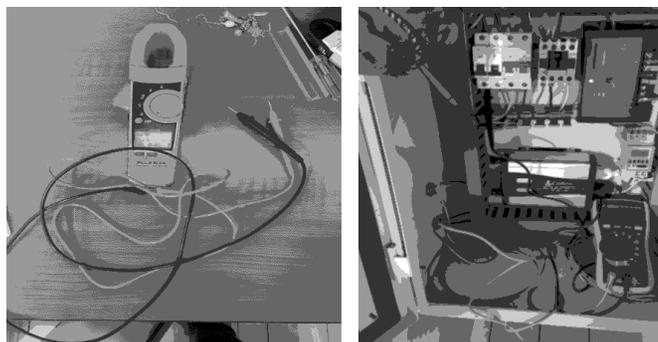
2. Aplicación de la metodología

2.1. Instrumentos de medición aplicados

Se utilizaron dos multímetros, uno de pinzas marca Fluke 336x y otro general para corriente continua, también marca Fluke 115.

El multímetro de pinza se utilizó para registrar la tensión (voltaje) y el multímetro general para la corriente (amperaje), en la Figura 3(a) y Figura 3(b) se aprecian los equipos utilizados.

Figura 3: (a) Multímetro de pinza. (b) Multímetro general



Fuente: elaboración propia.

2.2. Procedimiento

El trabajo se dividió en siete etapas:

La primera etapa consistió en identificar la ubicación geográfica del SSFV y en levantar la información técnica de los paneles solares. Con la aplicación Google Maps se identificaron las siguientes coordenadas λ : 4.606395; L : -74.081802, (latitud y longitud respectivamente) [2].

La ficha técnica de los paneles se muestra en la Tabla 1.

La segunda etapa correspondió a la determinación del número de datos a recolectar, en este caso fueron 200 distribuidos durante ocho días (veinticinco datos por día), el horario de recolección establecido fue desde las 10:00 hasta las 14:00 horas, que corresponde a las horas de mayor radiación solar, en lapsos de diez minutos. Se tomaron los datos de la estación meteorológica que suministra cada diez minutos [4]. En la Figura 4 se aprecia la estación meteorológica de la institución.

Tabla 1: Ficha técnica de paneles solares referenciada por el fabricante en su página web [3]

P36PCS(POLY) 70W-110W
PRODUCT SPECIFICATION

Model type	110W	90W	85W	80W	75W	70W
Peak power (Pmax)	110	90	85	80	75	70
Weight (kg)	9.18	7.76	7.35	7.02	6.62	6.29
Dimensions (mm)	1170x670x35	975x670x35	920x670x35	875x670x35	820x670x35	775x670x35
Maximum power voltage (Vmp)	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Maximum power current (Imp)	6.29	5.143	4.86	4.58	4.29	4
Open circuit voltage (Voc)	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6
Short circuit voltage (Isc)	7.10	5.81	5.49	5.17	4.84	4.52
Cell efficiency	16.50%	16.50%	16.50%	16.50%	16.50%	16.50%
Maximum system voltage	DC 1000V					
Temp Coeff of Isc (TK Isc)	0.045%/°C					
Temp Coeff of Voc (TK Voc)	-0.34%/°C					
Temp Coeff of Pmax (TK Pmax)	-0.47%/°C					
Normal Operating Cell Temperature	45±2°C					
Tolerance	±3%					

Figura 4: Estación meteorológica en la ET-ITC



Fuente: elaboración propia.

La tercera etapa correspondió al cálculo de la relación trigonométrica existente entre la posición del sol, durante los diferentes horarios de cada día, y la ubicación del SSFV; adicionalmente, se calculó el índice de transparencia atmosférico respectivo para evaluar su incidencia sobre los datos. El procedimiento seguido fue el que se describe a continuación:

- De acuerdo con el horario establecido, se determinó el ángulo horario (τ) que indica el desplazamiento angular del sol respecto al medio día solar. Es importante destacar que una hora del día equivale a un ángulo de 15° .
- Posteriormente, se calculó la declinación solar (δ) usando la ecuación (1), el valor de este ángulo se calculó cada día al mediodía solar, respecto al eje del plano que contiene la órbita que describe el movimiento del sol [5].

$$\delta = 23,75^\circ \sin \left(360 \frac{284 + Z}{365} \right) \quad (1)$$

Donde Z es el día del año considerado, contando a partir del primero de enero.

- Después se recolectó la información de la radiación solar, en W/m^2 (I_h horario), correspondiente a los veinticinco datos diarios obtenidos de la estación meteorológica.
- Con la radiación solar extraterrestre ($1353 W/m^2$, $I_o(ext)$), se calculó el índice de transparencia horaria, para lo cual se usó la ecuación (2).

$$k_h = \frac{I_h \text{ horario}}{I_o (ext) \text{ horaria}} \quad (2)$$

A manera de ejemplo, los valores de declinación solar e índice de transparencia atmosférica horaria, correspondientes al 23 de febrero de 2017 en la ET-ITC, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Declinación Solar e índice de transparencia atmosférica horaria del día 23 de febrero del 2017, en la ET-ITC.

Día: 23 de febrero

	Grados	Radian
$\lambda =$	4,606	0,08029
$\delta =$	-10,64	-0,1857

Hora	T en grados	T en radian	Radiación registrada en W/m^2	Radiación solar extraterrestre W/m^2	Índice de transparencia horaria (%)
10:00:00 a.m.	30,0	0,52	492	1353	36,36
10:10:00 a.m.	27,5	0,48	323	1353	23,87
10:20:00 a.m.	25,0	0,44	234	1353	17,29
10:30:00 a.m.	22,5	0,39	173	1353	12,79
10:40:00 a.m.	20,0	0,35	139	1353	10,27
10:50:00 a.m.	17,5	0,31	113	1353	8,35
11:00:00 a.m.	15,0	0,26	109	1353	8,06
11:10:00 a.m.	12,5	0,22	134	1353	9,90
11:20:00 a.m.	10,0	0,17	224	1353	16,56
11:30:00 a.m.	7,5	0,13	372	1353	27,49
11:40:00 a.m.	5	0,09	506	1353	37,40
11:50:00 a.m.	2,5	0,04	532	1353	39,32
12:00:00 p.m.	0	0	391	1353	28,90
12:10:00 p.m.	-2,5	-0,04	357	1353	26,39
12:20:00 p.m.	-5	-0,09	318	1353	23,5
12:30:00 p.m.	-7,5	-0,13	273	1353	20,18
12:40:00 p.m.	-10	-0,17	170	1353	12,56
12:50:00 p.m.	-12,5	-0,22	120	1353	8,87
1:00:00 p.m.	-15	-0,26	88,4	1353	6,53
1:10:00 p.m.	-17,5	-0,31	78,3	1353	5,79
1:20:00 p.m.	-20	-0,35	82,9	1353	6,13
1:30:00 p.m.	-22,5	-0,39	68,2	1353	5,04
1:40:00 p.m.	-25	-0,44	53,1	1353	3,92
1:50:00 p.m.	-27,5	-0,48	42,6	1353	3,15
2:00:00 p.m.	-30	-0,52	42,3	1353	3,13
Promedio					16,07

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestran los promedios diarios de índice de transparencia atmosférica y el promedio de los ocho días de toma de muestras. Se aprecia que el 23 de febrero de 2017 correspondió al menor valor de índice de transparencia atmosférica 16.07 %, es decir, fue el día con menor radiación solar en promedio, mientras que el 2 de marzo de 2017, correspondió al mayor valor, 34,52 %, es decir, fue el día con mayor promedio de radiación solar de los ocho días de toma de datos.

La cuarta etapa consistió en la recolección de los datos de tensión y corriente del SSFV para el cálculo de la potencia eléctrica de los paneles, se siguieron los siguientes pasos:

- Se abrió el circuito desconectando el cable negativo que llega al *break* principal de la caja de control (Figura 5).

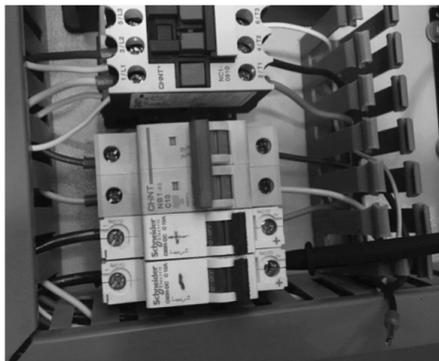
Tabla 3: Promedios por día de índice de transparencia atmosférica y promedio de los ocho días de tomas de muestras.

Fechas	Índice diario de transparencia atmosférica promedio %
23 de febrero de 2017	16,07
27 de febrero de 2017	21,87
28 de febrero de 2017	34,04
01 de marzo de 2017	29,89
02 de marzo de 2017	34,52
06 de marzo de 2017	31,82
07 de marzo de 2017	16,53
09 de marzo de 2017	33,58
Promedio de los ocho días	27,29

Fuente: elaboración propia.

- Se conectó el cable negativo del multímetro general para registrar la corriente que generaban los paneles en cada medición.

Figura 5: Se muestra el cable negativo del multímetro conectado a la terminal



Fuente: elaboración propia.

- El cable positivo del multímetro se conectó con el cable negativo que se desconectó de la terminal y se subió el *switch* de la terminal (Figura 6).

Figura 6: Lectura de corriente generada por los paneles



Fuente: elaboración propia.

- Con el multímetro de pinzas se registró la tensión, los cables se conectaron al break por la parte superior para leer el dato respectivo (Figura 7). Los datos obtenidos se registraron en una bitácora en Excel.

Figura 7: Ejemplo de lectura de voltaje



Fuente: elaboración propia.

- Los pasos cuatro y cinco se repitieron cada diez minutos hasta completar los veinticinco datos diarios en el horario establecido.

La quinta etapa consistió en el cálculo del factor de corrección (ajuste por inclinación de los paneles, respecto a la horizontal) para establecer la radiación efectiva que recibió el sistema; personal autorizado colaboró en la determinación de la inclinación y el área total expuesta, para lo cual usaron un medidor laser (Figura 8).

Figura 8: Personal autorizado y equipo de medición laser



Fuente: elaboración propia.

Se registraron en la Tabla 4 y la Tabla 5 las medidas de los paneles y las celdas se compararon con los datos del fabricante. Se verificó la validez de la información del fabricante.

El factor de corrección por la inclinación de los paneles correspondió al coseno de 8.9° (Figura 9).

Tabla 4: Medidas de los paneles

Medidas de los paneles				
Inclinación	Medida de un panel		Área Total (Dos paneles)	
8.90°	Ancho	Largo	Área	
	680 mm	1,100 mm	0.5670 m ²	1.134 m ²

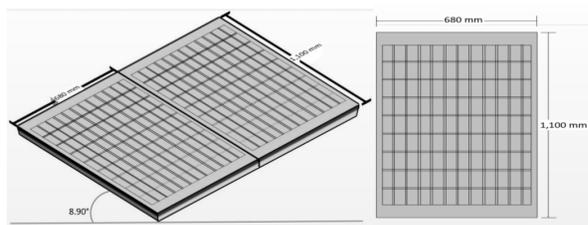
Fuente: elaboración propia.

Tabla 5: Medidas de las celdas dentro de los paneles

Medidas de las celdas dentro de los paneles					
Ancho	Largo	Área de las celdas	Largo de los paneles	Ancho de los paneles	Total de paneles en una celda
50 mm	105 mm	5250 m ²	12 celdas	9 celdas	108 celdas

Fuente: elaboración propia.

Figura 9: De izquierda a derecha, dimensiones de los paneles y medida de un panel



Fuente: elaboración propia.

La sexta etapa correspondió al cálculo de la eficiencia y la depuración de los datos no confiables, para lo cual se usó el método de Chauvenet [6]. En la Tabla 6 se muestran a manera de ejemplo los datos correspondientes al día del 23 de febrero de 2017; en este día, el primer dato de eficiencia calculado (correspondiente a las 10:00 am) debió eliminarse según el método de Chauvenet, ya que el resultado de su valor absoluto (2.70) era mayor al valor que determina dicho método, en este caso, para veinticinco datos es 2.33. Es importante mencionar que, si los datos de los valores absolutos son superiores a los valores de tabla, como el ejemplo mencionado anteriormente, se debe realizar una nueva depuración hasta que todos los datos sean inferiores al valor determinado.

Los promedios de eficiencias calculadas en los ocho días se muestran en la Tabla 7.

La séptima etapa consistió en la comparación de las eficiencias calculadas con la suministrada por el fabricante. De acuerdo con los datos de la Tabla 7, y conociendo el dato del fabricante, se construye un gráfico donde el eje (X) se refiere a los días de pruebas, y (Y) hace referencia al porcentaje de eficiencia (Figura 10).

Tabla 6: Ajuste por inclinación y aplicación del método de Chauvenet

Área=	1.134	m ²
-------	-------	----------------

Grados	Radian	Coseno	Chauvenet 25	Chauvenet 24 valores	Chauvenet 23 valores	Chauvenet 22 valores	Chauvenet 21 valores
8.9	0.155334303	0.99	2.33	2.31	2.3	2.28	2.26

FECHA: 23/02/17

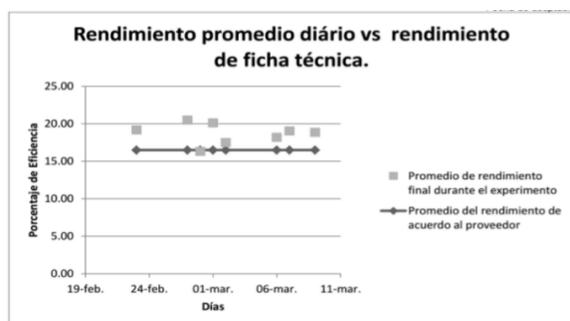
Hora	Tensión (Voltaje)	Corriente (Amperaje)	Potencia (Wattios)	Registro de la estación	Radiación/ Panel	Ajuste por inclinación	Eficiencia	Eficiencia				
				Radiación W/m ²	Wattios			t	Valor Absoluto	filtrada	r	Valor Absoluto
10:00:00 a.m.	20.1	7	139.9	492	557.9	551.2	25.4	5.9	2/7			
10:10:00 a.m.	20.2	3.7	74.9	323	366.3	361.9	20.7	1.3	0.6	20.7	1.5	0.8
10:20:00 a.m.	20.2	2.8	57.4	234	265.4	262.2	21.9	2.4	1.1	21.9	2.7	1.4
10:30:00 a.m.	20.1	2	40.8	173	196.2	193.8	21.1	1.6	0.7	21.1	1.9	1
10:40:00 a.m.	20.2	1.6	32.9	139	157.6	155.7	21.1	1.7	0.8	21.1	1.9	1
10:50:00 a.m.	20.1	1.3	26.3	113	128.1	126.6	20.8	1.4	0.6	20.8	1.6	0.9
11:00:00 a.m.	20	1.1	22.8	109	123.6	122.1	18.7	-0.8	0.4	18.7	-0.5	0.3
11:10:00 a.m.	20.1	1.2	24.1	134	152	150.1	16.1	-3.4	1.5	16.1	-3.1	1.7
11:20:00 a.m.	20.4	2.5	51.6	224	254	251	20.6	1.1	0.5	20.6	1.4	0.7
11:30:00 a.m.	20.7	3.5	72	372	421.8	416.8	17.3	-2.2	1	17.3	-1.9	1
11:40:00 a.m.	20.6	4.6	94.8	506	573.8	566.9	16.7	-2.7	1.2	16.7	-2.5	1.3
11:50:00 p.m.	20.3	5.7	115.7	532	603.3	596	19.4	0.0	0	19.4	0.2	0.1
12:00:00 p.m.	20.1	4.5	90.9	391	443.4	438.1	20.7	1.3	0.6	20.7	1.5	0.8
12:10:00 p.m.	20	3.9	78	357	404.8	400	19.5	0.1	0	19.5	0.3	0.2
12:20:00 p.m.	20.2	3.4	68.1	318	360.6	356.3	19.1	-0.3	0.2	19.1	-0.1	0
12:30:00 p.m.	20.2	3.1	63.4	273	309.6	305.9	20.7	1.3	0.6	20.7	1.5	0.8
12:40:00 p.m.	20.1	2.1	41.4	170	192.8	190.5	21.7	2.3	1	21.7	2.5	1.4
12:50:00 p.m.	19.9	1.4	26.9	120	136.1	134.4	20	0.5	0.2	20	0.8	0.4
1:00:00 p.m.	19.7	0.9	17.7	88.4	100.2	99	17.9	-1.5	0.7	17.9	-1.3	0.7
1:10:00 p.m.	19.6	0.7	14.3	78.3	88.8	87.7	16.3	-3.1	1.4	16.3	-2.9	1.5
1:20:00 p.m.	19.8	0.8	15.4	82.9	94	92.9	16.6	-2.8	1.3	16.6	-2.6	1.4
1:30:00 p.m.	19.6	0.7	13.1	68.2	77.3	76.4	17.2	-2.3	1	17.2	-2	1.1
1:40:00 p.m.	19.5	0.6	11.9	53.1	60.2	59.5	20	0.6	0.3	20	0.8	0.4
1:50:00 p.m.	19.2	0.4	8.1	42.6	48.3	47.7	16.9	-2.5	1.2	16.9	-2.3	1.2
2:00:00 p.m.	19.4	0.5	9.3	42.3	48	47.4	19.6	0.2	0.1	19.6	0.5	0.2
Promedio		19.4		Promedio		19.2						
Desviación Estandar		2.2		Desviación Estandar		1.9						

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7: Eficiencias promedio por día de los paneles solares

Fecha	Eficiencias promedio por día (%)
23 de febrero de 2017	19,20
27 de febrero de 2017	20,51
28 de febrero de 2017	16,33
01 de marzo de 2017	20,15
02 de marzo de 2017	17,50
06 de marzo de 2017	18,19
07 de marzo de 2017	19,06
09 de marzo de 2017	18,86
Promedio	18,72

Fuente: elaboración propia.

Figura 10: Eficiencias promedio diarias de paneles vs eficiencia reportada por el fabricante

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8: Promedios de potencia generada por día, de eficiencia por día e índice de transparencia atmosférica

Fecha	Potencia por día (W)	Eficiencia promedio por día (%)	Índice de transparencia promedio (%)
23 de febrero de 2017	48,47	19,20	16,07
27 de febrero de 2017	65,93	20,51	21,87
28 de febrero de 2017	91,97	16,33	34,04
01 de marzo de 2017	91,74	20,15	29,89
02 de marzo de 2017	100,15	17,50	34,52
06 de marzo de 2017	84,64	18,19	31,82
07 de marzo de 2017	49,35	19,06	16,53
09 de marzo de 2017	101,38	18,86	33,58

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8 se registran las potencias diarias en vatios, la eficiencia promedio por día y el índice de transparencia promedio. En ella se puede observar que las potencias diarias fueron relativamente bajas, en el rango de 48.47 a 101.38 vatios; por otro lado, al compáralas con el índice de transparencia, se observa que hay una relación directa entre ellas, es decir, que a mayor índice de transparencia mayor es la potencia generada, y a menor índice de transparencia menor es la potencia generada, mientras que al comparar las eficiencias con los índices de transparencias no se aprecia ningún tipo de correlación entre ellas. En conclusión, se puede afirmar que el índice de transparencia afecta directamente la producción de potencia, pero no la eficiencia.

3. Discusión de resultados

Se recolectaron 200 datos de la radiación solar, por medio de la estación meteorológica, y 200 datos de potencia generada por los paneles en los horarios establecidos según la metodología descrita; también se calculó el índice de transferencia, con el fin de conocer la relación que hay entre este índice, la potencia generada y la eficiencia de los paneles. En el cálculo de las eficiencias se usó el método de Chauvenet, para depurar datos dudosos.

Los datos de eficiencias calculados se compararon con el dato teórico (16.5%) y se confirma que el valor de la eficiencia reportada en la ficha técnica es correcto, ya que los paneles del SSFV, durante la evaluación, reportaron eficiencias en el rango de 16.33% a 20.51%, siendo el día 28 de febrero de 2017 el que mostró la eficiencia menor (16.33%) y el 27 de febrero la mayor (20.51%), valores que contienen la eficiencia suministrada por el fabricante.

Al comparar los índices de transparencia con las potencias generadas y las eficiencias calculadas (Tabla 8), se aprecia que el índice de transparencia fue relativamente bajo, en el rango de 16.07 a 34.52%, situación característica de días nublados, escenario que efectivamente así ocurrió. Este índice afecta directamente la generación de potencia de los paneles mas no su eficiencia.

4. Conclusiones

Durante el desarrollo del proyecto, los datos recolectados de la estación meteorológica y los obtenidos con las mediciones del sistema presentaron muchas variaciones, por ejemplo, la radiación que se recolectó presentó valores que fluctuaron en entre 200 y 800 w/m²; sin embargo, esta situación no afectó los cálculos de las eficiencias.

El valor de la eficiencia suministrada por el fabricante sí concuerda con los valores calculados durante el proyecto, por lo que se puede concluir que los valores que se han recolectado en experimentos previos, y los que se recolectarán en el futuro, son confiables.

Las condiciones meteorológicas de días nublados o días claros, representada en los de índice de transparencia atmosférica, no afectan la eficiencia de los paneles, pero sí, de forma directa, la potencia generada por los paneles.

El SSFV trabaja bajo las condiciones previstas por el fabricante, y los valores obtenidos en las investigaciones ya realizadas son confiables. Cabe mencionar que a pesar de que el SSFV cuenta con más de dos años instalado y que no se le ha realizado ningún tipo de mantenimiento preventivo, su eficiencia no se ha visto afectada.

5. Recomendaciones

Se recomienda implementar algún protocolo de mantenimiento preventivo para asegurar la eficiencia del sistema se mantenga en futuras pruebas.

Por otro lado, es conveniente recalcular el valor del fusible que se encuentra dentro de la caja de control, ya que, en una ocasión, durante los días de toma de datos, este se saltó, seguramente por alguna sobrecarga.

Adicionalmente, se recomienda trasladar la caja de control a un lugar de más fácil acceso y que se encuentre fuera del alcance de la comunidad estudiantil, para evitar posibles accidentes o daños sobre el sistema por una inadecuada manipulación.

Referencias

- [1] A. E, Montañez, “Energía solar fotovoltaica en la Escuela Tecnológica Instituto Técnico central: aplicación en un sistema de iluminación”. Letras Conciencia Tecnológica, edición X, septiembre de 2015, pp. 25-30.
- [2] Google Earth. febrero, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@4.60623,-74.081583,2587.22480646a,1056.54942016d,35y,0h,45t,0r/data=CnIacBJqCiUweDh1M2Y50TBiNDJjN2V1Zjk6MHg1Yj\EyZDg4YzU3NzFiODRlGZRqn47HbBJAITy656c4hVL\AKi9Fc2N1ZWxhIFRlY25vbM0zZ21jYsBjbnN0aXR1\dG8gVM0pY25pY28gQ2VudHJhbGcIAEoA>
- [3] BLD Solar, “PV Modules”. 12 de febrero del 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.bldsolar.com/>
- [4] Ammonit, “Mediciones de energía eólica y solar”. 11 de enero 2017. [En línea]. Disponible en: <http://ammonit.com/es/>
- [5] G. A. López, “Energía solar”. Bogotá, D.C.: Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, 2015.
- [6] “Rejeição de Números - Critério de Chauvenet”. 21 de febrero de 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=GI4oKDNXNUA&t=133s>