

Modelado y verificación experimental de un módulo fotovoltaico con MATLAB®-SIMULINK

Morales-Flores, Miguel Ángel.¹Morales-Flores, José Antonio.
^{1,2}TecNM/Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan.

Resumen – El presente artículo desarrolla un modelo matemático para un sistema fotovoltaico con el uso de MATLAB®-SIMULINK con el fin de modelar y validar de forma experimental los resultados de la curva I-V y P-V. Se implementa el modelo de un diodo para simular la curva corriente - voltaje en condiciones de irradiancia y temperatura variables. Los datos simulados en Matlab®-Simulink se validan mediante mediciones experimentales realizadas con un multímetro de panel solar EY1600W en un sistema fotovoltaico instalado en Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan, aplicando técnicas para la obtención de la curva I-V analizando el impacto de factores como la irradiancia difusa, estado del equipo y el deterioro de los componentes internos del módulo. Este trabajo aporta una herramienta para el diagnóstico y validación de un sistema fotovoltaicos en condiciones reales, contribuyendo a la mejora de la confiabilidad de la energía solar.

Índice de Términos – MATLAB®-Simulink®, Modelado, Modulo Fotovoltaico.

Modeling and experimental verification of a photovoltaic module with MATLAB®-SIMULINK.

Abstract – This article develops a mathematical model for a photovoltaic system using MATLAB®-SIMULINK to model and experimentally validate the results of the I-V and P-V curves. The single-diode model is implemented to simulate the current-voltage curve under varying irradiance and temperature conditions. Simulated data in MATLAB®-SIMULINK is validated through experimental measurements conducted with a solar panel multimeter (EY1600W) on a photovoltaic system installed at the Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan. Techniques were applied to obtain the I-V curve, analyzing the impact of factors such as diffuse irradiance, equipment condition, and internal component degradation of the module. This work provides a tool for the diagnosis and validation of photovoltaic systems under real conditions, contributing to the improvement of solar energy reliability.

Index Terms- MATLAB®-Simulink®, Modeling, Photovoltaic Module

Documento recibido el 2 de septiembre de 2024.

¹M. F. Miguel Ángel, profesor de Asignatura del TecNM/Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan, División de Ingeniería Electromecánica (prof_miguelangelmorales@ajalpan.tecnm.mx).

²M. F. José Antonio, profesor Asociado B del TecNM/Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan, División de Ingeniería en Sistemas Computacionales (prof_joseantoniomorales@ajalpan.tecnm.mx).

I. INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de energía renovable sigue siendo una exigencia principal de la sociedad actual para responder al aumento de la solicitud de energía causada por un alto consumo, principalmente debido al aumento demográfico. Por un tiempo prolongado, el apogeo energético se ha fundado en los combustibles fósiles.

Desafortunadamente, no sólo el suministro de petróleo, carbón y gas natural es limitado, sino que también existe una gran contaminación y preocupaciones ambientales asociadas con el uso de fuentes de energía tradicionales y alternativas [1].

El desarrollo de nuevas fuentes de energía se ve reforzado continuamente debido a la situación crítica de los combustibles industriales químicos, como el petróleo, el gas y otros. Por ello, las fuentes de energía renovables se han convertido en un contribuyente cada vez más importante al total de energía agotada en nuestro planeta; la demanda de energía solar ha aumentado entre un 20% y un 25% en los últimos 20 años. [2]. Uno de los objetivos que se tienen planteados es la promoción de fuentes sustentables para contribuir a la mejora de las situaciones que se generan como el cambio climático y mitigar las liberaciones de contaminantes que propician el efecto invernadero, se promueve establecer un criterio de conciencia y búsqueda de mejoras en el equilibrio sostenible entre sociedad y medio ambiente, como bien se menciona en la agenda 2030, en el objetivo 7, donde se concentra en establecer un acceso a energía posible, segura, sostenible y nueva para la sociedad.

La energía solar, es obtenida mediante el aprovechamiento de luz y calor provenientes del sol. La radiación solar que incide en el planeta puede utilizarse por la temperatura y radiación que genera. Se considera una fuente renovable perteneciente de la sección que no contamina, conocido como energía limpia [3], en el contexto de la generación de energía limpia a partir de su transformación, observamos una importante área de desarrollo para grandes y pequeños sistemas, para realizar un proceso seguro de demanda el análisis de los componente bajo ciertas circunstancias, es por ello que la intención de este título es contribuir con una caracterización de un módulo fotovoltaico y su validación experimental.

La reducción del precio de las células

fotovoltaicas contribuyó a recientes despliegues a gran escala. Los incentivos fiscales nacionales y regionales fueron otro factor que contribuyó al despliegue. Al mismo tiempo, el progreso tecnológico hizo posible el aumento de la confiabilidad, de modo que algunos sistemas fotovoltaicos establecen un periodo de uso esperado de 25 años o incluso más [1], la energía fotovoltaica ha surgido como energía renovable de alto potencial que compete significativamente con los enfoques convencionales de generación de energía en términos de eficiencia e impacto ambiental [4], actualmente las solicitudes tienen una demanda en aumento, ya que a partir de la selección de una generación distribuida, se permite la integración de sistemas de transformación de la energía, donde una de las más solicitadas en escalas menores es la energía fotovoltaica, ya que por la accesible instalación y precio crece constantemente.

En el contexto donde se realiza el siguiente proyecto se dispone de un sistema fotovoltaico con 12 módulos JKM265PP-60 instalados en la institución, siendo un sistema interconectado a la red en proceso de puesta en marcha. Debido a un largo periodo de inactividad, el sistema necesitaba de un diagnóstico oportuno para garantizar su funcionamiento en la actualidad, puesto que es un equipo instalado hace más de 7 años (2017).

La finalidad del trabajo es el desarrollo de un modelo para la obtención de una curva característica de corriente-voltaje del panel fotovoltaico JKM265PP-60 en MATLAB®-SIMULINK, para su verificación experimental mediante mediciones con el multímetro para panel solar EY1600W, con lo cual se valida un correcto funcionamiento del sistema para la continuidad del proyecto de implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.

El alcance del proyecto en cuestión es la implementación de un sistema de monitoreo de corriente y voltaje mediante Arduino y Raspberry Pi 5 para un sistema de control predictivo con el uso de MATLAB®, la implementación de un plan de mantenimiento para los paneles fotovoltaicos y su comprobación experimental para la creación de la curva corriente – voltaje con el uso de cargas.

Este documento aporta un conocimiento a la aplicación del modelado de sistemas con el uso de MATLAB®, el estudio y análisis de módulos fotovoltaicos, y la validación de variables simuladas y medidas.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y MODELO MATEMÁTICO

El efecto fotovoltaico es el procedimiento en donde una celda solar transforma la incidente luz en energía eléctrica. La luz es conformada por fotones, siendo de desiguales energías, relacionadas con sus respectivas longitudes de onda del espectro electromagnético [3].

Las celdas fotovoltaicas transforman la luz incidente en electricidad sin emitir contaminantes.

Básicamente están formadas por una unión p-n. La figura 1 muestra el principio de producción de fotocorriente de las celdas fotovoltaicas, de hecho, cuando la luz solar llega a la célula, los fotones son absorbidos por los átomos semiconductores, liberando electrones de la capa negativa. Este electrón libre encuentra su camino a través de un circuito externo hacia la capa positiva, lo que da lugar a una corriente eléctrica desde la capa positiva a la negativa [5].

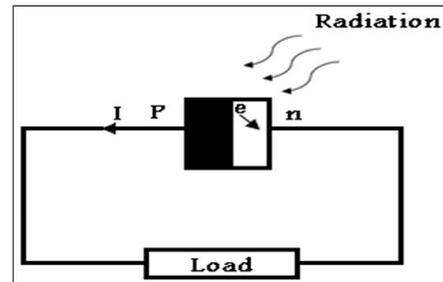


Figura 1 Principio de generación de fotocorriente. Fuente: [5]

Normalmente, una célula fotovoltaica genera un voltaje de entre 0,5 y 0,8 voltios, dependiendo del semiconductor y de la tecnología incorporada [5]. Como se observa el valor del voltaje es muy bajo para poder realizar un proceso, en ese sentido se generan interconexiones en serie como también en paralelo y de ambas, para formar módulos fotovoltaicos con valor de voltaje y corriente mayor al generado, a su vez, los módulos son interconectados de la misma forma para construir el panel fotovoltaico con valores de voltaje aproximados a los 30 VCD y valores de corriente de 8 A.

El sistema fotovoltaico se compone de dispositivos eléctricos encargados de la generación de energía eléctrica a partir de la radiación global. El elemento fundamental del mecanismo es el panel fotovoltaico, construido por celdas fotovoltaicas capaces de transformar los fotones incidentes del sol en electricidad de corriente directa [6]. Se describe como sistema fotovoltaico al cual este compuesto por celdas solares, encargadas de convertir una energía incidente en electricidad, normalmente estudiada por la radiación directa y difusa que reciben los módulos fotovoltaicos, interconectados a equipos que convierten corriente continua a alterna, para su uso en condiciones nominales, cuando no se encuentren en el rango de las requeridas, se instala un transformador como se observa en diagrama de la figura 2.

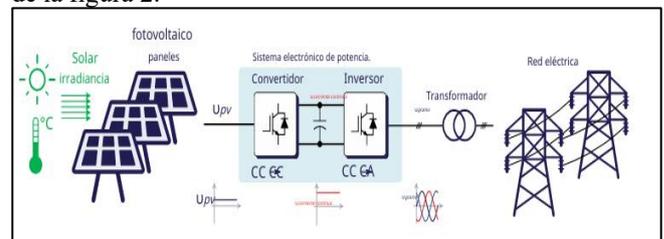


Figura 2 Sistema de conversión de energía fotovoltaica. Fuente: [1]

En este artículo se realizó un modelo MATLAB®-SIMULINK de un panel fotovoltaico monocristalino que describió el comportamiento de la célula bajo diferentes parámetros variables, como la energía solar incidente y la temperatura del sistema, para ser corroborados bajo situaciones experimentales en escenarios distintos.

El presente trabajo se centró en el modelo del módulo fotovoltaico JKM265PP-60 que se analiza en la sección tres. La sección cuatro presenta los resultados en el sistema modelado mediante MATLAB@-SIMULINK bajo diferentes parámetros variables y la comparativa con los valores medidos. Mientras que las conclusiones y los trabajos futuros se presentan en la sección 5.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La estructura básica de una célula fotovoltaica se puede descomponer y modelar como componentes eléctricos básicos, figura 3. Muestra la unión p-n del semiconductor y los diversos componentes que forman una celda fotovoltaica. El proceso de flujo de fotón a electrón explicado anteriormente se puede modelar como un generador de corriente, I_{ph} , donde la corriente generada se ve modificada por la intensidad de la luz que incide en la celda. La unión semiconductor p-n se modela como un diodo, D, con el sentido que se observa en la figura 3. La fuente de corriente y el diodo constituyen el modelo ideal de una celda fotovoltaica, pero en la vida real existen componentes parásitos adicionales. La unión p-n tendrá una capacitancia paralela asociada, C_p y una resistencia paralela (también llamada resistencia en derivación), R_{sh} , mientras que los cables conectados a la celda fotovoltaica tendrán una resistencia en serie asociada, R_s , e inductancia en serie, L_s . Estos componentes parásitos a menudo se ignoran cuando solo se necesita una representación simple de una celda o panel fotovoltaico, pero deben tenerse en cuenta cuando se requiere un modelado más preciso [1].

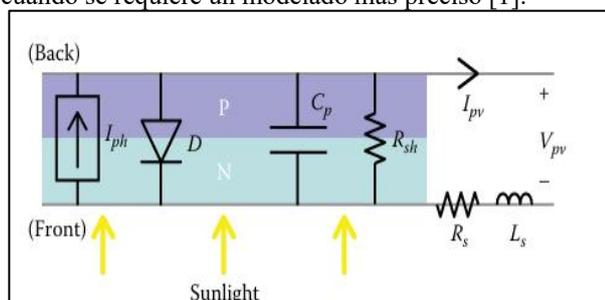


Figura 3 Modelo de estructura básica de un PV con componentes parásitos. Fuente: [1]

A. Panel fotovoltaico

Para fines del modelado y validación del sistema se consideró un sistema fotovoltaico de 12 paneles solares, ubicado en el techo del edificio N1, correspondiente al departamento de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan, ubicado en la ciudad de Ajalpan, Puebla, México 18.3772° N, 97.3574° W, lo cual permite maximizar la captación de irradiancia solar durante la mayor parte del día (figura 4), aprovechando una orientación e inclinación adecuadas para optimizar la eficiencia energética del sistema.



Figura 4 Sistema fotovoltaico instalado en la institución. Fuente: Elaboración propia.

Estas son las características mecánicas del módulo JKM265PP-60 se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Características mecánicas de panel JKM265PP-60. Fuente:[7]

Características mecánicas	
Tipo de celda	Policristalina de 6 pulgadas
Numero de celdas	60 (6*10)
Extensiones	1650*992*40mm
Peso	19 Kg
Cubierta frontal	3.2mm vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Conexiones	IP67
Cables	12 AWG

Para la parte de las especificaciones eléctricas se visualizan en la tabla 2, a partir de los valores obtenidos por el fabricante, los cuales son utilizados en la ecuación 1 para la formulación matemática implementada por bloques en SIMULINK

Tabla 2 Especificaciones de panel solar JKM265PP-60. Fuente:[7]

Especificaciones	
Potencia máxima (Pmax)	265 W
Voltaje máximo (Vmp)	31.4 V
Corriente máxima (Imp)	8.44 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	38.6 V
Corriente en corto circuito (Isc)	9.03 A
Eficiencia del módulo STC	16.19 %
Temperatura de uso	-40°C~+85°C
Voltaje máximo de sistema	1000/1500 VDC
Rango máximo de fusibles	20 A
Tolerancia SCT	0~+3%
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.38%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.31%/°C
Coefficiente de temperatura Isc	0.06%/°C
Temperatura nominal de operación de célula (NOCT)	45±2°C

Los datos presentados por el proveedor se realizan en condiciones estándar de prueba (SCT) con valores de irradiancia de $1000W/m^2$, temperatura de celda de $25^{\circ}C$ y una masa aire de 1.5, mientras que también se generan valores para condiciones de operación nominal de la célula (NOTC) con valores de irradiancia de $800W/m^2$, temperatura de celda de $20^{\circ}C$, una masa aire de 1.5 y una velocidad de viento de 1 m/s.

B. Módulo fotovoltaico

El diagrama electrónico que permite la caracterización de la celda fotovoltaica se muestra en la figura 5. Incluye un generador de corriente, un diodo, un resistor en serie y un resistor en derivación [5].

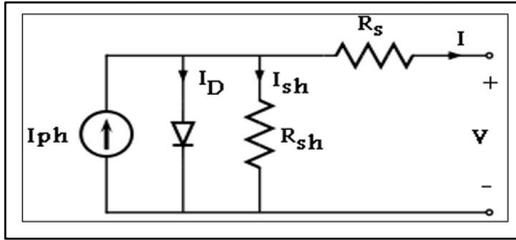


Figura 5 Circuito equivalente de célula fotovoltaica. Fuente: [5]

Donde la corriente de carga se ve expresada como:

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V + R_s I)}{NKT} - 1 \right) - \frac{(V + R_s I)}{R_{sh}} \quad (1)$$

En esta ecuación, I_{ph} es la fotocorriente, I_s es la corriente de saturación inversa del diodo, q es la carga del electrón ($1.6 \times 10^{-19}C$), V es el voltaje a través del diodo, K es la constante de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23}J/K$), y T es la temperatura de la unión, N es el elemento de idealidad del diodo, y R_s y R_{sh} son las resistencias en serie y en derivación de la celda, respectivamente [5].

C. Software

Para el modelado del panel fotovoltaico se utilizó el software MATLAB®, con el cual se trabajó con la versión R2023b, utilizado en el ámbito de la ingeniería debido a su capacidad para trabajar con diferentes procesos matemáticos, lo cual facilita el modelado y simulación del conjunto. Es un sistema que cuenta con una extensa cantidad de librerías y funciones que permiten el análisis de sistemas físicos, con su herramienta de SIMULINK, el cual es un entorno de modelado basado en bloques, permite la creación de modelos visuales, facilitando la simulación de la respuesta, en este contexto se utilizaron ambas secciones para graficar las curvas características del sistema fotovoltaico.

D. Instrumento de medición.

Para la validación experimental del sistema se optó por el uso de un multímetro de panel solar, específicamente el modelo EY1600W, figura 6, el cual es un controlador MPPT que mide la salida del punto más alto de potencia, voltaje en circuito abierto, corriente de entrada y salida con una pantalla en tiempo real, el modo en el cual se realizaron las mediciones fue automático.

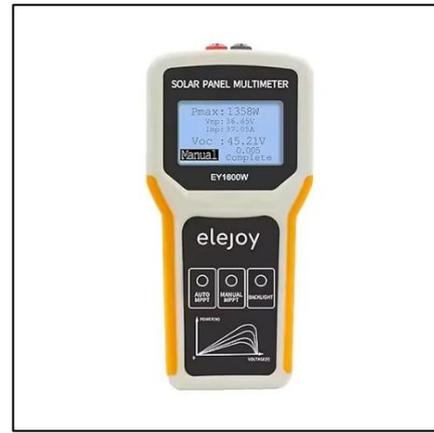


Figura 6 Solar Panel Multimeter Elejoy E1600W. Fuente:[8]

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los datos conseguidos de la tabla 2 y la ecuación 1, se diseñó el modelo del módulo fotovoltaico, donde en el proceso interno se relacionan las variables de I_{ph} , I_s , R_s , R_{sh} y por los valores externos la temperatura y radiación solar.

En base a la ecuación 1, se desarrolló el modelo en MATLAB®-SIMULINK como lo observan en las figuras 7, 8 y 9, en cada una de ellas se observan los bloques utilizados para obtener los parámetros necesarios dentro del cálculo, lo datos asignados son los valores de prueba ideales (SCT):

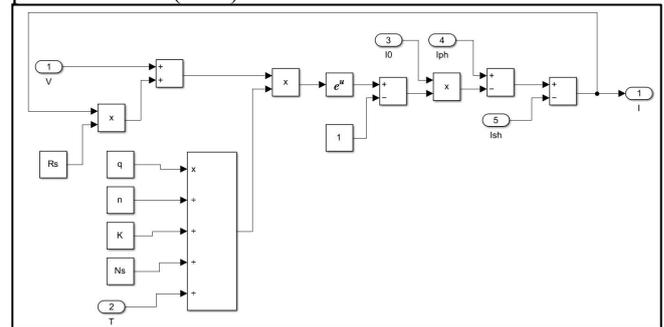


Figura 7 Diagrama de bloques para el cálculo de corriente del módulo fotovoltaico. Fuente: Elaboración propia.

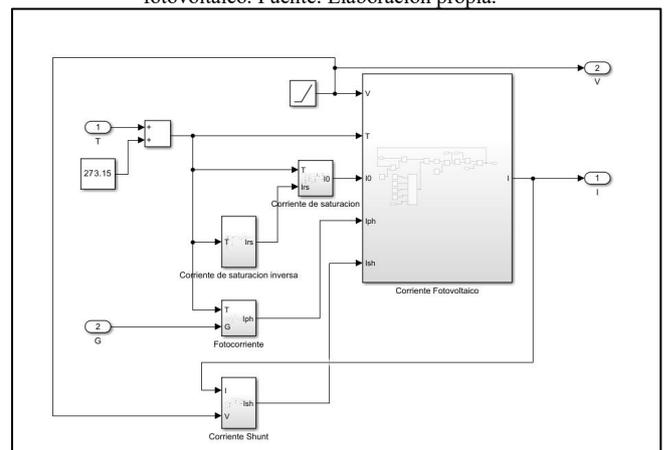


Figura 8 Subsistema para obtención de corriente. Fuente: Elaboración propia.

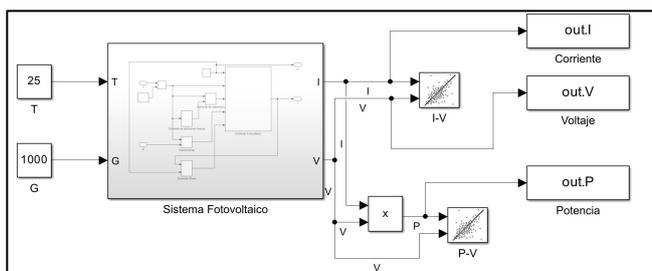


Figura 9 Modelo de módulo fotovoltaico en MATLAB®-SIMULINK
Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención de los valores de la curva de corriente y potencia respecto al voltaje se definieron los parámetros mediante la generación de un programa en MATLAB® que se muestran en el Anexo A.

Los resultados conseguidos de las curvas generadas se observan en la figura 10 y 11, bajo condiciones estándar de prueba (SCT),

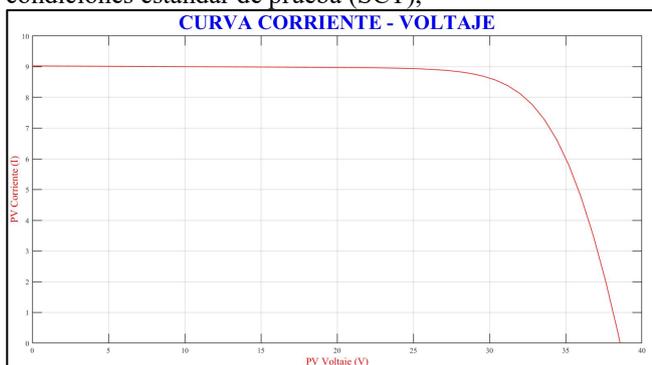


Figura 10 Curva I-V. Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se observan los valores simulados son muy similares con los previstos por la ficha técnica del proveedor, en la gráfica se observa que el valor de Voc está muy cercano a 38 V, contrastando contra los 38.6 V que menciona la tabla 2, al igual que el valor de Isc de un valor próximo a 9.

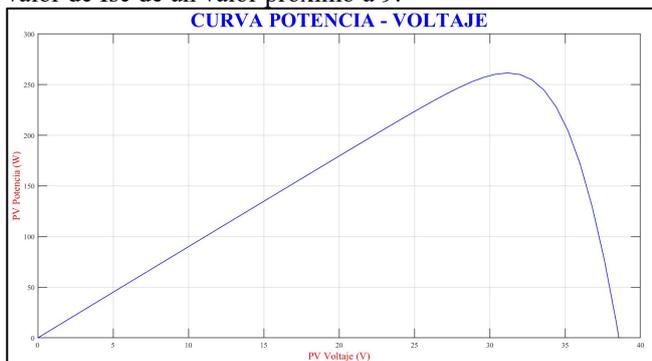


Figura 11 Curva P-V. Fuente: Elaboración propia.

Los valores simulados son muy similares con los previstos por la ficha técnica del proveedor, en la gráfica se observa que el valor de Voc está muy cercano a 38 V, contrastando contra los 38.6 V que menciona la tabla 2, al igual que el valor de Pmax de un valor próximo a 265 W

Para la parte de la validación se tomaron en cuenta dos días con una temperatura nominal de 25 °C, en la cual se realizaron las mediciones correspondientes a dos módulos fotovoltaicos con las mismas características como se logran observar en las figuras 12 y 13.



Figura 12 Validación de resultados para módulo 1 con el uso del dispositivo Elejoy E1600W. Fuente: Elaboración propia.



Figura 13 Validación de resultados para módulo 2 con el uso del dispositivo Elejoy E1600W. Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos para ambos módulos se observan en la tabla 3, ambos se tomaron con una temperatura promedio de 23°C.

Tabla 3 Parámetros medidos para módulos 1 y 2. Fuente: Elaboración propia.

Parámetro	Modulo 1	Modulo 2
Pmax	203.6 W	206.42 W
Vmp	27.26 V	27.45 V
Imp	7.47 A	7.52 A
Voc	34.68 V	34.50 V

Por los valores obtenidos podemos resaltar que existe una diferencia entre los valores simulados y medidos, esta diferencia se caracteriza por las discrepancias en temperatura y el valor de radiación considerado.

En el análisis de los resultados conseguidos, se logra precisar que el rendimiento de los módulos fotovoltaicos JKM265PP-60 sigue siendo adecuado, incluso después de aproximadamente siete años de instalación. Los valores medidos de potencia máxima (Pmax), voltaje de circuito abierto (Voc) y corriente de cortocircuito (Isc) se encuentran dentro de un rango aceptable en comparación con las especificaciones iniciales del fabricante, presentando solo ligeras desviaciones. Estas diferencias pueden atribuirse a factores como el envejecimiento natural de los materiales, las variaciones en las condiciones ambientales, y posibles acumulaciones de suciedad en las superficies de los módulos.

Este resultado es especialmente relevante, ya que confirma la viabilidad de estos módulos para aplicaciones de generación distribuida a un tiempo

prolongado mediante un mantenimiento preventivo y monitoreo habitual para extender la eficiencia en la producción de energía eléctrica. Además, estos hallazgos subrayan el valor del modelo de simulación desarrollado en MATLAB®-Simulink, que permite anticipar el rendimiento del sistema bajo diferentes condiciones y evaluar su estado operativo en el tiempo.

V. CONCLUSIONES

Este estudio ha desarrollado y validado experimentalmente un modelo matemático de un módulo fotovoltaico JKM265PP-60 utilizando MATLAB®-Simulink, con la finalidad de simular la curva característica corriente - voltaje (I-V) en condiciones variables de irradiancia y temperatura. La validación experimental se llevó a cabo mediante mediciones con un multímetro de panel solar EY1600W, en un sistema fotovoltaico instalado en la institución. Los resultados obtenidos muestran una correlación adecuada entre los datos simulados y medidos.

A pesar del tiempo transcurrido desde la instalación de los módulos (aproximadamente siete años), el rendimiento del sistema sigue siendo adecuado para las aplicaciones de generación distribuida, lo cual resalta la durabilidad de los módulos fotovoltaicos y su capacidad de mantener la eficiencia en el largo plazo.

El modelo desarrollado en MATLAB®-Simulink demuestra ser una herramienta efectiva para el análisis y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos en condiciones reales, permitiendo anticipar su comportamiento bajo diferentes escenarios ambientales.

Para investigaciones futuras, se recomienda ampliar el modelo incluyendo otros factores ambientales, como el polvo y la inclinación de los módulos, así como explorar técnicas avanzadas de control predictivo utilizando Arduino y Raspberry Pi para automatizar el monitoreo del sistema.

Este trabajo contribuye al campo de la energía fotovoltaica mediante la contribución de herramientas y metodologías para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de generación de energía eléctrica, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y acceso a energía limpia establecidos en la Agenda 2030.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), la Jefatura de División de Ingeniería Electromecánica, así como la Jefatura de División de Ingeniería en Sistemas Computacionales del TecNM/ITS de La Sierra Negra de Ajalpan, durante el periodo Junio-Septiembre de 2024.

REFERENCIAS

- [1] Blaabjerg, F., & Inel, D. M. (2017). *Renewable Energy Devices and Systems with Simulations in MATLAB and ANSYS*. CRC Press.
- [2] Jeyraj Selvaraj, Nasrudin A. Rahim, "Inversor multinivel para sistema fotovoltaico conectado a la red que emplea un controlador PI digital", *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, vol. 56, n.º 1, págs. 149-158, 2009.
- [3] Universidad de Sevilla, *Introducción a la Energía Fotovoltaica*. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTR>

- ODUCCI%3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADA+Fotovoltaica.pdf
- [4] Chapter 8. MPC Design for Photovoltaic Cells. (2018). *Practical Design and Application of Model Predictive Control*.
 - [5] Selmi, T., Bouzguenda, M., Gästli, A., & Masmoudi, A. (2012). MATLAB/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell. *International Journal of Renewable Energy Research*, 15(3), 391-812.
 - [6] O. Perpiñán Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*, versión 1.5, marzo de 2013. Disponible en: <http://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf>

- [7] "Jinko Solar- 首页," Jinkosolar.com, 2024. <https://www.jinkosolar.com/en/> (accessed Nov 2024).
- [8] "Solar Panel Tester (1600W)- Measure MPPT Power Output Rating, Open Circuit Voltage Smart Tester | Digital Monitor | Solar Panel Multimeter," *elejoy*, 2024. https://elejoy.com/products/solar-panel-tester-measure-mppt-power-output-rating-open-circuit-voltage-smart-tester-digital-monitor-solar-panel-multimeter-1600w?srltid=AfmBOopSThPGmVr3eBsJfcmzSm_cX3S4KTFa9YEGJbVOrINfukt3rey (accessed Nov 2024).

BIBLIOGRAFÍA DE AUTORES

MIGUEL ANGEL MORALES-FLORES, Recibió el grado de ingeniero electrónico por el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Tehuacán en 2023. Actualmente Becario CONAHCYT por el posgrado en Maestría en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Guadalajara, estudiante de posgrado en Maestría en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Puebla. Profesor de asignatura en el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan. Las áreas de interés son Simulación en Matlab®, Modelado de sistemas dinámicos, Teoría de control, Sistemas Fotovoltaicos.

JOSÉ ANTONIO MORALES-FLORES, Recibió el grado de ingeniero Mecatrónico por el Instituto Tecnológico de Tehuacán en 2013, en 2017 recibe el grado de Maestro en Ciencias de la Educación por el Instituto de Estudios Universitarios, en 2021 recibe el grado de Licenciado en Matemáticas por la Universidad Abierta y a Distancia de México, en 2024 recibe el grado de Doctor en Ciencias de la Educación por el Centro de Investigación Científica, Académica y Posgrados, actualmente Becario CONAHCYT por el posgrado en Maestría en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad de Guadalajara CU Valles. Profesor Asociado B en el Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de la Sierra Negra de Ajalpan. Las áreas de interés son Visión Artificial, Modelado de Sistemas y Gestión de la Investigación.

ANEXO A

%% Modelado ideal de celula fotovoltaica
%% Creado por Miguel Angel Morales Flores, 2024

close all
clear

%% Parametros para modulo fotovoltaico JKM265PP-60
Iscn = 9.03; % Corriente de cortocircuito en condiciones normales (A)
Vocn = 38.6; % Voltaje de circuito abierto
Ki = -0.38; % Coeficiente de temperatura de I
Kv = -0.31; % Coeficiente de temperatura de V
Ns = 1; % Número de celdas en serie
Gn = 1000; % Irradiancia de referencia (W/m²)
Tn = 298.15; % Temperatura de referencia (K)
k = 1.3807e-23; % Constante de Boltzmann (J/K)
q = 1.60217662e-19; % Carga del electrón (C)
a = 1.3; % Factor ideal
G = 1000; % Irradiancia actual (W/m²)

```
T = 25; % Temperatura actual (°C)

% Simulación del modelo fotovoltaico
sim('PV1')

%% Curva I-V (Corriente - Voltaje)
figure(1)
plot(ans.V, ans.I, '-r')
hold on
grid on
axis([0 40 0 10])
title('CURVA CORRIENTE - VOLTAJE', 'FontSize', 30,
'FontWeight', 'bold', 'Color', 'b')
xlabel('PV Voltaje', 'FontSize', 15, 'FontWeight', 'normal',
'Color', 'r')
ylabel('PV Corriente', 'FontSize', 15, 'FontWeight',
'normal', 'Color', 'r')

%% Curva W-V (Potencia - Voltaje)
figure(2)
plot(ans.V, ans.P, 'b')
hold on
grid on
axis([0 40 0 300])
title('CURVA POTENCIA - VOLTAJE', 'FontSize', 30,
'FontWeight', 'bold', 'Color', 'b')
xlabel('PV Voltaje', 'FontSize', 15, 'FontWeight', 'normal',
'Color', 'r')
ylabel('PV Potencia', 'FontSize', 15, 'FontWeight',
'normal', 'Color', 'r')
```