

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2025,  
Volumen 9, Número 3.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i1](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1)

## **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO PARA LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN**

**IMPLEMENTATION OF AN ISOLATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM  
FOR THE METEOROLOGICAL STATION OF THE TECNOLÓGICO DE  
ESTUDIOS SUPERIORES DE JOCOTITLÁN**

**Abraham Garcia Rodriguez**

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México

**Jaime Rosales Dávalos**

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México

**Leopoldo Gil Antonio**

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México

**Juan Alberto Antonio Velázquez**

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México

**Ma. De los Ángeles Enríquez Pérez**

Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rem.v9i3.18773](https://doi.org/10.37811/cl_rem.v9i3.18773)

## Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Estación Meteorológica del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

**Abraham Garcia Rodriguez<sup>1</sup>**

[2018150480338@tesjo.edu.mx](mailto:2018150480338@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0009-0003-5777-2335>

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Jocotitlán, TecNM  
México

**Jaime Rosales Dávalos**

[jaime.rosales@tesjo.edu.mx](mailto:jaime.rosales@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-9059-6893>

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Jocotitlán, TecNM  
México

**Leopoldo Gil Antonio**

[leopoldo.gil@tesjo.edu.mx](mailto:leopoldo.gil@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-7445-9426>

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Jocotitlán, TecNM  
México

**Juan Alberto Antonio Velázquez**

[juan.antonio@tesjo.edu.mx](mailto:juan.antonio@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-3052-3171>

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Jocotitlán, TecNM  
México

**Ma. De los Ángeles Enríquez Pérez**

[maria.enriquez@tesjo.edu.mx](mailto:maria.enriquez@tesjo.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-2280-0661>

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Jocotitlán, TecNM  
México

### RESUMEN

La dependencia de combustibles fósiles para generar electricidad ha elevado la huella de carbono y los costos energéticos, lo que ha impulsado el desarrollo de energías renovables más limpias, accesibles y eficientes. Una de las principales fuentes de energía renovable es la energía solar, esto es debido a su disponibilidad y a la disminución de los costos en la adquisición de paneles solares, a pesar de los avances tecnológicos el aprovechamiento de la energía solar sigue siendo bajo en comparación con el consumo global de energía. No obstante, su implementación en aplicaciones específicas, como sistemas autónomos y aplicaciones agrícolas ha demostrado ser una solución eficiente tanto en zonas aisladas y/o con acceso limitado a la red eléctrica. Este trabajo plantea el dimensionamiento e implementación de un sistema fotovoltaico autónomo para la estación meteorológica del Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (EMTESJO). El objetivo es garantizar un suministro energético continuo e independiente de la red eléctrica, permitiendo el monitoreo ininterrumpido de las variables meteorológicas que se monitorean a través de la estación. La integración de un sistema fotovoltaico asegurará el funcionamiento óptimo y sostenible de la EMTESJO mediante el uso de energías limpias.

**Palabras clave:** energía solar, sistemas fotovoltaicos, estación meteorológica, energía renovable

---

<sup>1</sup> Autor principal

Correspondencia: [2018150480338@tesjo.edu.mx](mailto:2018150480338@tesjo.edu.mx)

# Implementation of an Isolated Photovoltaic System for the Meteorological Station of the Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

## ABSTRACT

Dependence on fossil fuels to generate electricity has driven up carbon footprint and energy costs, prompting the development of cleaner, more affordable and efficient renewable energies. One of the main sources of renewable energy is solar energy, this is due to its availability and the decrease in the cost of acquiring solar panels, despite technological advances, the use of solar energy is still low compared to global energy consumption. However, its implementation in specific applications, such as autonomous systems and agricultural applications, has proven to be an efficient solution in isolated areas and/or areas with limited access to the electrical grid. This work proposes the sizing and implementation of an autonomous photovoltaic system for the meteorological station of the Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán (EMTESJO). The objective is to guarantee a continuous and independent energy supply from the electrical grid, allowing the uninterrupted monitoring of the meteorological variables that are monitored through the station. The integration of a photovoltaic system will ensure the optimal and sustainable operation of the EMTESJO through the use of clean energy.

**Keywords:** solar energy, photovoltaic systems, weather station, renewable energy

*Artículo recibido 26 mayo 2025*

*Aceptado para publicación: 30 junio 2025*



## INTRODUCCIÓN

Las energías renovables surgen como una respuesta al aumento de la demanda energética y los impactos negativos de los métodos tradicionales de generación de energía basados en la quema de combustibles de origen fósil como el petróleo y sus derivados, por esta razón Stanojevic (2021) afirma que el futuro reside en las nuevas tecnologías energéticas; por lo que, surge la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía que no contaminen y sean renovables, el Sol puede aprovecharse como una fuente de recursos que provee energía limpia, abundante y disponible en la mayor parte del planeta, pero incluso con los avances tecnológicos de las últimas décadas el aprovechamiento de la energía solar ha sido insignificante comparándolo con el consumo global de energía a nivel mundial (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008) (Blas Martínez, 2011). Actualmente, la energía solar ocupa el tercer lugar dentro de las energías renovables con 227 GW para generación eléctrica y 435 GW térmicos (Secretaría de Energía, 2017), hoy en día existen diversos sistemas y métodos que permiten aprovechar la energía del sol para usarla en una gran variedad de aplicaciones, como son los sistemas aislados que se emplean en postes de alumbrado público o sistemas de bombeo de agua. Los sistemas aislados (SOFF) al ser independientes de la red eléctrica necesitan paneles solares, un controlador de carga, un inversor que convierta la corriente directa (DC) a corriente alterna (AC) y baterías para el almacenamiento de energía, al término de la vida útil de los componentes, estos deben ser reciclados cuando sea posible o desechados de forma segura, en especial los componentes electrónicos, las baterías (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2021).

El método para producir energía a través de paneles fotovoltaicos se basa en el aprovechamiento de la energía solar contenida en las partículas de luz (denominados fotones) para convertirla en energía eléctrica (Mdallal, y otros, 2025). La tecnología solar fotovoltaica (FV) consiste en el aprovechamiento de la radiación solar para posteriormente convertirla en energía eléctrica aprovechando el efecto fotovoltaico para transformar la energía luminosa en energía eléctrica (Abella, 2016). Esto es posible gracias a las células solares (unidad básica para la producción de energía fotovoltaica) que se encuentran en los paneles solares, la energía producida es el resultado de dos partes que están hechas de semiconductores, como el silicio (Cosenza, Miccio, & Greco, 2023). Las celdas fotovoltaicas o paneles



solares son dispositivos que convierten la energía del sol en energía eléctrica, por lo tanto, la energía convertida es directamente proporcional a la intensidad y duración de los rayos solares (Mestre Maestre, 2021).

Dentro de la categoría de los paneles fotovoltaicos se pueden distinguir tres tipos: monocristalinos, policristalinos y silicio. Cada tipo de panel solar tiene sus ventajas y desventajas, sin embargo, es importante tener en cuenta el impacto económico que tendrá la adquisición de los paneles solares en el presupuesto del proyecto contemplado.

### **Controlador de carga**

El controlador de carga o regulador de carga solar es el encargado de gestionar este proceso de carga y descarga de las baterías, es necesario para proteger la vida útil de las baterías y mejorar el rendimiento del sistema solar. Un controlador de carga solar es un dispositivo electrónico que controla el flujo de electricidad, este flujo de energía depende del estado de carga de la batería y de la energía producida por los paneles solares, por ende, es necesario el monitoreo continuo del nivel de carga de la batería para proporcionar la carga y extender la vida útil de la batería. Es importante tener en cuenta que las baterías (dependiendo del tipo de batería) requieren varias etapas de carga con diferentes parámetros de voltaje e intensidad según el modelo utilizado. Se clasifican en dos categorías los controladores de carga: los controladores de carga tipo PWM (Pulse Width Modulation), o “Modulación por Ancho de Pulso” y los controladores de carga tipo MPPT (Maximum Power Point Tracking), o “seguimiento del punto de máxima potencia”. El controlador de carga MPPT suele tener una eficiencia entre el 70 y el 96 %, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se busca obtener el mayor rendimiento de los componentes, por otra parte, el controlador de carga PWM suele tener una eficiencia promedio del 70% siendo comúnmente usado en aplicaciones baja potencia (Bustos-Márquez, Sepúlveda-Mora, Guevara-Ibarra, & Medina-Delgado, 2023); (Arsad, Mahmood Zuhdi, Azhar, Chau, & Ghazali, 2025).

### **Inversores CC-AC**

Es un dispositivo electrónico diseñado para convertir una señal de CC en una señal de AC. Los inversores permiten controlar y convierten los parámetros como frecuencia, amplitud y la señal de salida según los requisitos específicos de la carga. Su importancia radica en su capacidad para promover la integración de los sistemas eléctricos, energías renovables y mejorar la eficiencia energética.



La conversión de la energía eléctrica se realiza mediante circuitos de electrónica de potencia que adaptan el tipo o nivel de una forma de onda de entrada específica a las características requeridas por la carga, optimizando el funcionamiento y la eficiencia. Los convertidores electrónicos de potencia son esenciales para garantizar la compatibilidad y el aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica en diversos sistemas, adaptando las características de la energía suministrada a las necesidades específicas de cada aplicación (Andueza San Martín & Senosiáin Miquélez, 2012).

Los inversores se pueden clasificar según el tipo de onda que entregan en la salida.

- Inversor de onda sinusoidal pura: Es un dispositivo inversor de potencia que genera una forma de onda de AC sinusoidal debido a que muchos dispositivos eléctricos están diseñados para operar de manera óptima con una fuente de AC de onda sinusoidal. Ofrecen la forma de onda de mayor calidad, con un índice de distorsión armónica total (conocido como THD, por sus siglas en inglés) muy bajo, cercano al 3%.
- Inversor de onda modificada: La onda sinusoidal modificada se genera al combinar dos ondas cuadradas, una de las cuales está desfasada un cuarto de período respecto a la otra. Esto da como resultado una forma de onda con pasos de voltaje que siguen esta secuencia: cero, pico positivo, cero, pico negativo y nuevamente cero, repitiéndose de manera continua, esto se logra cuando los pulsos tienen un ancho de 130 grados por ciclo de trabajo.
- Inversor de onda cuadrada: es una solución sencilla y económica, sin embargo, en términos de eficiencia esta suele ser baja debido a las distorsiones armónicas (Gutiérrez, Flórez, & Serrano, 2019).

### **Acumulación de energía**

Para poder almacenar la energía producida por los paneles fotovoltaicos es necesario la integración de un sistema de acumuladores, de este modo la energía almacenada será utilizada en las horas nocturnas. Algunos de los parámetros que se debe tener en cuenta para el dimensionamiento del sistema de acumulación son: la capacidad de almacenamiento de las baterías medidas en Ah (Amperes-horas), la tensión nominal de las baterías teniendo en cuenta si se va a trabajar con un sistema de 12 volts o 24 volts y la intensidad de trabajo (la profundidad de descarga máxima especificada por el fabricante). La selección de las baterías dependerá del tipo de instalación (Martínez Cerro, 2011).



Existen varios tipos de baterías que se pueden usar en los sistemas fotovoltaicos, las baterías más utilizadas son (Alvarado Ladrón de Guevara, 2018):

- Monoblock: este tipo de baterías son comúnmente usadas para pequeñas instalaciones, con una relación calidad-precio equilibrada, son una excelente opción para instalaciones aisladas con consumos pequeños o esporádicos.
- Baterías AGM: estas son baterías de plomo-acido sellada, libres de mantenimiento, pero por lo regular tienen un número menor de ciclos que otros tipos de baterías, por lo tanto, es un factor importante a tener en cuenta si se les dará un uso diario. Estas baterías ofrecen ciclos de descarga profunda, una mayor resistencia al frío y resistente a impactos.
- Baterías estacionarias: estas baterías se caracterizan por tener una vida útil más larga y un mantenimiento mínimo, por lo que son ideales para instalaciones en las que se van a realizar un consumo diario durante largos periodos de tiempo.
- Baterías de gel: son una variante de las baterías plomo-acido, se caracterizan por no necesitar mantenimiento, pueden soportar temperaturas extremas y tener una vida útil mayor a otras baterías.
- Baterías de litio: estas baterías se distinguen por ocupar menos espacio que las baterías ya mencionadas y no necesitan mantenimiento. Presentan el tipo de carga más rápido y tienen un mayor ciclo de descarga sin dañar la batería, teniendo como principal desventaja su elevado costo.

El desarrollo de nuevas tecnologías y procesos más eficientes para fabricar baterías de litio hace que los costos bajen gradualmente y se traza un nuevo horizonte no solo para los sistemas FV sino también para todas las aplicaciones que requieren el uso de baterías (autos eléctricos, teléfonos inteligentes, herramientas eléctrica o simplemente almacenamiento de energía a gran escala), esto ha permitido que el desarrollo de sistemas FV a gran escala sea cada vez más común en países como USA o China (Edoo & Ah King, 2021).

Estos sistemas han permitido que se pueda llevar energía eléctrica a zonas de difícil acceso, como en las zonas montañosas. Además, este tipo de sistemas es ideal para instalaciones agrícolas que requieren el uso de maquinaria y aparatos eléctricos, especialmente en zonas apartadas o no urbanizadas donde el acceso a la red eléctrica es limitado (Centeno Alcivar, 2024).



Con las estaciones meteorológicas móvil (Florentino León, 2023), es posible conocer las condiciones atmosféricas de un lugar en específico, con esta información los productores podrían planificar sus actividades agrícolas (Thombare, y otros, 2021).

Este trabajo muestra el proceso de incorporación de un sistema SOFF que sirve para proporcionar energía eléctrica de forma independiente a la EMTESJO. Esta implementación otorgara autonomía y confiabilidad, incluso en condiciones de desconexión de la red eléctrica o en áreas con acceso limitado a infraestructura. De esta forma se garantiza un monitoreo continuo de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, cantidad de luz, velocidad de viento, dirección de viento y cantidad de lluvia), asegurando el monitoreo y almacenamiento continuo de las variables físicas y procesar la información, sin interrupciones por falta de energía o fallos en la conexión de la red eléctrica.

La EMTESJ enfrenta limitaciones en su operación continua por la dependencia de la energía eléctrica suministrada por CFE (comisión federal de electricidad). Esto ha provocado fallas en el funcionamiento, lo cual afecta el monitoreo y almacenamiento constante de las variables meteorológicas. Anteriormente, se integró un sistema fotovoltaico para captar y almacenar la energía eléctrica, que proporciona la tensión necesaria para su correcto funcionamiento del sistema de captación y almacenamiento de las variables físicas. Sin embargo, la integración de reguladores de voltaje para el sistema de recolección y almacenamiento de datos, a través de internet requieren estar conectados a una fuente de energía con Corriente Alterna (AC), lo cual representan un obstáculo que limita el funcionamiento de la estación meteorológica para trabajar en zonas sin acceso a la red eléctrica convencional. Para solucionar este problema se implementó un sistema fotovoltaico SOFF para la operación autónoma de la estación meteorológica, sin importar si los sensores trabajan con corriente directa (DC) o alterna (AC). La implementación de un sistema SOFF permite el monitoreo ininterrumpido de las variables físicas garantizando la independencia energética de la estación para el monitoreo y almacenamiento de los parámetros físicos, facilitando posibles ubicaciones en las zonas de cultivo sin acceso a la energía eléctrica.



## METODOLOGÍA

Se utilizaron las ecuaciones propuestas por Salamanca (2017), para el cálculo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico. El estudio de cargas se hace para tener una idea aproximada de la potencia consumida, considerando todos los sensores y reguladores de carga que integran la EMTESJ, la potencia total diaria es de 32 W y la energía total diaria consumida es de 474.465 Wh.

Para el dimensionamiento del sistema SOFF, se determina el consumo diario de energía eléctrica, principalmente la potencia de los equipos electrónicos que están conectados y si estos funcionan con CC o AC. La ecuación 1 se utiliza para determinar la estimación del consumo para equipos que funcionan con CC medida en watts hora (Wh).

$$EE_{CC} = \Sigma \#Eqip * Hrs * P_{Eq} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde #Eqip es el número de equipos con las mismas características, Hrs es la cantidad de horas que funcionarían los equipos y  $P_{Eq}$  es la potencia nominal de equipos conectados a CC.

En la ecuación 2 se utilizan las mismas variables que en la ecuación 1, pero aplicada a los equipos que usan AC, en este caso no se utilizaría la ecuación 2, todos los equipos utilizan CC.

$$E_{AC} = \Sigma \#Eqip * Horas * P_{Eq} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Por último, la energía total consumida por los dispositivos de CC y la consumida por los dispositivos AC, se calcula:

$$E_{carga\ Total} = E_{CC} + E_{AC} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Como solo se utilizan dispositivos y sensores que funcionan CC, la ecuación 2 puede ignorarse, pero si el proyecto incluyera bombas de agua o cualquier tipo de motor (ya sea monofásico o trifásico) la ecuación 2 tendría una especial importancia. Por lo tanto, la ecuación 3 queda de la siguiente forma:

$$E_{carga\ Total} = E_{CC} = 475 \text{ Wh/día}$$

### Estimación de pérdidas en el sistema

Es importante considerar que van a existir pérdidas que pueden afectar en mayor o menor medida el rendimiento del sistema SOFF, ya sea por cableado, eficiencia del inversor o las baterías. En este trabajo se considerarán 4 factores que pueden afectar la eficiencia del sistema. La ecuación 4 se usa para estimar esas pérdidas.

$$\eta_T = \eta_B * \eta_{inv} * \eta_R * \eta_X \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$\eta_B$  = eficiencia de la batería que típicamente puede oscilar entre el 75% y un 90%.

$\eta_{inv}$  = eficiencia del inversor. Principalmente es utilizado en instalaciones de 220 V. Los valores por defecto suelen oscilar entre el 85% y el 98%.

$\eta_R$  = eficiencia del regulador empleado. Depende de la tecnología utilizada, en caso de desconocer el valor por defecto se considera el 90%.

$\eta_X$  = eficiencia que considera las pérdidas no contempladas.

En este caso se usaron los valores recomendados por los fabricantes:

$\eta_B$  = eficiencia de la batería (80%)

$\eta_{inv}$  = eficiencia del inversor (85%)

$\eta_R$  = eficiencia del regulador (95%)

$\eta_X$  = eficiencia debido a otras pérdidas (95%)

$\eta_T = 0.614$

### **Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos**

Se utilizaron paneles policristalinos, estos paneles se caracterizan por tener diferentes tonalidades de azul oscuro y por tener las puntas de los bordes en ángulo recto. Además de tolerar el calor con mayor facilidad, tienen una gran capacidad de absorción y una eficiencia estimada entre el 11 y 17 % dependiendo del fabricante (Idrobo Pacheco, Murillo Arango, Lara Galvis, & Chávez Ruiz, 2021) (Torrea Pacheco, Jurado Pérez, Granados Lieberman, & Lozano Luna, 2018).

En la Tabla 1, se describen los datos técnicos del panel solar que se empleó para el dimensionamiento. Esto involucra la generación de energía total necesaria de los paneles y con base en las condiciones climáticas de la zona, se estimó la cantidad de paneles y la forma de conexión (serie y/o paralelo).

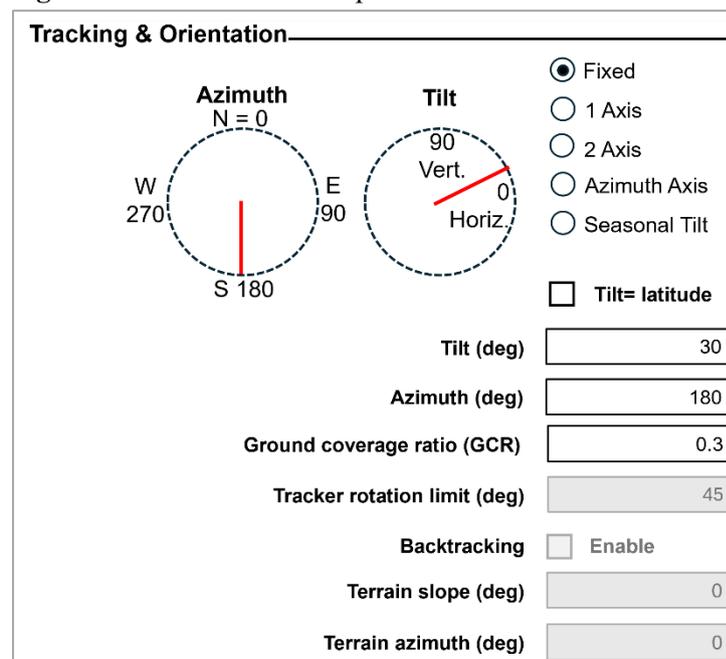
**Tabla 1.** Especificaciones técnicas del panel solar

Características	Datos del Panel solar
Potencia nominal	240 W
Tensión	30.89 V
Corriente	7.77 A
Tensión circuito abierto	37.35 V
Corriente de corto circuito	8.38 A

Fuente: Elaboración propia

Mediante las coordenadas geográficas del municipio de Jocotitlán se obtuvieron los datos de la insolación promedio mínima por cada mes del año. Usando el software System Advisor Model (SAM) y los datos climatológicos obtenidos en la plataforma en línea de POWER Data Access Viewer en la página de la (NASA, n.d.), se puede hacer una simulación para obtener datos como la inclinación más adecuada para los paneles solares, las horas solares pico promedio en un año, etc. Con los datos obtenidos de la simulación se puede corroborar que las recomendaciones de la Secretaria de Energía (Secretaria de Energía , 2023) son correctas, sugiriendo una orientación de los paneles hacia el sur geográfico con una inclinación entre 30° y 40° (fig. 1).

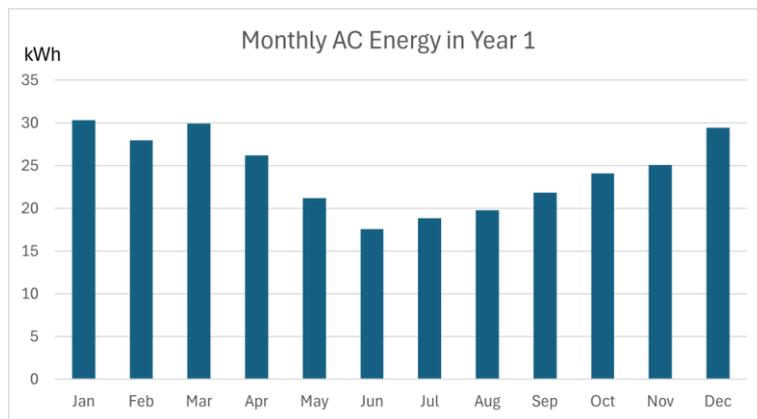
**Figura 1.** Orientación de los paneles solares.



Fuente: Software SAM.

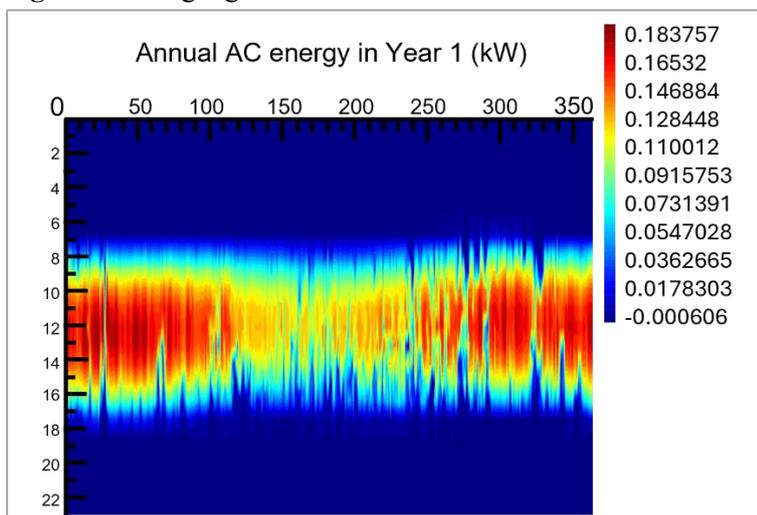
En la fig. 2, se muestra una gráfica de los kilowatts-hora (kWh) que el sistema SOFF puede generar por cada mes durante un año, se observa que los meses que menos energía se producen son los meses de junio, julio y agosto, la fig. 3 muestra la cantidad de Kilowatts (kW) AC que el sistema SOFF produce durante las 24 horas del día durante un año, se observa que las horas en las que más energía se produce son de las 10 a las 14 horas. Esta información es de gran importancia ya que permite una mayor precisión para dimensionamiento del sistema SOFF.

**Figura 2.** Energía mensual generada en un año.



Fuente: Software SAM.

**Figura 3.** Energía generada durante el día en un año.



Fuente: Software SAM.

El coeficiente  $\gamma$  es un factor de seguridad que sirve para afrontar las pérdidas del sistema y la degradación de potencia en días con poca radiación solar. La energía total se determina con la ecuación

5.

$$E_{gen} = \gamma \left( \frac{E_{AC}}{\eta_{TAC}} + \frac{E_{CC}}{\eta_{TCC}} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde  $E_{gen}$  es la energía total que consume la EMTESJO, al factor de seguridad  $\gamma$  se le suele asignar un valor de 1.1 (teniendo en cuenta los datos de la simulación),  $\eta_{TAC}$  y  $\eta_{TCC}$  son las eficiencias y finalmente  $E_{AC}$  y  $E_{CC}$  es el consumo de energía diario de los sistemas CC y AC respectivamente, en este caso solo se aplica para un sistema de CC, de acuerdo a la ecu 5.

$$E_{gen} = 1.1 \left( \frac{475 \text{ Wh/día}}{0.614} \right) = 850.977 \text{ Wh/día}$$

Para el dimensionamiento de los paneles solares, se consideró el tipo de regulador de carga que empleara, en este caso se utilizó un regulador de tipo PWM.

Para los cálculos del panel solar se necesitan conocer algunos parámetros climáticos del lugar como las Horas Solar Pico (HPS), este parámetro se puede definir como el número de horas que disponemos de una irradiación solar constante (el programa SAM recomienda un valor de 5.0 pero para este caso se usó un valor de 4.74).

Para este cálculo se divide el valor más bajo de la radiación solar sobre  $1 \text{ kW/m}^2$ , de este modo se obtienen las horas solares pico, usando la potencia pico del panel solar ( $W_p$ ) y la tensión pico ( $V_p$ ).

$$\text{Hora solar pico} = \text{HSP} = \left( 4.74 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2} / \text{día} \right) / \left( 1 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \right) = 4.74 \text{ h/día}$$

$$W_p = 240 \text{ W}$$

$$V_p = 30.89 \text{ V}$$

Con la ecuación 6 se calcula el dimensionamiento de los paneles solares.

$$E_{panel} = W_{p(T)} * \text{HSP} * \frac{V_{np}}{V_p} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde  $E_{panel}$  es la energía diaria que genera el panel solar,  $W_{p(T)}$  se refiere a la potencia pico o nominal corregida por temperatura, HSP es la hora solar pico,  $V_{np}$  es la tensión nominal del panel solar y, por último,  $V_p$  es la tensión nominal del panel, por lo tanto se obtuvo.

$$E_{panel} = 240 * 4.74 * 30.89 \text{ V} / 37.35 \text{ V}$$

$$E_{panel} = 941 \text{ Wh/día}$$

Energía extra de recuperación (se considera un 20%), esto es para compensar la falta de potencia en días nublados



$$E_{Extra} = \gamma_{Extra} * E_{gen} = 0.2 * 850.977 \text{ Wh/día} = 170.195 \text{ Wh/día}$$

Para determinar la cantidad total de los paneles, se emplea la ecuación 7.

$$N_{TP} = \frac{E_{gen} + E_{Extra}}{E_{panel}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde  $N_{TP}$  se refiere al número total de paneles que se emplearan,  $E_{gen}$  es la energía diaria que se generara y  $E_{panel}$  es la energía diaria que produce el panel.

$$N_{TP} = \frac{850.977 \text{ Wh/día} + 170.195 \text{ Wh/día}}{941 \text{ Wh/día}} = 1.085 \approx 1 \text{ panel}$$

$$E_{panel} = N_{TP} * W_{p(T)} * HSP = 1 * 240 * \frac{4.74 \text{ h}}{\text{día}} = 1137.6 \text{ Wh/día}$$

El arreglo de paneles en serie se hace con la finalidad de aumentar la tensión del sistema FV, para ello se emplea la ecuación 8.

$$N_{PS} = \frac{V_{nom}}{V_{np}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde  $V_{nom}$  se refiere a la tensión nominal del sistema y  $V_{np}$  es la tensión nominal del panel solar.

$$N_{PS} = \frac{V_{nom}}{V_{np}} = \frac{12 \text{ V}}{30.89 \text{ V}} = 0.388 \approx 1 \text{ panel en serie}$$

La conexión de paneles en paralelo tiene como fin el incremento de la corriente una vez que la tensión nominal del sistema se alcanza mediante el arreglo de paneles en serie (solo si es necesario), para este fin, se emplea la ecuación 9.

$$N_{PP} = \frac{N_{TP}}{N_{PS}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde  $N_{TP}$  es el total de paneles solares y  $N_{PS}$  se refiere a la cantidad de paneles en serie.

$$N_{PP} = \frac{N_{TP}}{N_{PS}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ paneles en paralelo}$$

### Dimensionamiento del regulador de carga

Para dimensionar el regulador de carga se emplea la ecuación 10, la cual ha sido modificada para ajustarla al modelo del regulador de carga PWM.

$$I_{reg} = FS(N_{PP} * I_{CC}) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde  $I_{reg}$  se refiere a la corriente nominal del regulador,  $N_{PP}$  es el número de paneles en paralelo,  $I_{CC}$  se refiere a la corriente de corto circuito del panel solar y por último FS es el factor de seguridad el cual suele tener un valor de 1.2. por consiguiente, la corriente nominal del regulador es.



$$I_{reg} = 1.2(1 * 8.38 \text{ Ah}) = 10.89 \text{ Ah}$$

El controlador de carga debe soportar una corriente aproximada de 11 A, los controladores existentes en el mercado soportan corrientes en el rango de los 30 a 60 A, por lo tanto, se optó por el uso de un controlador de 30 A.

### Dimensionamiento del inversor

Para determinar que inversor es el más adecuado se utilizarán las siguientes ecuaciones.

$$S_{inv\_out} = 1.25 * S_{carga_{CA}} * FS \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$S_{inv\_out} = 1.25 * \frac{P_{carga_{CA}}}{FP} * FS \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde  $S_{inv\_out}$  representa la potencia nominal del inversor,  $P_{carga_{CA}}$  la potencia de las cargas en CA, FP es un factor de potencia de las cargas en CA y el FS es un factor de simultaneidad del consumo en CA (Salamanca, 2017).

$$S_{inv\_out} = 1.25 * S_{carga_{CA}} * FS = S_{inv\_out} = 1.25 * \frac{P_{carga_{CA}}}{FP} * FS$$

Por lo tanto, la potencia nominal del inverso es.

$$S_{inv\_out} = 1.25 * \frac{32}{0.8} * 1 = 50 \text{ W}$$

El inversor debe suministrar una potencia de 50W, sin embargo, los modelos de inversores (más adecuados para este caso en particular) en el mercado suele tener una potencia de salida que va de 110 a 300W, por tal motivo se decidió usar un inversor de 120W de onda modificada con una eficiencia del 90% y un voltaje de entrada de 12V.

### Dimensionamiento del banco de baterías

Para hacer una selección adecuada de las baterías que se usaran es necesario emplear la ecuación 13.

$$C_{nb} = \frac{E_{CT} * (D_{out} + 1)}{V_{nom} * P_{Dmax} * \eta_D} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde  $C_{nb}$  es la capacidad nominal del banco de baterías medido en Ah/día,  $E_{CT}$  es el consumo de energía total al día de la carga,  $D_{out}$  = días de autonomía con baja o nula insolación,  $V_{nom}$  es la tensión nominal del sistema,  $P_{Dmax}$  es la profundidad máxima de descarga de la batería (por defecto se escogen valores entre el 50% y el 80%) y  $\eta_D$  es la eficiencia de la descarga (teniendo en cuenta la eficiencia de descarga de la batería, del regulador, del inversor, cables, etc.) por defecto se usa un valor del 75%, y se obtuvo que la capacidad nominal del banco de baterías es.



$$C_{nb} = \frac{475 \text{ Wh/dia} * (1+1)}{12 \text{ V} * 0.8 * 0.85 * 0.9} = 130 \text{ Ah}$$

Para este caso se optó por usar 2 baterías de 12 volts y 62 Ah nominal libres de mantenimiento por su relación de costos-beneficios.

### Cantidad de baterías

La ecuación 14 se utiliza para determinar el total de baterías que se usaran.

$$N_{BT} = \frac{V_{nom} * C_{nom\_banco}}{V_{nom\_bat} * C_{nom\_bat}} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde  $N_{BT}$  es la cantidad total de baterías,  $C_{nom\_banco}$ , es la capacidad nominal de las baterías,  $C_{nom\_bat}$  es la capacidad nominal de una sola batería,  $V_{nom}$  es la tensión nominal del sistema y, por último,  $V_{nom\_bat}$  es la tensión nominal de una sola batería (Salamanca Ávila, 2017).

$$N_{BT} = \frac{12 \text{ V} * 130 \text{ Ah}}{12 \text{ V} * 62 \text{ Ah}} = 2.09 \approx 2 \text{ baterías}$$

### Baterías en serie y paralelo

Finalmente, para determinar la cantidad de baterías conectadas ya sea en serio o paralelo se emplean las ecuaciones 15 y 16. En base a los cálculos se determinó se requiere de 2 baterías en paralelo.

$$N_{BS} = \frac{v_{nom}}{V_{nom\_bat}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$N_{BS} = \frac{12}{12} = 1 \text{ batería en serie}$$

$$N_{BP} = \frac{N_{BT}}{N_{BS}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$N_{BP} = \frac{2}{1} = 2 \text{ baterías en paralelo}$$

En la tabla 2, se muestran las características de las 3 baterías que se consideraron para este caso

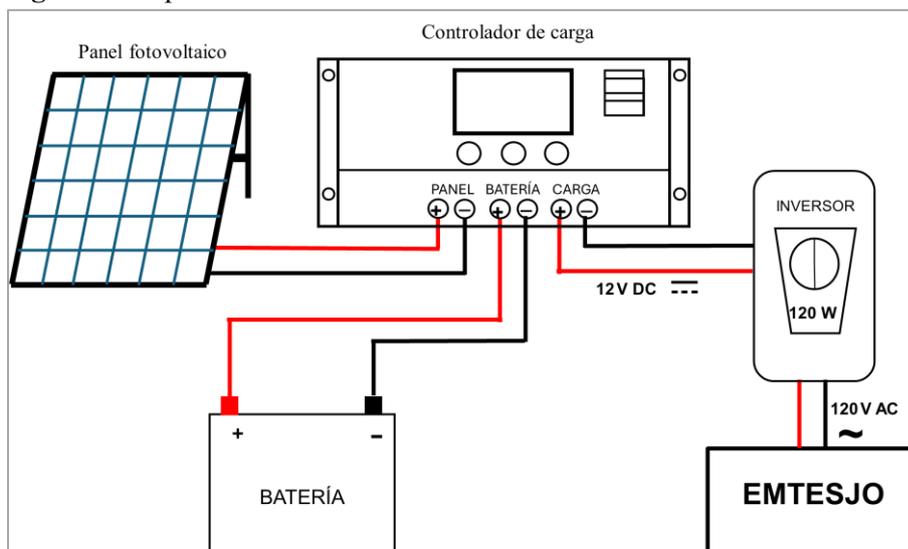
**Tabla 2.** Descripción de las baterías

Batería	Capacidad de almacenamiento	Profundidad de descarga recomendado	Mantenimiento	Eficiencia	Costo
Plomo-acido	30-100 A	50-80%	Requiere mantenimiento	Media-baja	Medio
AGM	30-120A	50-80%	Requiere bajo mantenimiento	Media	Medio
Gel	50-150A	25-50%	Requiere poco mantenimiento	Alta	Alto

Fuente: Elaboración propia

En la fig.4, se muestra la conexión eléctrica del sistema, la energía producida por los paneles fotovoltaicos es enviada al controlador de carga, el cual gestiona la tensión que recibe la batería por medio PWM, manteniendo un voltaje de carga de 15 volts y el inversor se conecta a los bornes designados la carga, el voltaje en estos bornes es de 12 a 15 volts, cuando el voltaje es de 12V o menos el controlador de carga corta el suministro de energía para proteger la batería de una sobre descarga y extender su vida útil.

**Figura 4.** Esquema de conexión.



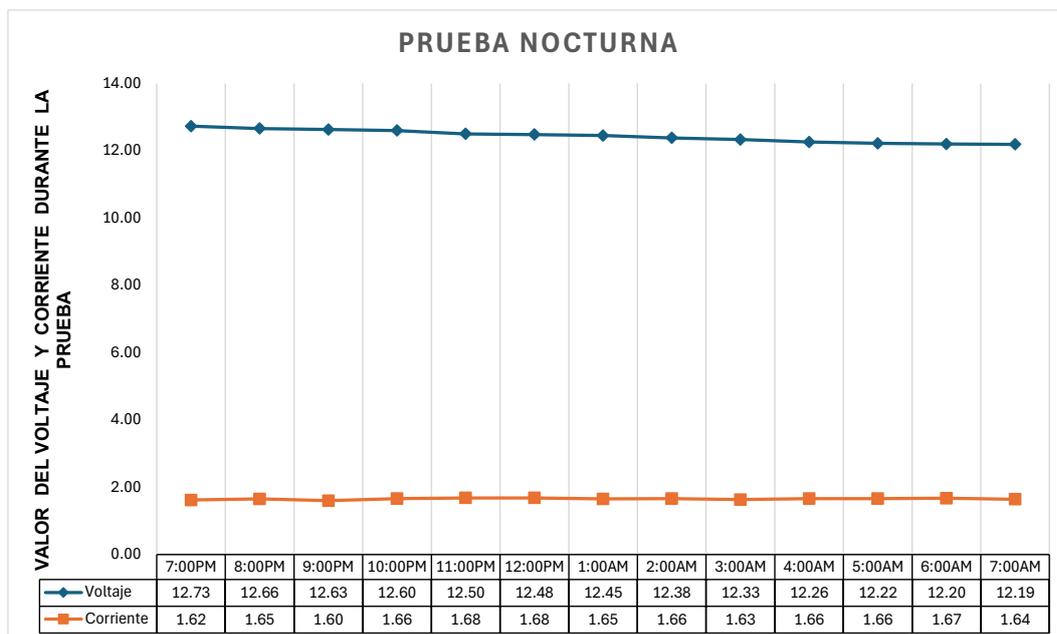
Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del sistema SOFF en la EMTESJO permitió observar que es posible la realización de un sistema FV con la capacidad de abastecer la demanda eléctrica en proyectos que buscan tener un funcionamiento autónomo con un consumo de potencia media-baja. Durante el proceso de dimensionamiento e implantación del sistema SOFF se observaron ciertas limitaciones empezando por la parte económica y el almacenamiento de la energía; las baterías al ser el elemento más costoso que integra el sistema SOFF, representa un desafío tanto en términos de presupuesto como de eficiencia operativa. Actualmente las baterías de litio son las que tienen la mejor relación de costos-beneficios dentro de las opciones disponibles para el almacenamiento de energía en sistemas FV, por lo cual, es una posible mejora que se buscara implementar en un futuro.

Por otra parte, la EMTESJO se puede ubicar en zonas de cultivo dónde se requiere el análisis de las variables físicas climatológicas, por esta razón se presenta la necesidad de saber la tensión del sistema en todo momento; principalmente en las horas nocturnas que es el momento en que las baterías estarán suministrando energía al sistema FV, esta cuestión se resolvió implementando un sistema de monitoreo de la tensión de las baterías por medio de sensores de voltaje y corriente. Durante la noche se llevó a cabo las pruebas con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema SOFF y la aplicación de monitoreo durante las horas nocturnas sin ningún tipo de intervención, una de las pruebas tuvo una duración total de 12 horas, comenzando a las 7:00 p.m. y finalizando a las 7:00 a.m. del siguiente día, la fig.5 muestra los valores del voltaje de la batería y la corriente consumida por la carga, se puede observar que el sistema SOFF es capaz de suministrar la potencia necesaria durante las hora nocturnas. El sistema SOFF funciona sin interrupciones, se optó por usar la plataforma de Thinger.io para almacenar los datos por periodos de tiempo indefinido y es compatible con el microcontrolador ESP32.

**Figura 5.** Resultados de la prueba nocturna.



Fuente: Elaboración propia.

El microcontrolador ESP32 interpreta los datos obtenidos de los sensores de voltaje y corriente conectados al sistema SOFF y los transmite de forma inalámbrica mediante conexión WI-FI hacia la plataforma Thinger.io, esta plataforma permite almacenar datos en la nube y visualizar la información en tiempo real desde cualquier dispositivo final, (fig. 6).



**Figura 6.** Interfaz de la plataforma Thinger.io.

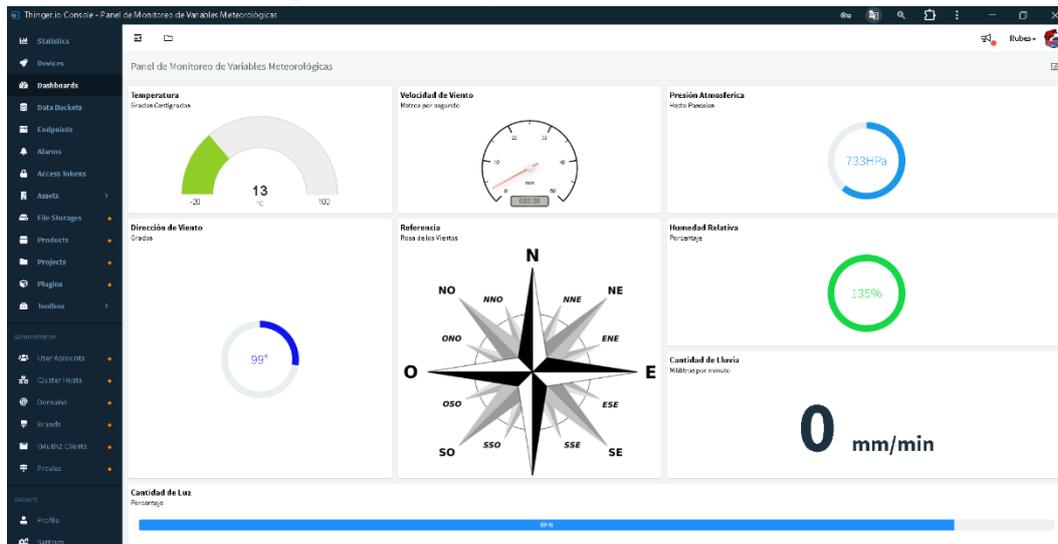


Fuente: Plataforma Thinger.io.

Finalmente, para tener un mayor rango de cobertura de internet en la EMTESJO se implementó una antena Ubiquiti modelo LBE-M5-23, se configuro en modo estación. Esta configuración permite que la antena actúe como un cliente inalámbrico, es decir, que se conecta a otra antena que se configuro como emisor (modo punto de acceso). Esta configuración de antenas permite que la EMTESJO tenga acceso a internet en áreas rurales o de difícil acceso y en conjunto con el sistema SOFF se mejora captación, monitoreo y almacenamiento de datos, de esta manera la información se transmite en tiempo real de forma estable y continúa facilitando la supervisión desde cualquier ubicación, minimizando la necesidad de desplazarse físicamente al sitio. Es importante tener en cuenta la orientación precisa de las antenas, ya que estas deben estar alineadas y apuntando directamente una hacia la otra para asegurar la transmisión datos. Además, debe considerarse que no debe haber obstáculos físicos como árboles o edificios en el trayecto, ya que estos pueden causar atenuación de señal, reflexión o pérdida total del enlace.

E la figura 7, se muestra las magnitudes de las variables físicas un punto del área de cultivo.

**Figura 7.** Interfaz de la plataforma Thinger.io.



Fuente: Plataforma Thinger.io.

## CONCLUSIONES

El análisis de los resultados del presente trabajo fue el dimensionamiento de un sistema SOFF y su implementación; por lo tanto, se concluye que la energía solar es viable para abastecer la demanda energética de este proyecto. La energía solar al ser accesible en cualquier punto de la superficie terrestre y no contaminar es la opción más adecuada para este tipo de proyectos; además tiene una gran variedad de aplicaciones (sistemas fotovoltaicos, alumbrado público, sistemas de alarmas, etc.) y, por lo tanto, la EMTESJO se puede colocar en zonas agrícolas donde no se dispone de infraestructura eléctrica, otorgando una gran flexibilidad para el funcionamiento de esta en cualquier zona de captación de las variables físicas. Las nuevas tecnologías permiten que los sistemas fotovoltaicos sean más eficientes y se puede ajustarse dependiendo de la cantidad de radiación solar de la zona para obtener una mayor eficiencia.

Para el dimensionamiento e implementación un sistema SOFF para la EMTESJO se consideraron las siguientes variables: aspecto económico del proyecto, debido a la diversidad de configuraciones para el sistema es importante considerar que la inversión inicial para la adquisición de los componentes del sistema SOFF será elevada, principalmente por los paneles solares y las baterías. Por otra parte, la vida útil de los componentes que integran el sistema SOFF es algo que se debe tener en cuenta ya que los

paneles solares tienen una vida útil aproximada de 25 años y las baterías tiene una vida útil de 6 a 8 años por lo que estos tendrán que ser reemplazados una vez que su vida útil termine, además de esto, se debe considerar el mantenimiento continuo al sistema para obtener la eficiencia máxima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. A. (2016). Sistemas Fotovoltaicos [Tesis de maestría]. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
- Alvarado Ladrón de Guevara, J. (2018). Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada [Tesis de pregrado]. Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Repositorio institucional (UPM): <https://oa.upm.es/52204/>
- Andueza San Martín, A., & Senosiáin Miquélez, V. (2012). Inversor monofásico [Tesis de pregrado]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación.
- Arsad, A., Mahmood Zuhdi, A., Azhar, A., Chau, C., & Ghazali, A. (2025). Advancements in maximum power point tracking for solar charge controllers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115208> .
- Blas Martínez, D. (2011). Energía solar fotovoltaica: Instalación de paneles fotovoltaicos en Bosal S.A. Obtenido de ZAGUAN: Repositorio Institucional de Documentos: <https://zaguan.unizar.es/record/6217>
- Bustos-Márquez, L. F., Sepúlveda-Mora, S. B., Guevara-Ibarra, D., & Medina-Delgado, B. (2023). Controlador de carga MPPT con método de estimación del estado de carga basado en conteo de amperios hora y voltaje a circuito abierto. *Ingeniería*, 28 (2). doi: <https://doi.org/10.14483/23448393.18722>
- Centeno Alcivar, J. R. (2024). Methodology for the calculation of an off-grid photovoltaic system. *Reincisol*, 3, págs. 192-209. doi: [https://doi.org/10.59282/reincisol.v3\(5\)192-209](https://doi.org/10.59282/reincisol.v3(5)192-209)
- Cosenza, B., Miccio, M., & Greco, C. (2023). Implementation and experimentation of a low-cost DIY photovoltaic system. *Chemical Engineering Transactions*, 100, págs. 601-606. doi: <https://doi.org/10.3303/CET23100101>
- Edoo, N., & Ah King, R. T. (2021). Techno-Economic Analysis of Utility-Scale Solar Photovoltaic Plus Battery Power Plant. *Energies*, 14(23). doi: <https://doi.org/10.3390/en14238145>



- Florentino León, J. (2023). Diseño e implementación de un convertidor de corriente directa a corriente directa (CD-CD) para el suministro de energía a la estación meteorológica [Tesis de pregrado]. Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, Estado de México.
- Gutiérrez, J., Flórez, L., & Serrano, D. (2019). Convertidor DC-AC de alta eficiencia basado en el modulador eg8010 para implementar en sistemas energéticos alternativos. *Publicaciones e Investigación*, 12 (2). Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/129/1292407008/index.html>
- Idrobo Pacheco, H. L., Murillo Arango, W., Lara Galvis, J. D., & Chávez Ruiz, D. F. (2021). Rendimiento de un Sistema Solar Fotovoltaico Mixto (Policristalinos y Amorfo) Usado como Suministro Energético en un Contexto de Tecnificación Cafetera. *Producción + Limpia*, 16. doi:10.22507/pml.v16n2a2
- Martínez Cerro, B. (2011). Instalación solar fotovoltaica aislada [Tesis de pregrado]. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña · Barcelona Tech, Repositorio institucional UPC: <http://hdl.handle.net/2099.1/11864>
- Mdallal, A., Yasin, A., Mahmoud, M., Ali Abdelkareem, M., Hai Alami, A., & Ghani Olabi, A. (March de 2025). A comprehensive review on solar photovoltaics: Navigating generational shifts, innovations, and sustainability. (Elsevier, Ed.) *Sustainable Horizons*, 13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2025.100137>
- Mestre Maestre, Y. A. (2021). Sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a una vivienda rural. Mestre Maestre, Y. (2021). Sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía Universidad Antonio Nariño. Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/6602>.
- NASA. (n.d.). POWER Data Access Viewer. Retrieved from NASA: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Salamanca Ávila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 30 (3), págs. 263-277. doi: <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>

- Sanchez Castillo, L. A. (2023). Análisis y propuesta de solución de fallas de comunicación en un sistema de monitoreo de microinversores [Tesis de pregrado]. Tecnológico de Estudios Superiores de Chicoloapan, Estado de México.
- Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., . . . Subiela Ortin, V. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Secretaría de Energía . (2023). Fichas Técnicas de Ecotecnologías: Sistema fotovoltaico. SENER. Obtenido de <https://siesco.conavi.gob.mx/doc/tecnicos/ecotecnologias/energia.pdf>
- Secretaría de Energía. (2017). La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México. págs. 28-33. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La\\_industria\\_solar\\_fv\\_y\\_ft\\_en\\_Mexico-compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428621/La_industria_solar_fv_y_ft_en_Mexico-compressed.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2021). Guía para el fomento de las energías limpias. 60-65. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/guia-para-el-fomento-de-las-energias-limpias>
- Stanojevic, A. (2021). Application of photovoltaic technology in the use of solar energy. *Annals of Environmental Science and Toxicology*, 5(1), 94-98, págs. 94-98. doi: <https://dx.doi.org/10.17352/aest.000044>
- Thombare, V. K., Khan., V. I., Kapale, G. R., Patil, S. D., Koli, P. S., & Jadhav, S. R. (2021). Solar operated weather forecasting station. *Asian Journal of Convergence in Technology*, 7. doi: <https://doi.org/10.33130/AJCT.2021v07i01.039>
- Torrea Pacheco, S., Jurado Pérez, F., Granados Lieberman, D., & Lozano Luna, A. (2018). Eficiencia en paneles solares. *Revista del Diseño Innovativo*, 2 (2).

