

# Optimización de la Captación de Energía Solar mediante un Sistema de Seguimiento Solar

Carlos Diosnel Larreana  
Universidad Internacional Tres Fronteras  
Ciudad del Este, Alto Paraná - Paraguay  
nanilarrea@gmail.com

Claudia Ibarrola  
Universidad Internacional Tres Fronteras  
Ciudad del Este, Alto Paraná - Paraguay  
clauibarrola87@gmail.com

**Abstract**— Solar tracking systems have the capability to align a solar panel perpendicular to the sun's position throughout the day, aiming to maximize the solar radiation incident on the panel. This project centers on the design of a control system for a photovoltaic solar tracker prototype situated at the Intercontinental Tres Frontera Faculty in Ciudad del Este. This system successfully captures solar energy for electrical consumption or storage, compared to fixed solar installations, due to its efficient use of solar radiation. Additionally, it incorporates a monitoring system overseeing crucial parameters of the solar tracking installation, such as voltage, power, and tilt angle. These data points are accessible to the administrator, enabling the verification of the system's proper functionality. Lastly, a comparison is planned between the results obtained from a static photovoltaic system in terms of voltage and power, validating the benefits of the dynamic solar tracking approach. **Keywords**—Tracker; Energy; Solar; Radiation.

**Resumen**— Los sistemas de seguimiento solar tienen la capacidad de orientar un panel solar de manera perpendicular a la posición del sol durante el día, con el propósito de maximizar la radiación solar que incide en el panel. Este proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de control para un prototipo de seguidor solar fotovoltaico ubicado en la Facultad Intercontinental Tres Fronteras de Ciudad del Este. Este sistema logra captar la energía solar destinada al consumo eléctrico o su almacenamiento, en comparación con las instalaciones solares fijas, gracias al aprovechamiento de la radiación solar. Adicionalmente, incorpora un sistema de monitoreo que supervisa los parámetros cruciales de la instalación de seguimiento solar, como el voltaje, la potencia y el ángulo de inclinación. Estos datos son accesibles para el administrador, permitiendo verificar el funcionamiento correcto del sistema. Finalmente, se tiene previsto comparar los resultados obtenidos con un sistema fotovoltaico estático en términos de voltaje y potencia para validar los beneficios del enfoque dinámico de seguimiento solar.

**Palabras-Claves**—Seguidor; Energía; Solar, Radiation.

## I. INTRODUCCIÓN

En la continua búsqueda de fuentes de energía más sostenibles y eficientes, la tecnología solar fotovoltaica ha emergido como una solución altamente prometedora [1]. Uno de los principales desafíos en este campo radica en garantizar que los paneles solares capturen la máxima radiación solar a lo largo del día. Es en este punto donde entra en juego la innovación y desarrollo de sistemas de seguimiento solar. Este proyecto se concentra en el diseño y desarrollo de un

sistema de control para un prototipo de seguidor solar fotovoltaico ubicado en la Facultad de Ingeniería en Informática de la Universidad Tres Fronteras en Ciudad del Este [2]. El objetivo principal de este sistema es optimizar la captación de energía solar al posicionar los paneles solares de manera perpendicular al sol en todo momento, maximizando así la eficiencia energética en comparación con las instalaciones solares estáticas convencionales [3]. Este trabajo se apoya en un algoritmo de control de bucle híbrido que emplea sensores de luz o fotosensores para proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre la intensidad lumínica. Además, se utiliza la información de la posición geográfica [4], fecha y hora para asegurar un seguimiento preciso del sol. La comunicación y el monitoreo de datos se logran a través de tecnología WI-FI y protocolos de comunicación como HTTP [6], los cuales ofrecen una interfaz web para la supervisión de parámetros críticos, tales como voltaje, potencia y ángulo de inclinación. En última instancia, este proyecto tiene como propósito comparar los resultados técnicos obtenidos por los sensores en el sistema de seguimiento solar con los de un sistema fotovoltaico estático [5].

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el inicio del proyecto se tuvo una investigación minuciosa de diferentes referencias bibliográficas similares al proyecto como así también apoyándose a profesionales con experiencia en los trabajos similares. Se definirán las herramientas y software utilizados para la investigación y ejecución de cada fase del proyecto y diseño tecnológico.

### Fase 1

En esta primera fase se definen los materiales y herramientas a ser utilizados para la ejecución del sistema y prototipo y así poder obtener resultados en el menor tiempo posible.

#### 1) **Hardware:**

- Un panel solar Policristalino de 80W 69x60 es el panel utilizado para la captación de la radiación solar.
- Soporte del Panel 89x90 soporte donde iría ubicada el panel solar.
- Solar Batería 150ª para el almacenamiento de las cargas.

- Inversor 300W 12V/220V para convertir la corriente de continua a alterna.
- Controlador de Carga PWM 30ª 12/2 Para controlar el voltaje de carga
- Solar Cable OTAXIL 1.8KV Cable positivo y negativo del panel.
- Solar Conector MC4 para conectar los dispositivos al panel.
- Terminal Ojal Amarillo 4-6MM2 conectar los motores al panel y el eje.
- Terminal Tubular, utilizado para fijar el panel al soporte.
- Sensores LED para direccionar el panel sobre la ubicación de la luz solar [6].

#### 1.1) Hardware Seguidor Solar:

- Un motor a pasos.
- Un motor DC.
- Driver Conector de la placa y los motores.
- Conector Puente H, Sirve para conectar los motores entre sí.
- Placa Arduino, Interfaz de conexión de motores con el panel.
- Cables Conectores.
- Una laptop para la programación del lenguaje IDE.
- Potenciómetro, para la lectura entre ejes [7].

En la Figura 1 se detallan los motores utilizados.

	Motor DC	Servomotor	Motor a pasos
Característica			
Modelo	60ZY105	SUPER500	57HD6013-03
Torque	4,7Nm	49Nm	1,8Nm
Velocidad	26,80 RPM	60° cada 5 s	1,8° cada 10ms
Voltaje de entrada	12V-24V	12V-24V	12V-24V
Corriente	1,8 A	2ª	3A

Figura 1. Detalles de los Motores

#### 2) Software:

- Acceso a Internet
- Páginas virtuales de lecturas y medidas de Potencias y voltajes obtenidos
- Lenguaje Python es editor y ejecutor de códigos para las plataformas Windows, Linux, macOS [8].

#### B. Fase 2

En esta segunda fase se analizó el diseño y funcionalidad del sistema del seguidor solar, considerando la efectividad a demostrar de un panel solar fotovoltaico con un sistema de seguimiento solar con un panel fotovoltaico fijo. Para esto fue necesario analizar cómo funciona un panel solar fijo y un panel solar con sistema de seguidor solar, como por ejemplo el ángulo de inclinación, voltaje obtenido y potencia de estas. A seguir se muestra en la Figura 2 se muestra el control del sistema de seguidor solar.

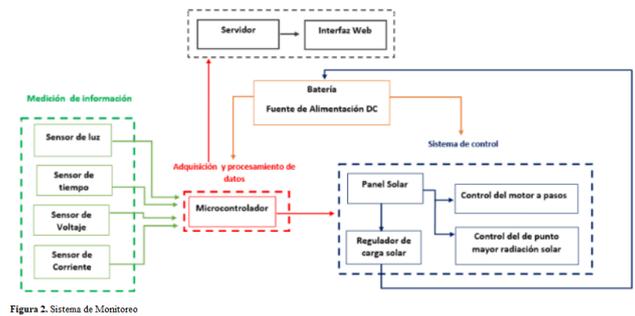


Figura 2. Sistema de Monitoreo

#### C. Fase 3

Durante esta etapa, se llevó a cabo el diseño del soporte del panel y se abordó el funcionamiento con los motores. Se realizó un análisis detallado para determinar la ubicación más apropiada tanto para el panel como para el soporte, considerando aspectos como la orientación geográfica y la inclinación óptima. Asimismo, se planificó la disposición de los motores en relación al soporte y al panel solar, integrando de manera efectiva estos componentes. La Figura 3 ilustra la instalación del panel a través del soporte.



Figura 3. Instalación del Panel

#### D. Fase 4

En la cuarta fase se realizó el análisis y posteriores conexiones de los componentes donde se siguió un plano de conexión del panel al Controlador Solar, así haciendo la distribución a la batería, al inversor y hasta llegar al interruptor de la energía a alimentar. Entre el panel y el controlador se optó por instalar un interruptor MCB por la prevención de cualquier tipo de descargas que podrían afectar a los componentes o corto circuito.

Una vez finalizadas las conexiones se realizaron las pruebas de funcionamiento y ya recopilando datos del panel fijo y dinámico. En la Figura 4 se muestra el plano utilizado.

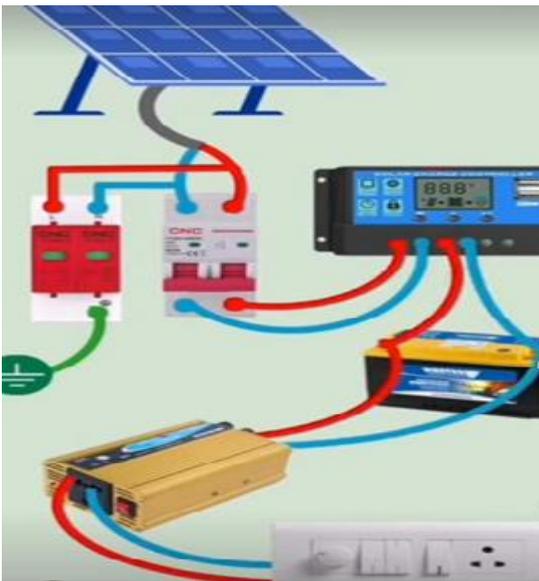


Figura 4. Plano de Conexión

### E. Fase 5

En esta quinta fase, se continuó la recopilación de datos de funcionamiento del sistema de seguimiento solar, que son almacenados en una base de datos virtual para el registro de la energía de entrada, consumo de carga, carga y descarga de batería. Incluyendo la posición del panel solar, la radiación solar incidente la potencia generada. Los datos se registraron a intervalos regulares durante un periodo significativo, lo que permitió obtener una cantidad sustancial de información para el análisis. A continuación se muestran los resultados preliminares obtenidos.

En la Figura 5 se muestra la energía de entrada en donde se analizó mediante un gráfico de dos ejes (x,y) de tipo spline o curva. Específicamente en el eje x se muestra el tiempo en que se obtuvo dicha energía, y en el eje se muestra el valor en Watts recibido en una escala máxima de 50 [9].



Figura 5. Energía de Entrada

En la Figura 6 se muestra el consumo de carga se analizó de igual manera en un gráfico de dos ejes de tipo curva. En este caso, el eje x muestra el tiempo en el que se obtuvo dicho consumo de energía. y se muestra el valor en Watts en una escala máxima de 20.



Figura 6. Consumo de la Carga

En la Figura 7 se muestra la carga y descarga de la batería donde también se visualiza en un gráfico de dos ejes de tipo curva. En el eje x se muestra el tiempo en el que se obtuvo dicho valor de carga o descarga, y en el eje y se muestra en Vatios en una escala máxima de 15.

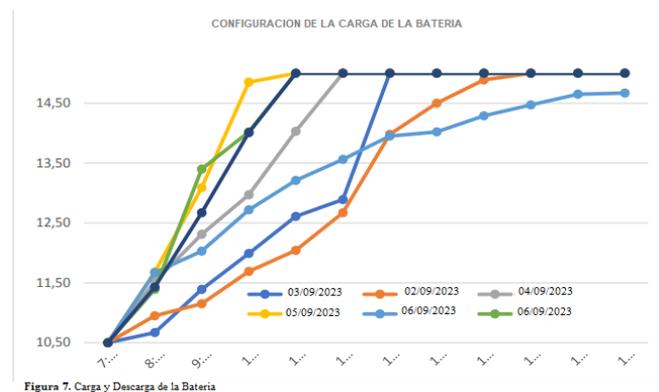


Figura 7. Carga y Descarga de la Batería

TABLA I  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE UN PANEL FIJO  
FIJO

Fecha	Energía Solar esperada (Wh)	Energía Solar obtenida (Wh)
02/08/2023	538,19	78,46
03/08/2023	1356,88	197,46
04/08/2023	1572,5	215,37
05/08/2023	1309,69	192,52
06/08/2023	521,56	69,52
07/08/2023	513,44	70,93
08/08/2023	1215,31	180,91
Total	7026.56	1005.16
(%)	100%	14.31%

TABLA 2  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE UN PANEL MÓVIL

Fecha	Energía Solar esperada (Wh)	Energía Solar obtenida (Wh)
02/09/2023	1232,19	199,07
03/09/2023	593,13	94,98
04/09/2023	1689,06	269,9
05/09/2023	1328,44	211,04
06/09/2023	509,69	80,14
07/09/2023	1715,63	273,43
08/09/2023	1590,94	251,43
Total	8659,06	1380,41
(%)	100%	15.94%

Además, se emplea la información de la posición geográfica, fecha y hora para asegurar un seguimiento preciso del sol. Es un avance significativo hacia la promoción de una energía más limpia y eficiente, contribuyendo al esfuerzo global por reducir nuestra huella ambiental y avanzar hacia un futuro más sostenible [13].

#### AGRADECIMIENTOS

El presente artículo fue desarrollado gracias al apoyo brindado por la Universidad Internacional Tres Fronteras, a los profesionales de Ingeniería Electromecánica de la Facultad de Ciencias y Tecnologías, y la orientación incondicional de la tutora de trabajo final de grado. También a los profesionales de Ingeniería Eléctrica por brindar información importante para el desarrollo del proyecto de las y por último a los amigos que participaron durante todo este proceso de ejecución de dicho proyecto.

#### REFERÊNCIAS

- [1] V, Carlos T. Fabricación de células solares. Energía solar fotovoltaica, 2018
- [2] Sopelia Sollar. Platform. [En Línea], 2020. Energía Solar, <http://www.energiasolar.lat/solar-fotovoltaica-mexico/>.
- [3] Secretariat, REN21. Renewables 2020 Global Status Report, Paris, 2020.
- [4] P, Pelaez. et al. Energía Solar. Energías Renovables. Situación Actual. Tendencias y Perspectivas, 2015
- [5] Solar Plus Energy, <<Solar Plus Energy,>> 2018. [En Línea]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>.
- [6] Enerluz, <<Electronica Py>> 2023. [En Línea]. Available: <https://www.enerluz.com.py>.
- [7] Allegro MicroSystems, Inc, «Allegro MicroSystems,» 2021. [En línea]. Available: [https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A\\_CS712-Datasheet.ashx?la=es&hash=7E468A7EDCE14C33A478352CB7FC2BA90965D6DDhx&usg=AOvVaw2tp3bP7IvTxKFLprjnjRb](https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/A_CS712-Datasheet.ashx?la=es&hash=7E468A7EDCE14C33A478352CB7FC2BA90965D6DDhx&usg=AOvVaw2tp3bP7IvTxKFLprjnjRb).
- [8] AV Electronics, «AV Electronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-de-voltaje-zmpt101b/>.
- [9] Python Software Foundation <<Python Software Foundation,>> 2023 Available : [3.11.5 Documentation \(python.org\)](https://www.python.org)
- [10] The MathWirks, Inc <<THINGSPEAK>>,2023 [IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things](https://thingspeak.com/)
- [11] Raul German Cordero, <<SUNFIELDS EUROPE>>, 2007 [Horas de sol y Sol Pico en España SunFields \(sfe-solar.com\)](https://www.sunfields.com/)
- [12] A, Ríos y S. Manzano, «DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA ELECTROLINERA SOLAR AISLADA EN EL CAMPUS HUACHI DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,» Ambato, 2015.
- [13] European Comission <<PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSEM>>, 2023.

Configuración del Panel	Energía Solar esperada (Wh)	Energía Solar obtenida (Wh)	Rendimiento(%)
Fijo	7026,525	1005,16	14,31%
Móvil	8659,0625	1380,41	15,94%

#### III. DISCUSIONES

Se tiene la intención de dar continuidad al proyecto, introduciendo mejoras que permitan alcanzar los resultados deseados. Para ello, se contempla la incorporación de motores de mayor potencia y la utilización de placas que optimicen la absorción de radiación por parte del panel. Asimismo, se prevé la inclusión de sensores más eficaces, con el objetivo de acercarse aún más a los resultados esperados con el sistema.

#### IV. CONCLUSIÓN

El sistema de control de seguimiento solar permite la combinación de distintos sensores y de algoritmos para que el control del sistema tenga mayor precisión. Los sensores empleados como los sensores de luz y el reloj digital permiten que el control sea más sensible a los cambios que se presenten a lo largo del día y garantiza un tiempo de trabajo en el que se puede aprovechar de mejor manera la captación de energía solar. Asimismo, la adquisición y la transmisión se basa en el uso de tecnologías de comunicación inalámbrica, que utilizan el estándar WIFI, y el protocolo HTTP para almacenar datos en una interfaz web como ThingSpeak [12]. En este proyecto el objetivo primordial es optimizar la captación de energía solar al posicionar los paneles de manera perpendicular al sol en todo momento, lo que resulta en una eficiencia energética notablemente superior en comparación con las instalaciones solares estáticas convencionales.