

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SEGUIMIENTO BASADO EN SERVOMOTORES PARA OPTIMIZAR EL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR

DANIEL ANTONIO BRAVO PACHAS
<https://orcid.org/0000-0002-1612-5559>

ALEXYS PUCH ARANCIBIA
<https://orcid.org/0000-0002-2540-7304>

ARÍSTIDES SOTOMAYOR CABRERA
<https://orcid.org/0000-0001-9488-860X>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima, Perú

Recibido: 2 de junio del 2021 / Aprobado: 29 de junio del 2021

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2022.n.5803>

RESUMEN. El proyecto de investigación consiste en el diseño y construcción de un prototipo de un sistema de seguimiento solar de dos ejes, el cual se basa en la automatización mediante un *software* de programación Arduino IDE con fotorresistores para posicionamiento del módulo fotovoltaico, con el fin de optimizar la captación de radiación solar. El resultado del desarrollo de la prueba experimental ha permitido concluir que la mayor generación de energía se ha logrado usando un sensor ACS712, con el que se obtuvieron mediciones de mayor radiación solar entre las 10:00 a. m. y las 5:00 p. m. Asimismo, entre las 11:45 a. m. y la 1:00 p. m., se produce una corriente que oscila entre 0,60 A y 0,62 A lográndose el rendimiento óptimo. Con el sistema de posición fija se alcanza 0,60 A a las 10:45 a. m. y se mantiene constante entre 0,60 A y 0,62 A hasta la 1:45 p. m. La potencia promedio obtenida para el panel en posición fija es de 5,37 W durante 7 horas, mientras que al aplicar el sistema de seguimiento solar se alcanzó 6,1 W, con lo que se produce un incremento del 13,67 %.

PALABRAS CLAVE: energía solar / conversión de energía / fotorresistores / paneles solares / servomecanismos / sistemas de control

Correos electrónicos en orden de aparición: 20163768@aloe.ulima.edu.pe, 20162414@aloe.ulima.edu.pe
asotoma@ulima.edu.pe

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CONTROL AND TRACKING SYSTEM BASED ON SERVOMOTORS TO OPTIMIZE THE ANGLE OF INCIDENCE OF SOLAR RADIATION

ABSTRACT. The research project consists of the design and construction of a prototype of a two-axis solar tracking system, which is based on automation using Arduino IDE programming software with photoresistors for positioning the photovoltaic module, in order to optimize the capture of solar radiation. The result of the development of the experimental test has allowed concluding that the greatest power generation has been achieved by using an ACS712 sensor, achieving measurements of greater solar radiation between 10:00 a. m. and 5:00 p. m. of the day. Likewise, between 11:45 a. m. and 1:00 p. m. a current is produced that oscillates between 0,60 A and 0,62 A, achieving optimal performance and with the fixed position system 0,60 A is reached at 10:45 a. m. and it remains constant between 0,60 A and 0,62 A until 1:45 p. m. The average power obtained for the panel in a fixed position is 5,37 watts for 7 hours, while when applying the solar tracking system 6,1 watts were reached, producing an increase of 13,67 %.

KEYWORDS: solar energy / energy conversion / photoresistors / solar panels / servomechanisms / control systems

INTRODUCCIÓN

La energía solar es una excelente fuente alternativa comparada con las diferentes energías eléctricas existentes; además, es un recurso que está disponible en abundancia y es considerada como energía verde y gratuita (Chakraborty et al., 2015). El uso de energías, su agotamiento y la contaminación por los combustibles fósiles y termonucleares, así como la demanda creciente de energía durante los últimos años, han incentivado a los investigadores a desarrollar nuevas tecnologías con el fin de producir fuentes limpias y renovables, como la energía solar o eólica, consideradas energías inagotables y accesibles. La energía solar no contamina; su fuente es abundante, gratuita e inagotable; y requiere de un mínimo mantenimiento durante su etapa de funcionamiento. Por ello, la energía solar producida es considerada como la electricidad más limpia comparada con otras energías no renovables (Mansouri et al., 2018). En general, las diversas energías renovables tienen un bajo impacto ambiental, pero cuentan con una gran capacidad para generar trabajo y están distribuidas en diversos ámbitos geográficos para su explotación (Valencia et al., 2015). De acuerdo con Dalmazzo-Bermejo et al. (2017), una de las ventajas y beneficios de las energías renovables, como la energía solar, es que se caracterizan por brindar seguridad energética contribuyendo al crecimiento socioeconómico y al cuidado del medioambiente. Sin embargo, existen diversos obstáculos que dificultan la implementación de la energía solar, como las normas regulatorias y aspectos de índole económica, tecnológica y técnica.

A nivel mundial, se estima que más del 80 % de la demanda de energía proviene del uso de combustibles fósiles, considerados como energías no renovables. En Latinoamérica, incluyendo el Perú, dicha demanda se estima en un 74 % (Barragán et al., 2019). Estos datos reflejan que la gran mayoría de la población está acostumbrada al uso de combustibles fósiles, lo cual podría considerarse como una desventaja para la expansión e implementación de las fuentes de energía renovable. Sin embargo, en la actualidad, es cada vez más creciente el interés por la preservación del medioambiente, lo cual supondría que el 26 % de América Latina podría impulsar el uso de energías renovables.

Un estudio realizado por Qamar (2019) para implementar un proyecto solar en Pakistán indica que existen lugares donde la radiación solar dura entre 8 a 9 horas al día, lo que significa un potencial energético de 2,9 millones de megavatios anuales. Este proyecto consistía en crear un prototipo de seguimiento solar que minimice el ángulo de incidencia y logre la posición del panel para obtener la máxima irradiación, de manera que se produzca un rendimiento óptimo; esto contribuiría enormemente a la falta de energía y escasez en las ciudades de Pakistán; asimismo, implicaría un aumento en un 5 % de la oferta de energía.

El presente estudio de investigación consiste en el diseño y construcción de un sistema de control y seguimiento de servomotores para optimizar el ángulo de incidencia de la radiación solar. Está orientado teniendo en cuenta principalmente dos aspectos: los costos del diseño del prototipo y los aspectos de índole cultural. Para el diseño del prototipo, se utilizan materiales y herramientas de fácil accesibilidad, lo mismo que los programas, con lo cual se trata de mostrar de manera simplificada la funcionalidad del prototipo, al igual que su eficiencia y eficacia. Esta experiencia puede ser útil para los técnicos profesionales con el fin de que puedan diseñar y crear un propio prototipo con el objeto de aprovechar los beneficios de la energía eléctrica para uso doméstico o personal. Igualmente, el diseño a gran escala puede generar un impacto económico positivo por el acceso a una energía inagotable, que reduce los costos de la obtención de fuentes agotables. Sin embargo, una de las desventajas de crear prototipos alternos para la producción de energía con fuentes renovables a gran escala es que implica una alta inversión, pero a largo plazo genera ahorros e incluso mayores niveles de producción y almacenamiento de energía verde.

Como se ha indicado, los mayores costos en este prototipo se realizan durante la etapa de instalación, pero su versatilidad para adaptarse a cualquier lugar con presencia de una radiación prolongada durante el día es una gran ventaja, no solo por la disponibilidad abundante y gratuita del recurso, sino por su menor costo de conectividad. Según Valencia et al. (2015), la estrategia de políticas energéticas respecto al uso de este tipo de energía en América Latina y el Caribe se enfrenta a la alta inversión inicial, lo que en principio la hace menos competitiva; por ello, en muchos países se recurre al apoyo financiero de la entidad gubernamental para fomentar su implementación y participación. Asimismo, la inversión inicial dependerá en gran medida de la tecnología empleada para diseñar el prototipo, de la política regulatoria de mercado con tarifas adecuadas para su uso y de la disponibilidad sostenible de materias y herramientas para la instalación. Por ejemplo, en Brasil, algunos bancos facilitan financiamiento con tasas entre el 5,5 y el 10 % para la compra de materiales y herramientas (Guaita-Pradas & Blasco-Ruiz, 2020). Actualmente, la mayoría de los países mantienen políticas energéticas orientadas a promover el aprovechamiento de las fuentes de energía renovables como la solar, contribuyendo de esta manera a la economía de las personas (Talamon et al., 2019).

Por otra parte, hoy en día, existe una cultura en la que predomina la importancia de la preservación y cuidado del medioambiente, así como del uso de energías renovables en sustitución de las energías tradicionales, sin perder sus ventajas competitivas relacionadas con su eficiencia en el servicio ofrecido. Por lo tanto, se debe impulsar una cultura ecológica entre la población, en especial, en cuanto al uso de este tipo de prototipos con soluciones alternas y con mejores beneficios; de esta manera, se podrían crear prototipos similares y al mismo tiempo enseñar el sistema de funcionamiento completo para que pueda ser replicado en el Perú, en los lugares donde las condiciones técnicas y naturales

sean factibles. La aplicación de este tipo de tecnología sería muy útil en comunidades rurales en donde es difícil el acceso a una red eléctrica nacional (Valencia et al., 2015); por ello, con este proyecto del diseño de un prototipo presentado, se pretende contribuir a cubrir las necesidades de la fuente de energía de las diferentes comunidades del ámbito nacional. Durante las últimas décadas, ha sido notorio el aumento de la electrificación en zonas rurales en el país, que ha pasado de un 8 % en el año 1993 al 29,5 % en el 2007, y alcanzó el 78 % en el 2015 (Feron & Cordero, 2018). Sin embargo, existe un 22 % de la población que no tiene acceso a la energía eléctrica, mientras que el diseño e instalación de este tipo de prototipos es factible y podría ayudar en la generación de electricidad.

Por otra parte, según Rivera et al. (2016), en las ciudades del Perú se encuentran contaminantes debido a los altos niveles de emisión de dióxido de carbono provenientes principalmente del parque automotor y las industrias, entre ellas, las fuentes de energía, que representan más del 60 %. En cambio, la generación de la energía solar, con una mínima participación, supone el 0,04 % del total de las diversas fuentes energéticas; sin embargo, en todo el país se dispone en abundancia de este recurso natural, que muy bien podría ser aprovechado en los diferentes lugares del Perú donde se tienen niveles de radiación solar suficientes para la generación de la energía eléctrica.

Cabe indicar que, en un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a los hogares, la instalación de un sistema con una celda solar supondría por lo menos cuatro veces el tamaño del proyecto desarrollado, lo que representaría aproximadamente el 10 % del consumo de energía de un hogar (Rivera et al., 2016). Desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social, este proyecto traería grandes ventajas para el uso y aprovechamiento de energías renovables en sustitución de las energías no renovables. En el presente estudio de investigación, se describe un diseño de servomotores con el fin de optimizar el ángulo de captación de la energía solar en un prototipo de panel solar; los servomotores constan de dos ejes, vertical y horizontal, que se mueven siguiendo la dirección del sol hasta ubicarse en la posición más efectiva para captar la mayor intensidad de luz que será convertida en energía.

METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROTOTIPO

Teniendo en cuenta las diversas fuentes de energía utilizadas en el Perú y, en particular, con el fin de aprovechar mejor la energía solar, en la presente investigación se formula la siguiente pregunta: ¿es posible mejorar el rendimiento de conversión de energía de un panel solar a través de servomotores, con el fin de sustituir el uso de combustibles fósiles? A partir de esta hipótesis se lleva a cabo esta investigación haciendo uso del método científico. La aplicación de servomotores para ajustar la posición angular de los paneles solares optimizará su eficiencia en la conversión de energía, lo que se validará con el diseño y fabricación de un prototipo de un seguidor solar instalado en un panel

fotovoltaico para la optimización de la conversión de energía a través del uso de servomotores. Para la implementación de un control automático que dirija el panel solar hacia la posición real del sol, se utilizan herramientas como microcontroladores (Arduino), sensores de luz, servomotores y un *software* de programación Arduino IDE, donde se incorpora el algoritmo de programación (El Hammoumi et al., 2018). El funcionamiento del módulo fijo radica en colocar el panel a 0 grados en posición al norte usando una brújula y, con un goniómetro, se ubica el módulo fijo a 12 grados respecto de la horizontal para que quede normal al plano determinado por la trayectoria solar. La corriente de cortocircuito del panel solar es medida mediante el sensor ACS712 y su programación en el *software* Arduino.

Para el diseño y la fabricación del prototipo de un sistema de control y seguimiento basado en servomotores para optimizar el ángulo de incidencia de la radiación solar, se puede apreciar en la tabla 1 los materiales utilizados, así como las funciones de cada componente.

Tabla 1
Materiales utilizados en el diseño del prototipo y sus funciones

Material	Función
Sensor fotorresistor	Es el encargado de modificar su resistencia al poder medir la variación de la intensidad y cantidad de luz.
Sensor ACS712	Es un sensor que mide la corriente de cortocircuito al programarse en Arduino, y permite medir la corriente que fluye del panel al controlador.
Panel solar	Es el componente que usa la energía solar para convertirla en electricidad. Funciona con un voltaje constante de 11,2 V con máxima potencia de 5 W, peso de 750 gramos y medidas de 262 × 191 mm.
Servomotor	Es un motor eléctrico que permite regular y controlar su velocidad y posición mediante programación. Para la experimentación se usan 2 servomotores modelo SG5010 con torque de 6,5 kg-cm.
Microcontrolador Arduino	Controla el funcionamiento de una tarea determinada mediante un circuito integrado.
Resistencias	Es una medida que se opone al flujo de carga eléctrica; se usan resistencias de 10K (0,25 W).
Placa de pruebas	Es un tablero con conexiones eléctricas que permite conectar componentes que ayuden a un microcontrolador.

En el diseño del prototipo experimental se implementa un control automático a base de sensores de luz para mantener la posición ideal del panel solar, con el fin de

maximizar su rendimiento. La energía recolectada es calculada y se comprueba la hipótesis validando si este tipo de sistema es más eficiente que un sistema tradicional de un eje con movimiento basado en la hora del día (Chakraborty et al., 2015).

En primer lugar, para el prototipo experimental se emplea una tabla de madera donde se fija el panel solar, y se colocan los cuatro fotorresistores en cada esquina para determinar la posición del panel. Las cuatro esquinas se etiquetan con las siguientes denominaciones: superior derecha, superior izquierda, inferior derecha e inferior izquierda, respectivamente. Después, se suelda una resistencia de 10K en cada fotorresistor y se conecta cada uno mediante cables; se recomienda el uso de cables de diferentes colores para indicar los polos positivo y negativo. Luego se suelda un cable entre cada resistencia y fotorresistor para conectar este último con el Arduino, de manera que se pueda incluir el código leído por los fotorresistores con el fin de identificar y registrar las diferentes mediciones de cada fotorresistor (véase la figura 1). A continuación, se ensamblan los servomotores de modo que puedan quedar en posición de movimiento vertical y horizontal. De la misma forma, se conectan los servomotores (que funcionarán de forma directa) a la placa Arduino y, para medir la corriente, se incorpora el sensor ACS712 a un polo del cableado del panel solar, ya sea al positivo o negativo. En esta etapa, es necesario incluir un foco o batería externa para comprobar el funcionamiento del panel y lograr el paso regular de la electricidad. Finalmente, el sensor se conecta al Arduino y se digita el código para que pueda leer la intensidad de la corriente.

El funcionamiento del sistema de seguimiento solar consiste en mantener el panel solar en posición perpendicular al sol a través un servomotor vertical y otro horizontal. En este sentido, se utilizan cuatro fotorresistores para determinar en qué dirección debe orientarse el panel; para lograr este objetivo, se debe realizar una programación con los sensores, que consiste en hallar una diferencia entre las medidas de los fotorresistores para determinar el movimiento con el que los servomotores deben orientar el panel. Para el servomotor vertical, se calcula el promedio entre la medida del sensor superior derecho e izquierdo, y se compara con el promedio de los sensores inferior izquierdo y derecho, cuya diferencia es la que determinará en qué dirección se debe orientar el panel. La misma lógica se utiliza para el servomotor horizontal, pero en este caso se comparan las medidas de los sensores laterales, es decir, el promedio de los sensores superior izquierdo e inferior izquierdo con el promedio del superior derecho e inferior derecho; igualmente, la corriente de cortocircuito es medida con el sensor ACS712; de esta manera, se hace una comparación entre ambos sistemas instalados respecto a la medición de la corriente obtenida.

Respecto a las conexiones del sistema, las lecturas de los fotorresistores se obtienen a través de las entradas analógicas de 0 al 3 y del sensor ACS712 en la entrada 5 del Arduino 1. Luego se envían señales a los servomotores horizontal y vertical a través de las salidas digitales 9 y 10, respectivamente. Asimismo, tanto los servomotores como el sensor ACS712 requieren de una fuente de energía proveniente del mismo Arduino,

que es de 5 V, así como sus respectivas conexiones a tierra (GND). A continuación, la figura 1 presenta un esquema de las conexiones realizadas en el experimento y la figura 2 muestra el diseño del prototipo.

Figura 1
Esquema de componentes y conexiones del diseño

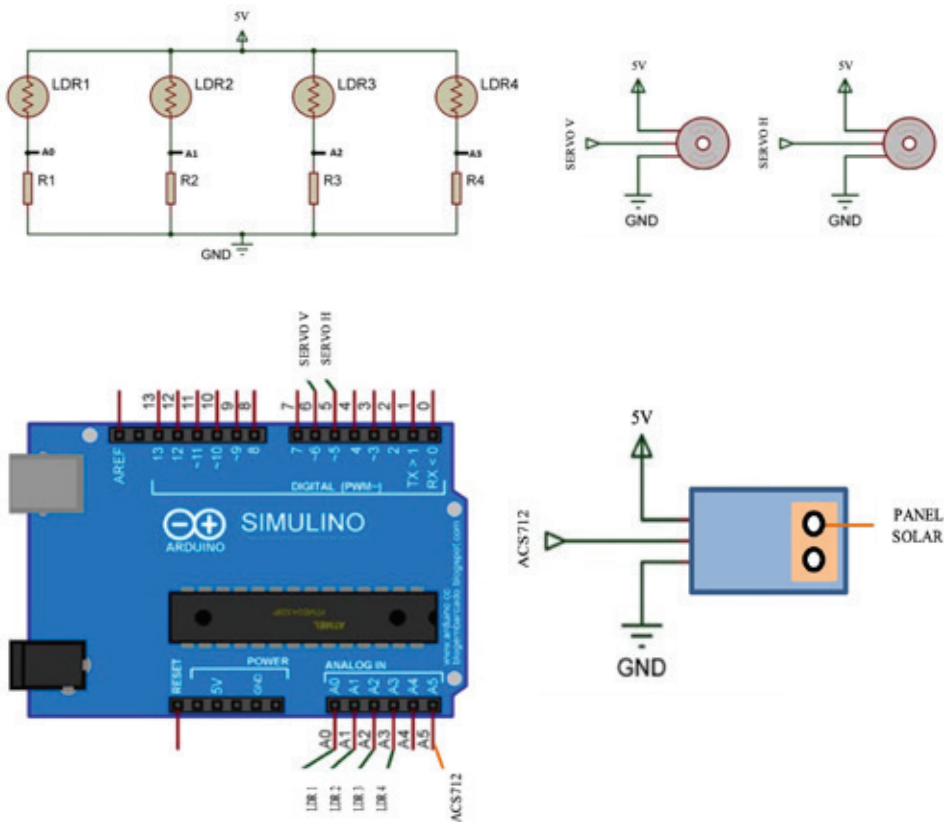
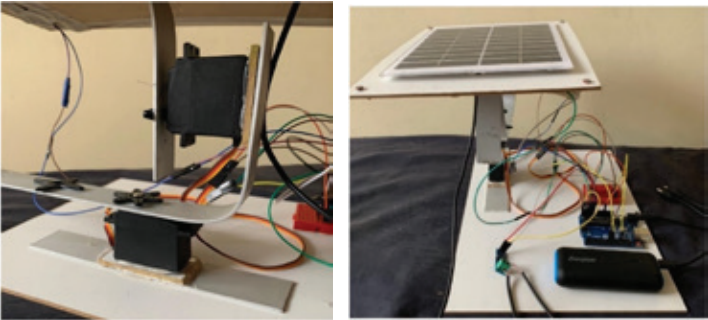


Figura 2
Diseño del prototipo de un sistema de control y seguimiento mediante servomotores



RESULTADO Y DISCUSIÓN

El resultado del desarrollo de la prueba experimental ha validado la hipótesis de la pregunta de investigación. El sistema de prototipo presentado es el experimento adecuado y óptimo que nos lleva a afirmar que la mayor generación de energía se detecta mediante un sensor ACS712, donde el amperaje de mediciones obtenidas alcanza la mayor radiación del sol durante las horas de 10:00 a. m. hasta las 5:00 p. m. En la tabla 2 se presentan los resultados de las mediciones realizadas de la intensidad de la corriente tanto del módulo fijo de referencia, orientado hacia el norte con un ángulo respecto del plano horizontal de 12 grados, como del sistema de seguimiento solar.

Tabla 2

Determinación del tiempo de medición de la intensidad de corriente cada 15 minutos

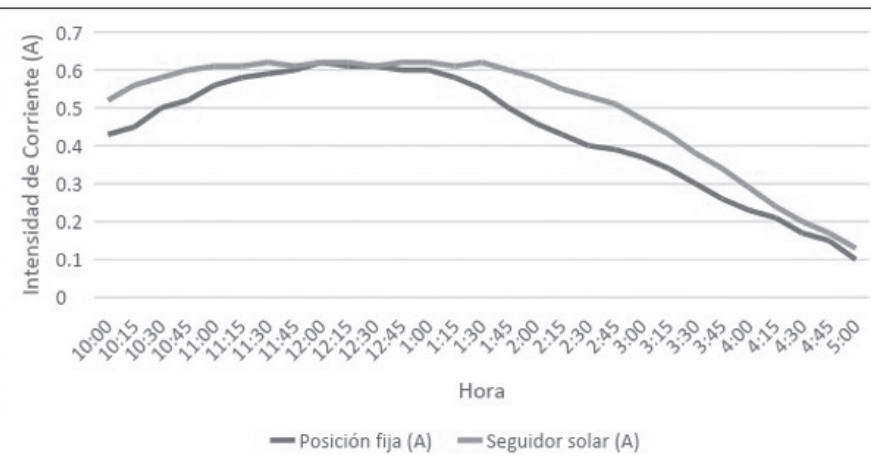
Tiempo (hora)	Posición fija (A)	Seguidor solar (A)
10:00	0,43	0,52
10:15	0,45	0,56
10:30	0,50	0,58
10:45	0,52	0,60
11:00	0,56	0,61
11:15	0,58	0,61
11:30	0,59	0,62
11:45	0,60	0,61
12:00	0,62	0,62
12:15	0,61	0,62
12:30	0,61	0,61
12:45	0,60	0,62
1:00	0,60	0,62
1:15	0,58	0,61
1:30	0,55	0,62
1:45	0,50	0,60
2:00	0,46	0,58
2:15	0,43	0,55
2:30	0,40	0,53
2:45	0,39	0,51
3:00	0,37	0,47
3:15	0,34	0,43
3:30	0,30	0,38

3:45	0,26	0,34
4:00	0,23	0,29
4:15	0,21	0,24
4:30	0,17	0,20
4:45	0,15	0,17
5:00	0,10	0,13

Igualmente, en la figura 3, se puede apreciar la tendencia de la curva, donde el nivel de intensidad de corriente del panel en posición fija y el seguidor solar alcanzan los valores más altos de radiación solar aproximadamente a partir de las 11:00 a. m. hasta las 2:00 p. m., lo que refuerza la validez del prototipo diseñado.

Figura 3

Nivel de intensidad de corriente por hora del panel en posición fija y del seguidor solar



En la tabla 3, se puede observar que entre las 11:45 a. m. y la 1:00 p. m. se produce una corriente que oscila entre 0,60 A y 0,62 A alcanzando el mejor rendimiento posible; luego se inicia una caída constante durante las próximas horas; a diferencia del sistema de posición fija, con el sistema propuesto se llega a 0,6 A a las 10:45 a. m., y la corriente se mantiene constante entre 0,60 A y 0,62 A hasta la 1:45 p. m. Para calcular la potencia en vatios, se utiliza la fórmula $P = V \times I$ con la que se obtienen valores relevantes para distintas horas, utilizando un promedio de amperaje para cada hora y con un voltaje constante de 11,2 V. Para el panel en posición fija, se obtuvo una potencia promedio de 5,37 W a lo largo de las 7 horas, mientras que al aplicar el sistema de

seguimiento solar se obtiene una potencia promedio de 6,1 W; es decir, la cantidad de potencia obtenida se incrementó en un 13,67 %. En la tabla 4, se presenta el cálculo de la potencia consumida por el módulo con seguimiento solar, utilizando durante el experimento una fuente de alimentación externa. La potencia promedio obtenida por el módulo con seguimiento solar resulta mayor a pesar de estar afectada por el consumo de los componentes del sistema.

Tabla 3
Cálculo de la potencia y comparación entre panel en posición fija y el seguidor solar

Tiempo (hora)	Amperaje promedio (A)		Potencia (W)	
	Posición fija	Seguidor solar	Posición fija	Seguidor solar
10:00-10:59	0,48	0,57	5,70	6,78
11:00-11:59	0,58	0,61	6,99	7,35
12:00-12:59	0,61	0,62	7,32	7,41
1:00-1:59	0,56	0,61	6,69	7,35
2:00-2:59	0,42	0,54	5,04	6,51
3:00-3:59	0,32	0,41	3,81	4,86
4:00-5:00	0,17	0,21	2,06	2,47

Tabla 4
Potencia consumida por módulo con seguimiento solar

	Voltaje (V)	Consumo (A)	Consumo (W)
Arduino	5	0,046	0,23
Servo horizontal	5	0,200	1,00
Servo vertical	5	0,200	1,00
			2,23

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El desarrollo del diseño de un prototipo para la optimización del rendimiento de paneles solares permite concluir que es posible lograr grandes ventajas y beneficios, principalmente tecnológicos, como el ahorro de energía, la reducción de la contaminación y la optimización de celdas solares, entre otros.
- Para la realización de nuevos prototipos, se recomienda tomar en cuenta el peso de los materiales con el fin de establecer la potencia requerida de los servomotores, así como para la construcción del mismo, con el fin de alcanzar

un peso balanceado. Se debe considerar alguna variable adicional al funcionamiento del sistema para contribuir al rendimiento del prototipo.

- El resultado del experimento con un sensor ACS712 permite obtener mediciones de mayor radiación solar entre las 10:00 a. m. y las 5:00 p. m. En el caso del sistema de posición fija, entre las 11:45 a. m. y la 1:00 p. m., la corriente oscila entre 0,60 A y 0,62 A alcanzando el mejor rendimiento, mientras que con el módulo con seguimiento solar se llega a 0,60 A a las 10:45 a. m., manteniéndose constante entre 0,60 A y 0,62 A hasta la 1:45 p. m. La potencia obtenida, en promedio, para el panel en posición fija es de 5,37 W en un tiempo de 7 horas; en cambio, al aplicar el sistema de seguimiento solar, se alcanzó 6,1 W, produciéndose un incremento del 13,67 %.
- Es importante fomentar el desarrollo de proyectos de esta índole, que optimicen el uso de energías renovables, para contribuir a la cultura de responsabilidad humana en el aprovechamiento de energías limpias (en comparación con el uso y agotamiento de combustibles fósiles) y la necesidad de reducir la contaminación ambiental.
- Finalmente, se recomienda para futuras investigaciones considerar la variable nubosidad en la programación del sistema, ya que influye en el nivel de radiación solar sobre el panel, así como alguna otra condición meteorológica que se presente. El diseño propuesto se puede adaptar ajustando la posición con relación a la nubosidad para conseguir captar mayor radiación solar.

REFERENCIAS

- Barragán, E., Zalamea, E., Terrados, J., & Vanegas, Pablo. (2019). Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. *EURE (Santiago)*, 45(134), 259-277. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612019000100259>
- Chakraborty, S., Das, S., Sadhu, P. K., & Sastry, O. S. (2015). Design and experimental execution of a microcontroller (μ C)-based smart dual-axis automatic solar tracking system. *Energy Science & Engineering*, 3(6), 558-564. <http://dx.doi.org/10.1002/ese3.102>
- Dalmazzo-Bermejo, E., Valenzuela-Klagges, B., & Espinoza-Brito, L. (2017). Producción de energía renovable no tradicional en América Latina: economía y políticas públicas. *Apuntes. Revista de Ciencias Sociales*, 44(81), 67-87. <http://dx.doi.org/10.21678/apuntes.81.806>

- El Hammoumi, A. E., Motahhir, S., Ghzizal, A. E., Chalh, A., & Derouich, A. (2018). A simple and low-cost active dual-axis solar tracker. *Energy Science & Engineering*, 6(5), 607-620. <http://dx.doi.org/10.1002/ese3.236>
- Feron, S., & Cordero, R. R. (2018). Is Peru prepared for large-scale sustainable rural electrification? *Sustainability*, 10(5), 1683. <http://dx.doi.org/10.3390/su10051683>
- Guaita-Pradas, I., & Blasco-Ruiz, A. (2020). Analyzing profitability and discount rates for solar PV plants. A Spanish case. *Sustainability*, 12(8), 3157. <http://dx.doi.org/10.3390/su12083157>
- Mansouri, A., Krim, F., & Khouni, Z. (2018). Design of a prototypical dual-axis tracker solar panel controlled by geared dc servomotors. *Scientia Iranica*, 25(6), 3542-3558. <http://dx.doi.org/10.24200/sci.2018.20045>
- Qamar, U. H. (2019). Design and implementation of solar tracker to defeat energy crisis in Pakistan. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 9(2), 31. <http://dx.doi.org/10.5815/ijem.2019.02.03>
- Rivera, H., Quintana, M., & Teixeira, V. (2016). Implementación de un sistema fotovoltaico en el distrito de San Borja, para aprovechar la energía solar durante los meses de verano. *Tecnia*, 26(1), 115. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v26i1.13>
- Talamon, A., Papp, R. V., Vokony, I., & Hartmann, B. (2019). Global solar energy trends and potential of building sector in Hungary. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 17(1-A), 51-57. <http://dx.doi.org/10.7906/indexs.17.1.7>
- Umbarila Valencia, L. P., Alfonso Moreno, F. L., & Rivera Rodríguez, J. C. (2015). Importancia de las energías renovables en la seguridad energética y su relación con el crecimiento económico. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 231-241. <https://doi.org/10.22490/21456453.1419>

