



Rastreador solar difuso para mejorar la obtención de energía eléctrica en paneles solares

Diffuse solar tracker, to improve the obtaining of electrical energy in solar panels

Rastreador solar difuso para melhorar a obtenção de energia elétrica em painéis solares

Hipólito Carbajal-Morán ^I
hipolito.carbajal@unh.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-1661-5363>

Javier Francisco Márquez-Camarena ^{II}
javier.marquez@unh.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-0523-9569>

Víctor Raúl Rodríguez-Peña ^{III}
victor.rodriguez@unh.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-2019-8486>

Carlos Abel Galván-Maldonado ^{IV}
carlos.galvan@unh.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0001-5826-3282>

Correspondencia: hipolito.carbajal@unh.edu.pe

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 15 de agosto de 2020 ***Aceptado:** 10 de septiembre 2020 * **Publicado:** 01 de Octubre de 2020

- I. Universidad Nacional de Huancavelica, Investigador independiente, Perú.
- II. Universidad Nacional de Huancavelica, Investigador independiente, Perú.
- III. Universidad Nacional de Huancavelica, Investigador independiente, Perú.
- IV. Universidad Nacional de Huancavelica, Investigador independiente, Perú.

Resumen

El objetivo de esta investigación es determinar la mejora de obtención de energía solar eléctrica empleando un rastreador solar con control basado en lógica difusa, en la ciudad de Pampas-Tayacaja de la región Huancavelica Perú a 3620 msnm. La metodología empleada se basó en el diseño experimental de un rastreador solar con programación de un algoritmo en el microcontrolador PIC 16F876A de Microchip, el programa de aplicación envía una secuencia de pulsos digitales a dos motores de posicionamiento latitudinal y longitudinal del rastreador, siendo motor1 un motor DC de 12 V el que permite el movimiento de este a oeste y viceversa, el motor2 con las mismas características del motor1, está acoplado a un engranaje de un eje rotacional que permite el giro de norte a sur y viceversa de un panel fotovoltaico durante los días de acuerdo a la rotación y traslación de la Tierra, los mismos que son determinados por sensores LDR, estas señales se envían por medio de la comunicación USB al controlador difuso implementado en LabVIEW que interactúa con el PIC mencionado, se tomaron 36 muestras por día, a partir de las 6:00 am hasta las 6:00 pm. Como resultado, comparando la energía producida por el panel solar el rastreador solar con control basado en lógica difusa que es el grupo experimental, con respecto a los paneles fijos que formaron parte del grupo control, se logra una mejora de obtención de energía eléctrica de 25.28 %.

Palabras claves: Sistema fotovoltaico; rastreador solar; controlador difuso; obtención de energía eléctrica.

Abstract

The objective of this research is to determine the improvement in obtaining solar electric energy using a solar tracker with control based on fuzzy logic, in the city of Pampas-Tayacaja in the Huancavelica region at 3620 meters above sea level. The methodology used was based on the experimental design of a solar tracker with programming of an algorithm in Microchip's PIC 16F876A microcontroller, the application program sends a sequence of digital pulses to two latitudinal and longitudinal positioning motors of the tracker, motor1 being a 12 V DC motor which allows movement from east to west and vice versa, motor2 with the same characteristics of motor1, is coupled to a gear of a rotational shaft that allows rotation from north to south and vice versa of a photovoltaic panel during the days according to the rotation and translation of the Earth, which are determined by LDR sensors, these signals are sent through USB communication to the fuzzy controller implemented in LabVIEW that interacts with the mentioned PIC, 36 samples were taken per day, from 6:00 am to 6:00 pm. As a result,

comparing the energy produced by the solar panel the solar tracker with control based on fuzzy logic that is the experimental group, with respect to the fixed panels that were part of the control group, an improvement in obtaining electrical energy of 25.28 % is achieved.

Keywords: Photovoltaic system; solar tracker; fuzzy controller; obtaining electrical energy.

Resumo

O objetivo desta pesquisa é determinar a melhoria na obtenção de energia solar elétrica por meio de um rastreador solar com controle baseado em lógica fuzzy, na cidade de Pampas-Tayacaja na região de Huancavelica Perú a 3.620 metros acima do nível do mar. A metodologia utilizada baseou-se no projeto experimental de um rastreador solar com programação de um algoritmo no microcontrolador PIC 16F876A da Microchip, o programa aplicativo envia uma sequência de pulsos digitais para dois motores de posicionamento latitudinal e longitudinal do rastreador, sendo o motor1 um Motor 12 V DC que permite o movimento de leste para oeste e vice-versa, motor2 com as mesmas características do motor1, é acoplado a uma engrenagem de um eixo rotacional que permite a rotação de norte para sul e vice-versa de um painel fotovoltaico durante os dias de acordo com a rotação e translação da Terra, que são determinados por sensores LDR, esses sinais são enviados através de comunicação USB para o controlador fuzzy implementado no LabVIEW que interage com o referido PIC, 36 amostras foram coletadas por dia, das 6h00 às 18h00. Como resultado, comparando a energia produzida pelo painel solar o rastreador solar com o controle baseado na lógica fuzzy que é o grupo experimental, com relação aos painéis fixos que faziam parte do grupo de controle, consegue-se uma melhora na obtenção de energia elétrica de 25,28. %.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico; rastreador solar; controlador difuso; obtenção de energia elétrica.

Introducción

La tendencia mundial es al aprovechamiento y uso de energías renovables que son abundantes en la naturaleza, que no contaminan al medio ambiente como la energía eólica proporcionado por el viento, la energía hidráulica proporcionado por el agua y la energía solar proporcionado por el Sol, existiendo muchas otras en desarrollo (Roldán, 2012).

La energía solar por su procedencia es prácticamente una fuente inagotable de recursos energéticos (SOLARGIS, 2019), pudiendo aprovecharse en cualquier lugar dentro y fuera del planeta.

Se realizaron diversos trabajos con seguidores para aprovechar la energía solar. En el trabajo de Toranzo y otros (2015), se implementó un dispositivo para obtener las coordenadas del Sol durante el día con dos ejes, el prototipo implementado se sometió a prueba experimental en el laboratorio comprobando el funcionamiento del seguidor. Pérez y otros (2017) lleva a cabo una investigación con el propósito de fomentar el uso de un sistema fotovoltaico que contribuye al ahorro de energía eléctrica y a la posible mitigación del cambio climático, teniendo mejoras en la producción de energía eléctrica, con respecto al método estático. Finalmente, Jalón y Herrera (2019) desarrolla el trabajo de análisis de eficiencia de un seguidor solar, teniendo como objetivo estimar el más alto potencial de incidencia solar en un panel fotovoltaico, por intermedio de un prototipo de seguidor solar, logrando monitorear y seguir el Sol. El prototipo que se construyó fue sometido a pruebas para aprovechar la energía solar, tomando la potencia generada. El sistema está construido con Arduino con sensores fotorresistivos LDR y un par de servomotores siendo de dos grados de libertad.

En este trabajo se aborda la implementación de un el rastreador solar con controlador difuso e interface en LabVIEW que permite mejorar la obtención de energía eléctrica con respecto a un sistema fotovoltaico con orientación fija. La investigación contribuye a la evaluación de los niveles de radiación provenientes de cuatro puntos diferentes y actúan sobre dos motores DC, para orientarse hacia el Sol, y en consecuencia a la mejora de obtención de energía eléctrica.

Materiales y métodos

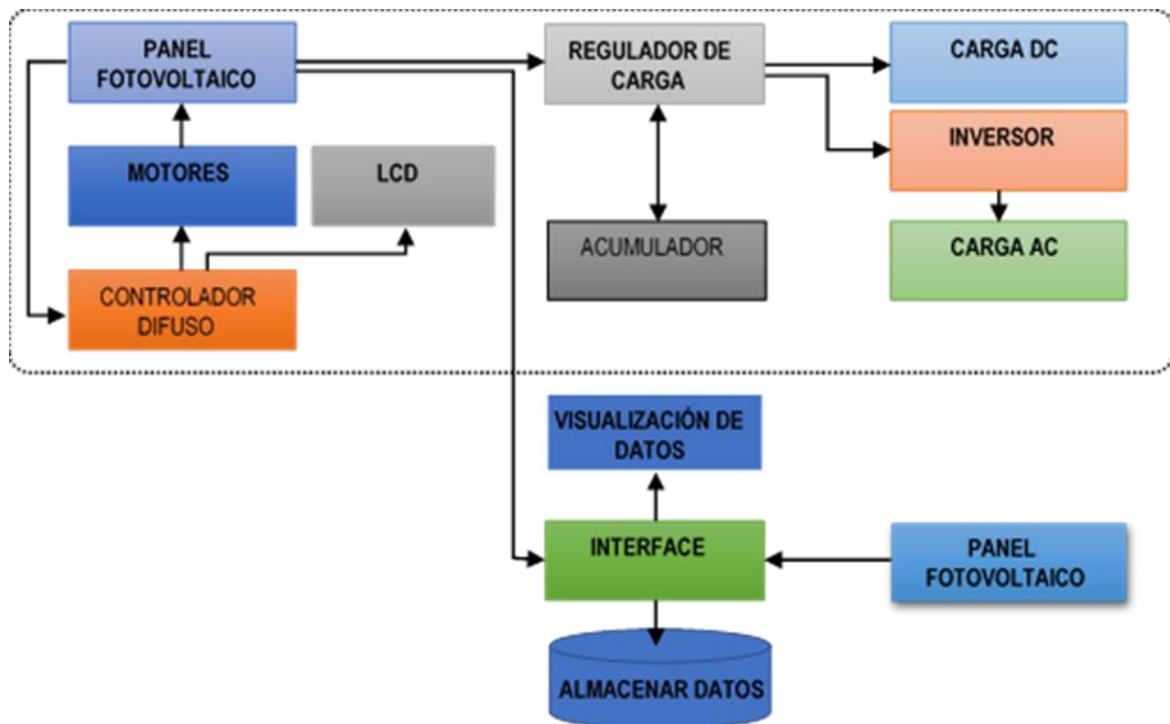
En el desarrollo del trabajo se utilizó diversos materiales entre los más resaltantes tenemos: las tablas de toma de datos, panel fotovoltaico, motores DC, microcontrolador PIC16F876A y PIC18F2550 (Zamarreño et al., 2017) y una computadora portátil para la toma de muestras.

El método que se empleó fue el experimental, siendo el diseño con un grupo experimental; representado por la energía generada por el panel solar con rastreador difuso. El otro grupo que es el control, está representado por la energía que genera el panel solar con posición fija, localizada en la ciudad de Pampas-Tayacaja de la región Huancavelica Perú a 3620 msnm. Se analizó los datos con la técnica estadísticas de la prueba “t” de Student para muestras emparejadas, empleando el software estadístico SPSS, por tratarse de datos cuantitativos.

Se implementó el rastreador solar con control difuso, el mismo que consta básicamente de tres partes principales que son: el sensor, el controlador y la actuación. El principio de funcionamiento se basa en un control básico a lazo cerrado el cual mide, compara y luego actúa (Roca, 2014). Los sensores LDR (resistencia dependiente de la luz) detectan el movimiento

del Sol a través de una diferencia de potencial (Creus, 2010). Luego, el controlador difuso hace la inferencia de las señales de acuerdo a las reglas establecidas tanto para el movimiento latitudinal como longitudinal, enviando como respuesta una señal para que los motores roten en la dirección norte-sur o este-oeste, direccionando de esta manera el panel solar fotovoltaico, de modo que esté en posición ortogonal a los rayos solares. El diagrama de bloques de todo el proceso del rastreador solar difuso y el proceso de obtención de la energía eléctrica se muestra en la figura 1.

Figura 1. Diagrama de bloques del rastreador solar con controlador difuso y generación de energía eléctrica



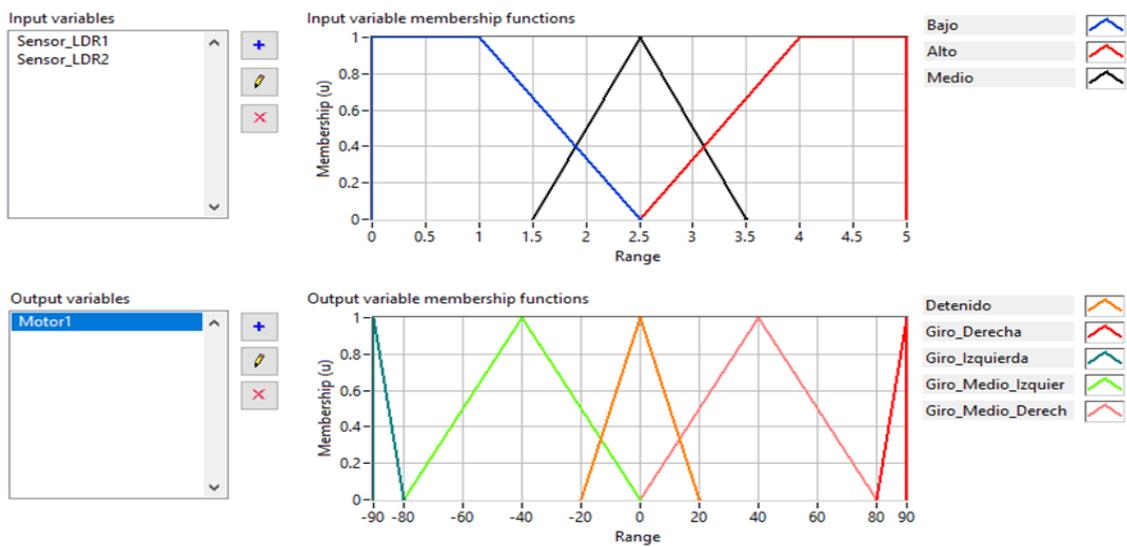
El controlador difuso de la latitud para la rotación norte-sur del panel fotovoltaico está diseñado utilizando el control tipo Mandani (De Silva, 2018; Qi et al., 2019), considerando las posiciones solares norte y sur como dos entradas, el motor de inferencia está basado en 09 reglas que son:

1. Si 'Sensor_LDR1' es 'Bajo' y 'Sensor_LDR2' es 'Bajo' entonces 'Motor1' es 'Detenido'
2. Si 'Sensor_LDR1' es 'Bajo' y 'Sensor_LDR2' es 'Medio' entonces 'Motor1' es 'Giro_Medio_Derecha'
3. Si 'Sensor_LDR1' es 'Bajo' y 'Sensor_LDR2' es 'Alto' entonces 'Motor1' es 'Giro_Derecha'
4. Si 'Sensor_LDR1' es 'Medio' y 'Sensor_LDR2' es 'Bajo' entonces 'Motor1' es 'Giro_Medio_Izquierda'
5. Si 'Sensor_LDR1' es 'Medio' y 'Sensor_LDR2' es 'Medio' entonces 'Motor1' es 'Detenido'
6. Si 'Sensor_LDR1' es 'Medio' y 'Sensor_LDR2' es 'Alto' entonces 'Motor1' es 'Giro_Medio_Izquierda'

7. Si 'Sensor_LDR1' es 'Alto' y 'Sensor_LDR2' es 'Bajo' entonces 'Motor1' es 'Giro_Izquierda'
8. Si 'Sensor_LDR1' es 'Alto' y 'Sensor_LDR2' es 'Medio' entonces 'Motor1' es 'Giro_Medio_Izquierda'
9. Si 'Sensor_LDR1' es 'Alto' y 'Sensor_LDR2' es 'Alto' entonces 'Motor1' es 'Detenido'

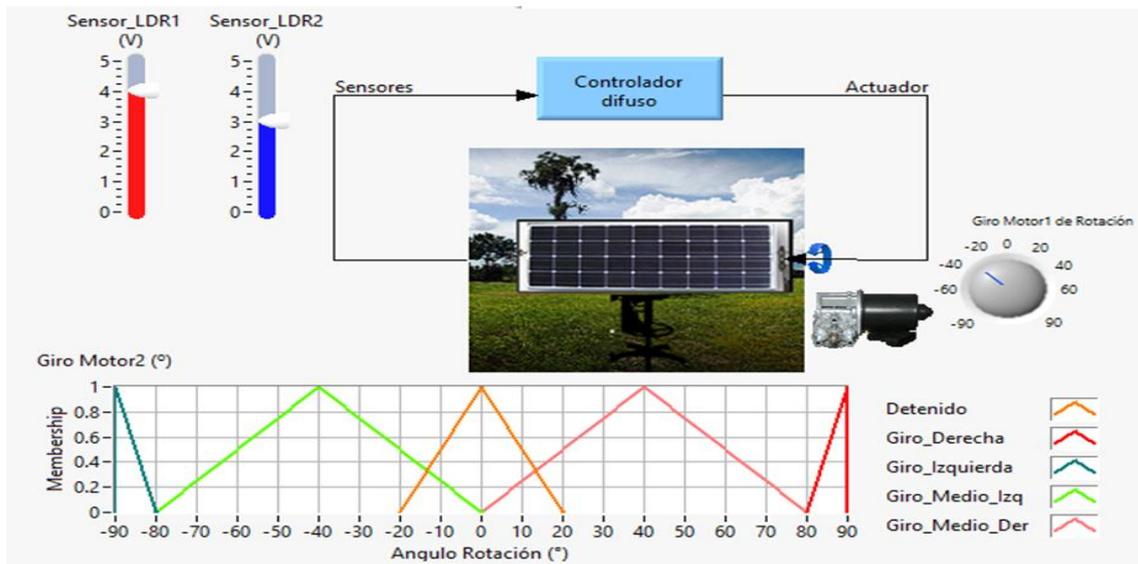
Como respuesta a estas reglas implementada en la figura 2 con la herramienta Fuzzy System Designer de LabVIEW (Ross, 2017), se tiene el giro de -90° a 90° del “Motor1” que controla la latitud, relacionado con la rotación de la Tierra, con este controlador se tiene la celda fotovoltaica orientado en latitud al centro de la radiación del Sol, ver figura 3.

Figura 2. Diseño del sistema difuso para el control del Motor1 de rotación



Nota: El diseño del sistema se implementa en función a las reglas del controlador difuso para Motor1 de rotación en LabVIEW.

Figura 3. Interface de la respuesta del Motor1 de rotación de la Tierra



El controlador difuso de la longitud para la rotación este-oeste del panel solar fotovoltaico está diseñado utilizando también el controlador tipo Mandani, considerando la posición del Sol de este - oeste como dos entradas, el motor de inferencia tiene 09 reglas que son:

1. Si 'Sensor_LDR3' es 'Bajo' y 'Sensor_LDR4' es 'Bajo' entonces 'Motor2' es 'Detenido'
2. Si 'Sensor_LDR3' es 'Bajo' y 'Sensor_LDR4' es 'Medio' entonces 'Motor2' es 'Giro_Medio_Derecha'
3. Si 'Sensor_LDR3' es 'Bajo' y 'Sensor_LDR4' es 'Alto' entonces 'Motor2' es 'Giro_Derecha'
4. Si 'Sensor_LDR3' es 'Medio' y 'Sensor_LDR4' es 'Bajo' entonces 'Motor2' es 'Giro_Medio_Izquierda'
5. Si 'Sensor_LDR3' es 'Medio' y 'Sensor_LDR4' es 'Medio' entonces 'Motor2' es 'Detenido'
6. Si 'Sensor_LDR3' es 'Medio' y 'Sensor_LDR4' es 'Alto' entonces 'Motor2' es 'Giro_Medio_Izquierda'
7. Si 'Sensor_LDR3' es 'Alto' y 'Sensor_LDR4' es 'Bajo' entonces 'Motor2' es 'Giro_Izquierda'
8. Si 'Sensor_LDR3' es 'Alto' y 'Sensor_LDR4' es 'Medio' entonces 'Motor2' es 'Giro_Medio_Izquierda'
9. Si 'Sensor_LDR3' es 'Alto' y 'Sensor_LDR4' es 'Alto' entonces 'Motor2' es 'Detenido'

Como respuesta a estas reglas implementada en la figura 4 con la herramienta Fuzzy System Designer de LabVIEW, se tiene el giro del motor de control de longitud “Motor2” relacionado con la traslación de la Tierra, con este controlador se tiene el panel solar fotovoltaico orientado en longitud al centro de la radiación del Sol, ver figura 5.

Figura 4. Diseño del sistema difuso para el control del Motor2 de traslación

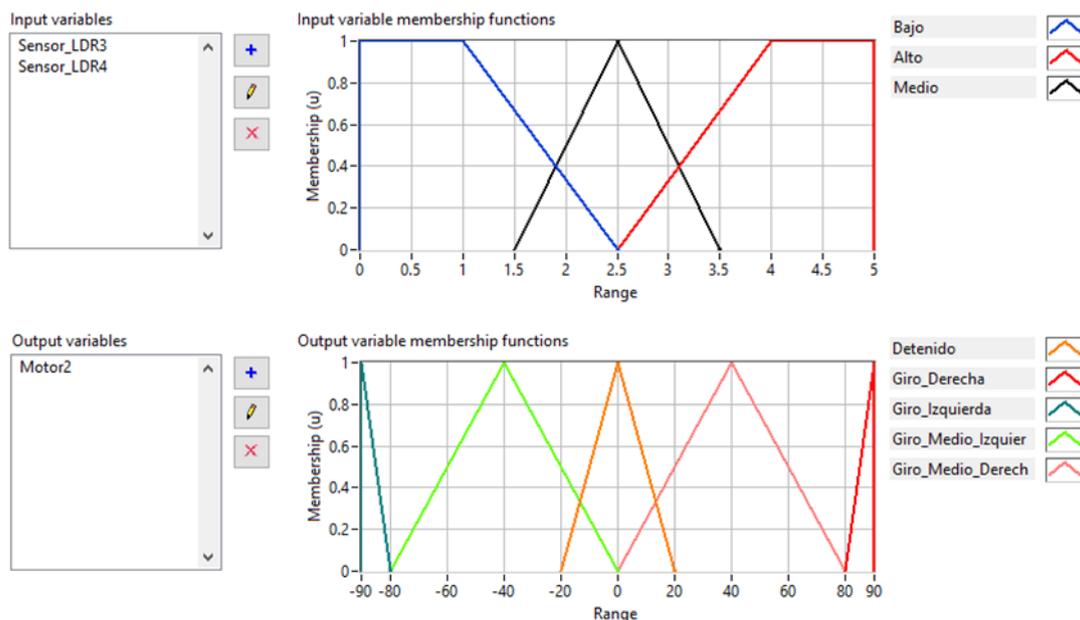
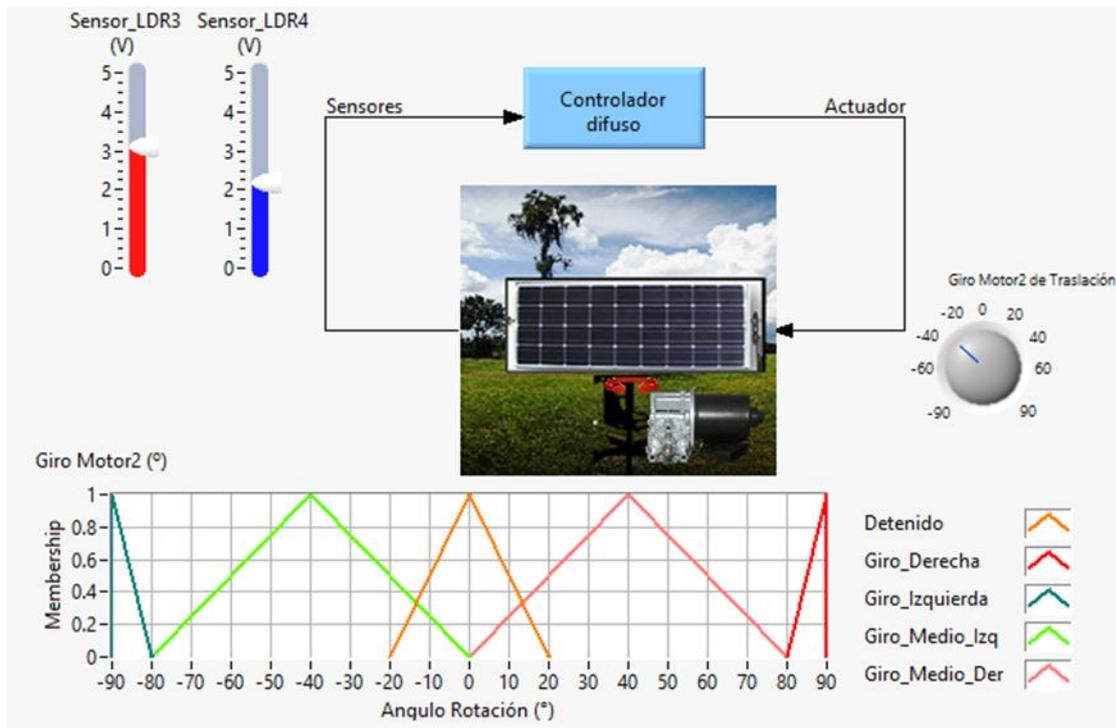
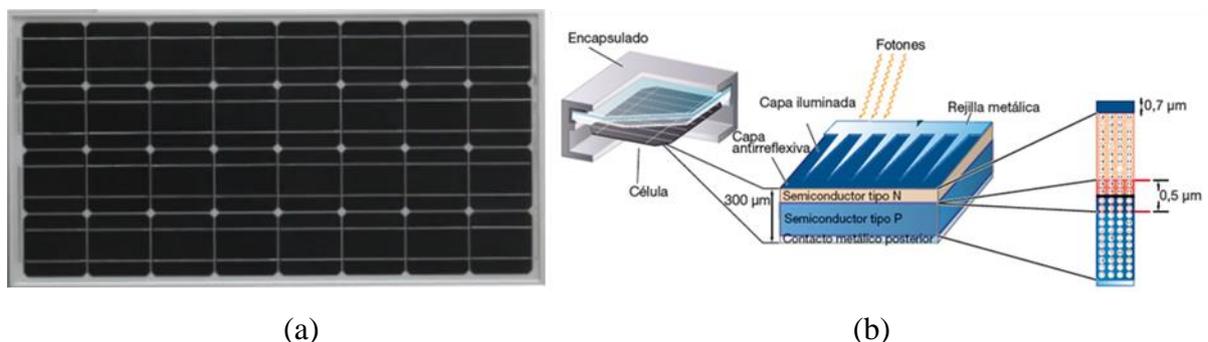


Figura 5. Interface de la respuesta del Motor2 de traslación de la Tierra



Se empleó dos paneles fotovoltaicos que son dispositivos que convierten la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica (Permiñan et al., 2012). Estos paneles son de Silicio mono o policristalino, el primero es más utilizado, aunque su proceso de fabricación es más elaborado y presenta mejores resultados en cuanto a su eficiencia. Los paneles fotovoltaicos empleados en este trabajo fueron los monocristalinos con potencia pico de 80 W, sus características físicas se muestran en la figura 6.

Figura 6. Panel fotovoltaico monocristalino de potencia pico 80 W y la estructura de la célula solar

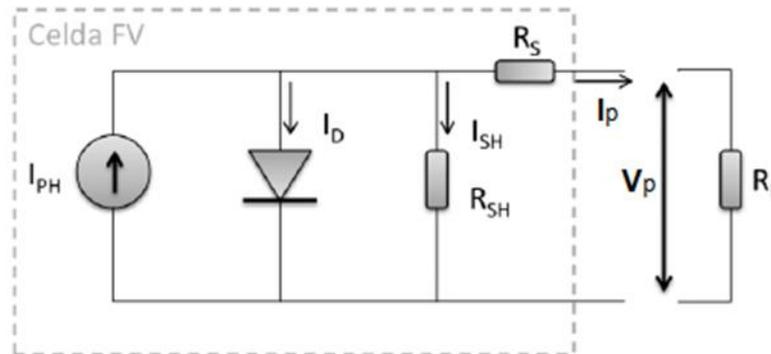


Nota: (a) es el panel fotovoltaico y (b) es la estructura de la célula solar obtenido de (Díaz & Carmona, 2010).

El circuito equivalente del panel fotovoltaico de la figura 7, genera una corriente I_p y una tensión V_p , en presencia de una carga resistiva R_L de 10Ω , con conexión en paralelo, que

permite obtener la potencia tanto en el panel con seguidor solar, como en el panel con posición fija.

Figura 7. Circuito equivalente de un panel fotovoltaico y la estructura de la célula solar



Los parámetros eléctricos nominales del fabricante del panel solar se detallan en la tabla 1, siendo el voltaje de potencia óptimo 15.90 V y la corriente de funcionamiento óptimo 5.03 A.

Tabla 1. Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico

Potencia máxima (W)	80 W
Voltaje de potencia óptimo (V_{mp})	15.90 V
Corriente de funcionamiento óptima (I_{mp})	5.03 A
Voltaje de circuito abierto (V_{oc})	18,58 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	5.59 A

Los parámetros que permiten determinar la mejora de obtención de energía eléctrica fueron la I_p y el V_p generados por una carga artificial resistiva R_L de 10 Ω . Las mediciones y el almacenamiento de los datos se llevaron a cabo de forma automática cada 20 minutos iniciando a las 6.03 am y finalizando a las 5:53 pm, desde la interface desarrollada en LabVIEW (figura 8). Se usaron 02 paneles fotovoltaicos con las mismas características, el panel fijo se ubicó con un azimut de -23.45 con respecto al sur y elevación de 12.39°, el cual es la mejor posición para paneles solares fijos, mientras que el otro panel fotovoltaico fue rotado en latitud y longitud de acuerdo a datos obtenidos por el rastreador difuso.

Figura 8. Interface de monitoreo y almacenamiento de datos de la potencia de los paneles con seguidor solar y panel solar con posición fija



Nota: Esta interface fue desarrollado en LabVIEW 2018, los datos se obtienen mediante la comunicación con el microcontrolador por interface USB.

Resultados y discusión

Las mediciones de los parámetros eléctricos, tanto del panel fotovoltaico con rastreador solar difuso, como del panel fotovoltaico con posición fija (azimut: -23.45° , elevación: 12.39°), que se muestra en la tabla 2, fueron obtenidos y registrados en una hoja de Excel de forma automática desde la interface de la figura 8.

Tabla 2. Parámetros eléctricos medidos en el panel fotovoltaico con rastreador solar difuso y panel fotovoltaico de posición fija.

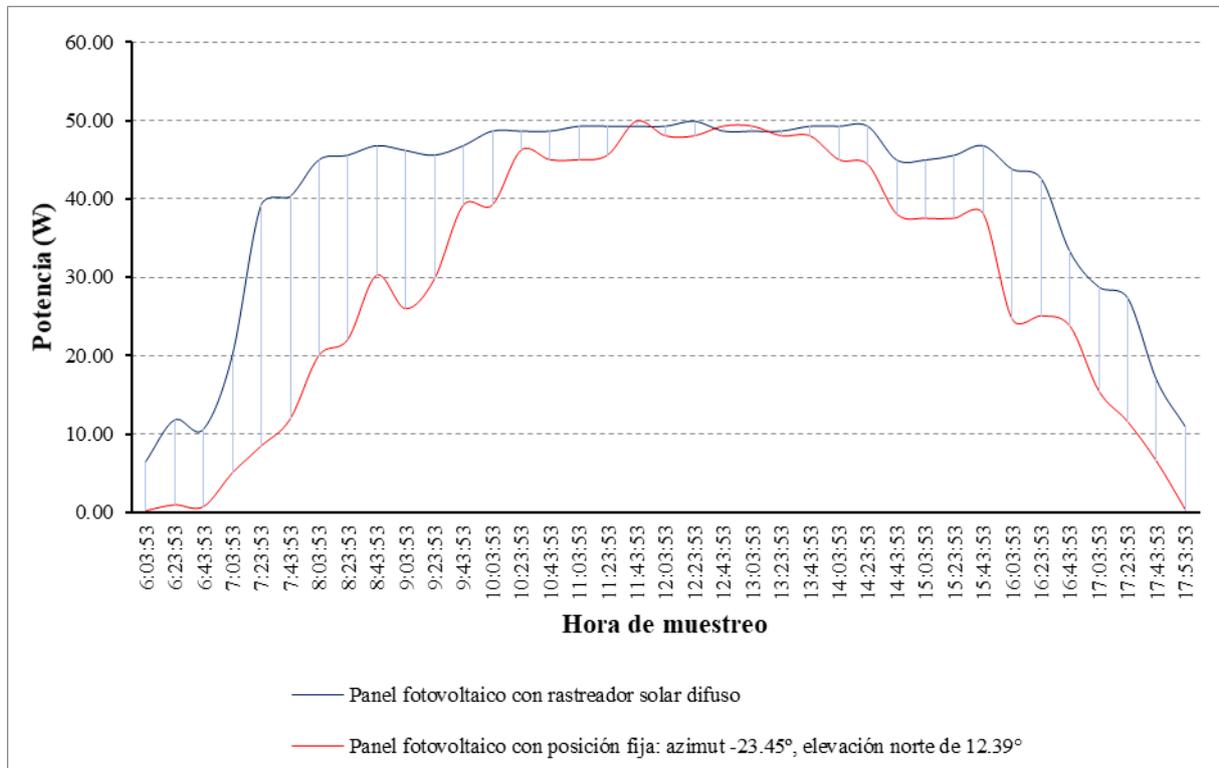
N° muestra	Hora de muestreo	Panel fotovoltaico con rastreador solar difuso			Panel fotovoltaico con posición fija. Azimut: -23.45° Elevación: 12.39°		
		Voltaje Vprd (V)	Corriente Iprd (A)	Potencia Pprd (W)	Voltaje Vppf (V)	Corriente Ippf (A)	Potencia Wppf (W)
00	6:03:53	5.70	1.14	6.50	1.00	0.20	0.20
01	6:23:53	7.70	1.54	11.86	2.20	0.44	0.97
02	6:43:53	7.30	1.46	10.66	1.90	0.38	0.72
03	7:03:53	10.00	2.00	20.00	5.00	1.00	5.00

04	7:23:53	14.00	2.80	39.20	6.50	1.30	8.45
05	7:43:53	14.20	2.84	40.33	7.70	1.54	11.86
06	8:03:53	15.00	3.00	45.00	10.00	2.00	20.00
07	8:23:53	15.10	3.02	45.60	10.50	2.10	22.05
08	8:43:53	15.30	3.06	46.82	12.30	2.46	30.26
09	9:03:53	15.20	3.04	46.21	11.40	2.28	25.99
10	9:23:53	15.10	3.02	45.60	12.20	2.44	29.77
11	9:43:53	15.30	3.06	46.82	14.00	2.80	39.20
12	10:03:53	15.60	3.12	48.67	14.00	2.80	39.20
13	10:23:53	15.60	3.12	48.67	15.20	3.04	46.21
14	10:43:53	15.60	3.12	48.67	15.00	3.00	45.00
15	11:03:53	15.70	3.14	49.30	15.00	3.00	45.00
16	11:23:53	15.70	3.14	49.30	15.10	3.02	45.60
17	11:43:53	15.70	3.14	49.30	15.80	3.16	49.93
18	12:03:53	15.70	3.14	49.30	15.50	3.10	48.05
19	12:23:53	15.80	3.16	49.93	15.50	3.10	48.05
20	12:43:53	15.60	3.12	48.67	15.70	3.14	49.30
21	13:03:53	15.60	3.12	48.67	15.70	3.14	49.30
22	13:23:53	15.60	3.12	48.67	15.50	3.10	48.05
23	13:43:53	15.70	3.14	49.30	15.50	3.10	48.05
24	14:03:53	15.70	3.14	49.30	15.00	3.00	45.00
25	14:23:53	15.70	3.14	49.30	14.90	2.98	44.40
26	14:43:53	15.00	3.00	45.00	13.80	2.76	38.09
27	15:03:53	15.00	3.00	45.00	13.70	2.74	37.54
28	15:23:53	15.10	3.02	45.60	13.70	2.74	37.54
29	15:43:53	15.30	3.06	46.82	13.80	2.76	38.09
30	16:03:53	14.80	2.96	43.81	11.10	2.22	24.64
31	16:23:53	14.60	2.92	42.63	11.20	2.24	25.09
32	16:43:53	12.90	2.58	33.28	10.90	2.18	23.76
33	17:03:53	12.00	2.40	28.80	8.80	1.76	15.49
34	17:23:53	11.70	2.34	27.38	7.60	1.52	11.55
35	17:43:53	9.20	1.84	16.93	5.70	1.14	6.50
36	17:53:53	7.40	1.48	10.95	1.20	0.24	0.29

Nota: Las muestras fueron tomados de forma automática desde la interface de la figura 8.

Al graficar las potencias generadas por ambos paneles fotovoltaicos se obtiene la figura 9, donde se hace notar la diferencia de estas potencias.

Figura 9. Representación gráfica de los datos muestreados del panel solar fotovoltaico con rastreador solar basado en controlador difuso y panel solar fotovoltaico con posición fija.



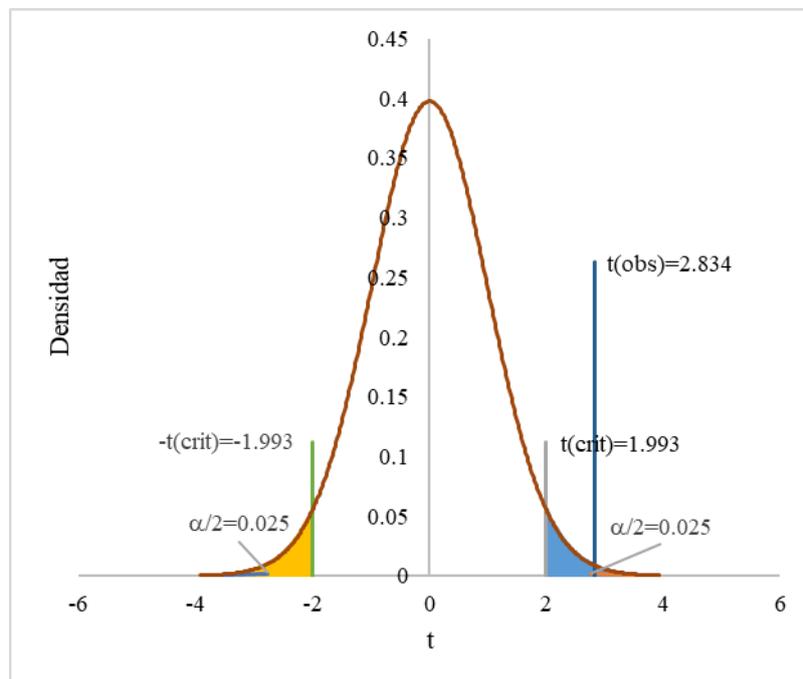
Las potencias generadas por el panel fotovoltaico con seguidor solar difuso son consideradas muestras del grupo experimental y las potencias obtenidas por el panel fotovoltaico con posición fija representa las muestras del grupo control. Estas muestras se sometieron a prueba t de Student para muestras emparejadas a ambas colas para un nivel de confianza del 95% y nivel de significación de $\alpha=0.05$, obtenido los datos de la tabla 3.

Tabla 3. Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación	Error promedio
Panel fotovoltaico con rastreador solar difuso (W)	39.94	37	13.34	2.19
Panel fotovoltaico con posición fija (W)	29.84	37	17.09	2.81

Tabla 4. Resultado de la prueba t para muestras emparejadas

Diferencia	10.10
t (valor observado)	2.834
t (valor crítico)	1.993
GL	72
Valor-p (bilateral)	0.006
Alfa	0.05

Figura 10. Valores de t crítico y t observado obtenidos en la prueba estadística para muestras emparejadas

Para interpretar la prueba se plantea las hipótesis de investigación:

La hipótesis nula H_0 : La diferencia entre las medias de las potencias obtenidas en los paneles fotovoltaicos es igual a 0.

La hipótesis alternativa H_a : La diferencia entre las medias de las potencias obtenidas en los paneles fotovoltaicos es diferente a 0.

Siendo el valor-p (bilateral) = 0.006 menor que el nivel de significación $\alpha=0.05$, se debe rechazar la hipótesis nula H_0 , y aceptar la hipótesis alternativa H_a .

A partir de los resultados del análisis de las muestras para una significancia de $\alpha=0.05$ y un valor-p = 0.006 que es menor que la significancia, se acepta que los promedios de las potencias eléctricas obtenidas en los paneles fotovoltaicos con rastreador solar difuso y el panel fotovoltaico con posición fija son estadísticamente diferentes. Esta diferencia es de

aproximadamente 10.10 W, tal como está establecido en la tabla 2, el cual significa una mejora en la obtención de energía eléctrica alrededor de 25.28 %.

Este resultado guarda cierta relación con el trabajo de Toranzo y otros (2015) que al implementar un seguidor solar de dos ejes controlados por el microcontrolador PIC 18F1320 de Microchip y una comunicación por protocolo RS485, este cumple con los criterios establecidos por los autores comprobándose su buen funcionamiento. Así como también Pérez y otros (2017) demuestran que el seguidor solar con paneles de 240 W de potencia obtiene un incremento de 51 % de Wh de energía. Por otro lado, Jalón y Herrera al comparar la potencia obtenida por un panel fotovoltaico con mecanismo de movimiento continuo a dos ejes con seguidor solar frente a un panel fijo, logran una ganancia de 17% de potencia con el empleo del seguidor solar. Por los resultados analizados, se hace notar claramente, que los rastreadores solares son una gran alternativa para mejorar la obtención de energía eléctrica a partir de la radiación emitida por el Sol. También es importante proseguir con el desarrollo de la incipiente tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala planetaria.

Referencias

1. Creus, A. (2010). Instrumentación industrial (8.a ed.). Alfaomega. <http://ebooksacademicos.blogspot.com/2013/09/instrumentacion-industrial-antonio.html>
2. De Silva, C. W. (2018). Intelligent control Fuzzy logic applications. <https://doi.org/10.1201/9780203750513-9>
3. Diaz, T., & Carmona, G. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas (1ra ed.). McGraw-Hill.
4. Jalón Villón, R. A., & Herrera Cruz, E. A. (2019). Análisis de eficiencia de un seguidor solar a dos ejes para fines energéticos. En Repositorio de la Universidad Estatal de Milagro.
5. Pérez Parada, J. A., Vides Herrera, C. A., & Torres Chávez, I. (2017). Implementación de un sistema fotovoltaico On Grid sobre una estructura de dos ejes controlada, para la promoción de fuentes no convencionales de energía renovables en el Colegio Gonzalo Jiménez Navas de Floridablanca - Santander, Colombia. *Revista de Investigación*, 41(92), 56-73.
6. Permiñan, O., Colmenar, A., & Castro, M. A. (2012). Diseño de sistemas fotovoltaicos.
7. Qi, R., Tao, G., & Jiang, B. (2019). Fuzzy System Identification and Adaptive Control. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-19882-4>
8. Roca, A. (2014). Control automático de procesos industriales. www.alfredoroca.com/libro.htm
9. Roldán, J. (2012). Estudios de viabilidad de instalaciones solares. Paraninfo. <https://books.google.com.pe/books?id=JiMLjISA->

kwC&pg=PA17&lpg=PA17&dq=Organización+Mundial+de+Meteorología+constante+solar
&source=bl&ots=gbSKeOX1H5&sig=ACfU3U1edvxxrL-LKS_U5GAR-rWzaqCJQYA&hl=es-
419&sa=X&ved=2ahUKEwjpsaeHjNfpAhVREbkGHbnOAE0Q6AEwBHoECAwQAQ#v

10. Ross, T. J. (2017). Fuzzy logic with engineering applications (4.a ed.). Wiley.
<http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=C3527E67BBCC7074F1FE6DBEE84E851D>
11. SOLARGIS. (2019). Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/map?c=-12.448646,-75.39505,9&s=-12.395576,-74.872663&m=site>
12. Toranzo, N. M., Cervantes, A. L., Henríquez, J., & Costa, O. E. (2015). Seguidor solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. *Revista Científica de Ingeniería Energética*, 36(2), 190-199.
13. Zamarreño, C. R., Corres Sanz, J. M., & Bariáin, C. (2017). Programación de Microcontroladores PIC en Lenguaje C (1.a ed.). Marcombo.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).