

## **Robot Seguidor de Luz con Dos Grados de Libertad Para la Reposición de Paneles Fotovoltaicos**

### **Light Following Robot with Two Degrees of Freedom to Replace Photovoltaic Panels**

Luis Miguel Zabala Gualtero<sup>1</sup>, Luis Alejandro Peñaranda Rincón<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación de Mecatrónica Automotriz, Maestría en Ingeniería Automotriz,  
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Toluca, México

<sup>2</sup> Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

luis.zabala@invitados.itesm.mx; luis.penaranda@correo.uis.edu.co

**Resumen.** El presente trabajo, presenta como objetivo poder ser usado en cualquier lugar del mundo para posicionar (dependiendo de la época del año) los paneles fotovoltaicos de captura masiva, con la ayuda de un mecanismo seguidor de luz ligero, liviano y automatizado que proporcione las coordenadas necesarias en dos planos cartesianos, aprovechando la mayor radiación del sol proporcionado por el ángulo de incidencia ortogonal hacia el panel. El proyecto se efectuó en la ciudad de Bucaramanga, donde se espera reposicionar paneles solares dependiendo de la incidencia del sol en una época determinada del año. Como pre-fase, un robot seguidor de luz con dos grados de libertad programado bajo Arduino, que proporciona los ángulos de mayor incidencia a los paneles fotovoltaicos, este a su vez, captura la energía solar y la almacena en una batería (todo con corriente directa) para lograr alimentarse a sí mismo. Posteriormente, los datos proporcionados, se transmiten al ordenador, que por medio del puerto serial, reposiciona todos los paneles fotovoltaicos de captura masiva.

*Palabras clave:* Arduino, corriente directa, panel fotovoltaico, seguidor de luz.

**Abstract.** The intention of this project is to enable the use, anywhere in the world, to position capturing photovoltaic panels (depending on the season) with the help of a light-following mechanism that is light and automatic. The device provides the coordinates required in two Cartesian planes, taking advantage of more solar radiation provided by the orthogonal angle of incidence toward the panel. The Project was carried out in the city of Bucaramanga, where solar panels are expected to be repositioned depending on the incidence of the sun at a certain time of the year. As a pre-phase, a Light-following robot with two degrees of freedom programmed using Arduino provides the angles of greater incidence of the photovoltaic panels. It also capture solar energy and stores it in a battery (all with direct current) to feed itself. Subsequently, the provided data are transmitted to the computer by serial port repositions all the mass capture photovoltaic panels.

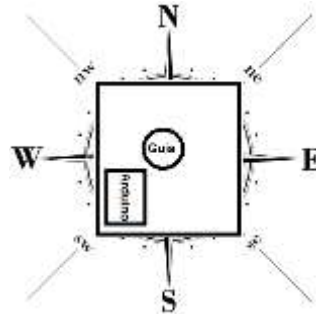
*Keywords:* Arduino, Electricity, photovoltaic panel, light follower, direct current.

## 1 Introducción

La generación de energía eléctrica es un campo de investigación muy amplio, donde se busca almacenar dicha energía de forma limpia y utilizarla de igual forma. La energía limpia es una necesidad para el ser humano, debido a la contaminación exponencial a la que nos encontramos actualmente; dicho caso hace buscar formas alternativas para la generación de la misma. La energía solar es una de estas energías limpias y/o verdes. Durante el año, el sol emite sobre la tierra cuatro mil veces más energía de la que se consume a nivel global [1]; sin embargo, nosotros desaprovechamos mucho esta energía, dejándola perder. A diferencia, el uso de combustibles fósiles sigue siendo los pioneros para la generación de energía eléctrica, y a al mismo ritmo contaminan el planeta que es nuestro hábitat [2]. A diferencia, nuestros antepasados la usaban en la agricultura, o en la guerra como la uso en el año 212 AC Arquímedes [3]; sin embargo, en la actualidad la podemos recolectar usando diferentes mecanismos de recolección.

En el presente documento, se muestra el diseño y construcción de un robot seguidor de luz con dos grados de libertad, que aprovechará la energía solar con un panel fotovoltaico para auto-alimentarse, y por medio de un Arduino capturar los datos (dados en grados) ubicándose donde encuentre la mayor incidencia del sol. El robot, buscará la mayor intensidad de luz, y enviará los datos de su ubicación para re-ubicar el campo de paneles solares que estén capturando la energía solar; de esta forma haremos un seguimiento al sol, y tendremos la mayor captura siempre, sin embargo, para evitar tanto gasto de energía, el escaneo se realizará un determinado tiempo (según sea la caracterización de la ciudad), en nuestro caso, para la ciudad de Bucaramanga (donde se llevó el desarrollo total del proyecto en el año 2015), será de cada treinta minutos [5-6].

El montaje consta de tres partes importantes, el sistema mecánico, sistema eléctrico y el control. En el sistema mecánico, se construyó una base para el panel con dos grados de libertad, que serán actuados por dos servomotores. En el sistema eléctrico se quemó un PCB, el cual es un divisor de tensión para poder controlar los servomotores de manera correcta, y en el mismo, se conectarán el Arduino, una batería para la recolección y retro-alimentación del sistema y cuatro fotoceldas que realizarán una diferencia donde verificará la mayor intensidad solar [4, 7]. En el control, se usará un Arduino, que controlará todo el sistema, el cuál realizará un escaneo en los 180° para dos planos cada 30 minutos, con el puerto serial tomará los datos de la mejor ubicación para el panel y los guardará para su posterior o inmediato uso. La toma de datos se hizo con el sistema fijado hacia el sur (ver Fig. 1).

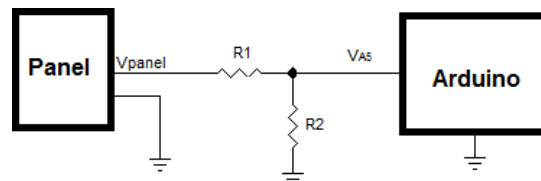


**Fig 1.** Posición inicial del Sistema. Fuente: Propia

Para la realización del trabajo, se realizaron unos primeros cálculos, para poder determinar las ecuaciones que se implementaron en el código de Arduino y para la selección de materiales que conforman el sistema eléctrico.

Primero se determinaron las resistencias basándonos en la fórmula 1, conociendo que  $V_{panel} = 6$  y  $V_{A5} = 5$  voltios:

De esta forma logramos tener valores de  $R_1 = 1982 \Omega$  y  $R_2 = 9870 \Omega$  (ver Fig. 2):



**Fig 2.** Esquema del divisor de tensión. Fuente: Propia

$$V_{A5} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{panel} \quad (1)$$

Luego, usando una malla vemos la fórmula 2:

$$-V_{panel} + i * (1982\Omega + 9870\Omega) = 0 \quad (2)$$

Asumiendo que  $V_{panel} = 6$  V (fórmula 3):

$$i = \frac{V_{panel}}{11852\Omega} = \frac{V_{A5}}{9870\Omega} = \frac{6V}{11852\Omega} = 0,5 [mA] \quad (3)$$

Despejando  $V_{A5}$  para comprobar (fórmula 4) que sea adecuada para el Arduino:

$$V_{A5} = i * (9870\Omega) = 4,996 [V] \quad (4)$$

Comprobamos que es adecuada para el Arduino, ya que esta solo recibe 5V. Como el voltaje  $V_{A5}$  puede ser obtenido a partir de la lectura analógica del Arduino, entonces tenemos a 6 a partir de la fórmula 5:

$$V_{\text{panel}} = V_{A5} + \left( \frac{V_{A5}}{9870\Omega} \right) * 1982\Omega \quad (5)$$

$$V_{\text{panel}} = 1,2 * V_{A5} \quad (6)$$

Para lograr obtener a  $V_{A5}$  en el Arduino, usaremos la fórmula 7:

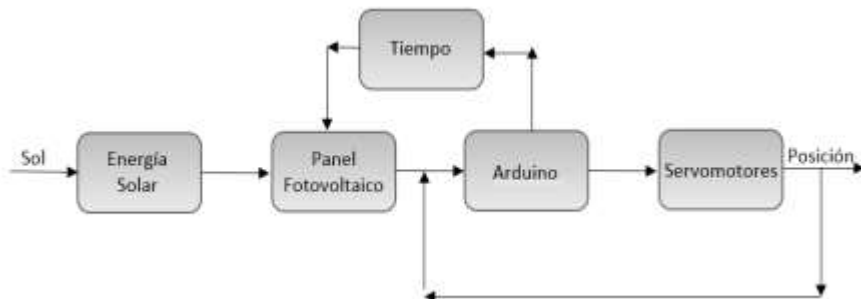
$$V_{A5} = \frac{5 * \text{analogRead}(A5)}{1023} \quad (7)$$

Finalmente para conocer el voltaje del panel, tenemos la fórmula 8:

$$V_{\text{panel}} = \frac{6 * \text{analogRead}(A5)}{1023} \quad (8)$$

## 2 Desarrollo

El desarrollo total del montaje se dividió en 3 partes: sistema mecánico, sistema eléctrico y control (ver Fig. 3).



**Fig 3.** Diagrama de bloques del montaje total. Se puede observar el esquema general de la construcción y las fases del proyecto, donde se tienen dos retroalimentaciones. Fuente: Propia

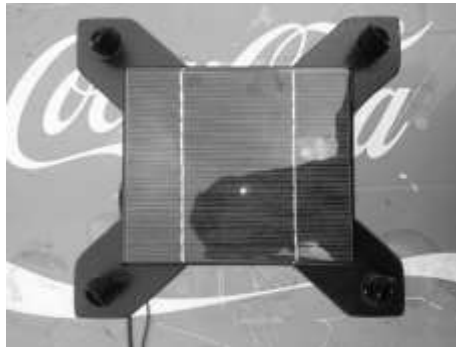
### 2.1 Sistema mecánico

1. Se cortó la madera en una base para el sistema, en una base para el panel y en una guía para el panel.
2. Se acopla la guía con la base para el sistema.
3. Se acopla el panel fotovoltaico a la guía (ver Fig. 4).
4. Se atornilla el Arduino a la base.

5. Ubicación de las cañas para las fotoceldas (ver Fig. 5).



**Fig 4.** Panel fotovoltaico. Fuente: Propia



**Fig 5.** Cañas de las fotoceldas. Fuente: Propia

## **2.2 Sistema eléctrico**

El siguiente montaje se elaboró para la construcción del sistema eléctrico, basándonos en el diagrama de conexión al Arduino (ver Fig. 6):

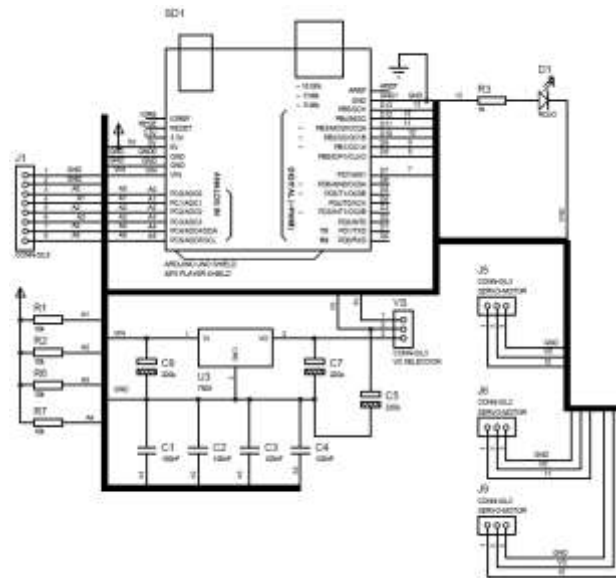


Fig 6. Diagrama de conexión al Arduino. Fuente: Propia

### 2.3 Sistema de Control

Para la elaboración del sistema de control, contamos con un Arduino el cuál se programó para que cada 30 minutos realizará un escaneo en sus dos grados de libertad de la intensidad solar, y se re-ubique donde encuentre mayor incidencia del sol, para esto se determina la luminosidad con la suma de las 4 fotoceldas; como la conexión de estas es a tierra, entonces será la menor suma. La suma arbitraria tomada fue de 5000 para la luminosidad, la cual indica que esta en total oscuridad, entre más bajito sea el valor, mayor será la intensidad e incidencia del sol, por lo tanto, el panel se ubicará en ese lugar, y obtendrá la energía solar máxima.

## 3 Análisis de Resultados

La posición inicial del panel (ver Fig. 7) hará que siempre los datos sean correctos, esto se hizo para caracterizar el ambiente. La captura de datos se realizó en 7 días, obtuvimos que el promedio del día bueno para capturar en la ciudad de Bucaramanga – Colombia, es de las 6:30 a.m hasta las 6:30 p.m, teniendo que de las 7:00 a.m a 6:00 p.m una máxima captura de 3W y 6V constantes en las 11 horas, y la otra hora con un mínimo de 1,5W y 3V (fig 8) la línea naranja representa la potencia y la azul la tensión. El almacenamiento constante en la batería, es útil para el control autónomo del robot seguir de luz.

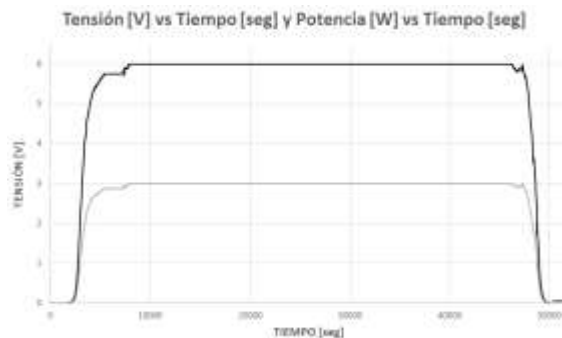
El posicionamiento del sol varía de acuerdo al mes y a la hora en que nos encontremos, el mes de marzo fue cuando realizamos la toma de datos. Dependiendo de la luminosidad, el panel y la base (como fueron llamados los planes cartesianos para este proyecto) tendrán un ángulo correspondiente. Logramos ver el

posicionamiento de la base (ver Fig. 9) y el posicionamiento del panel (ver Fig. 10), como se observan, son curvas muy complejas para usar el métodos matemáticos sencillos; esto se debe a tantas perturbaciones (para un posterior planteamiento, podemos usar el software STELLARIUM). En cuanto la luminosidad del día (ver Fig. 11), que en cierta parte puede ser obvia para el lector, pero es necesario para la caracterización de la zona.



**Fig 7.** Base en posición inicial. Fuente: Propia

Con una batería de 9V y 2A logramos hacer funcionar los servomotores de manera correcta, y su carga será permanente ya que el panel recolecta la energía suficiente para cargarla y mantener funcionando el circuito de forma correcta (ver Fig. 12). Por esto, es mejor mantener el sistema encendido entre las 6:30 a.m a 6:30 p.m en la ciudad de Bucaramanga (en el lugar que fue realizada la toma de datos).



**Fig 8.** Tensión [V] vs Tiempo [seg]. Fuente: Propia

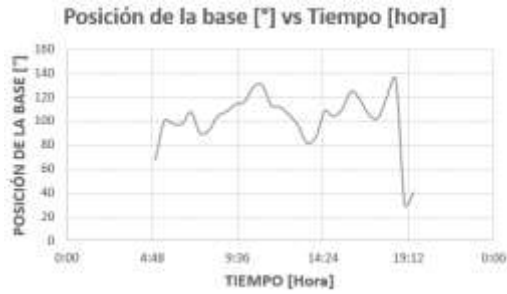


Fig 9. Posicionamiento de la base[°] vs Tiempo [hora]. Fuente: Propia

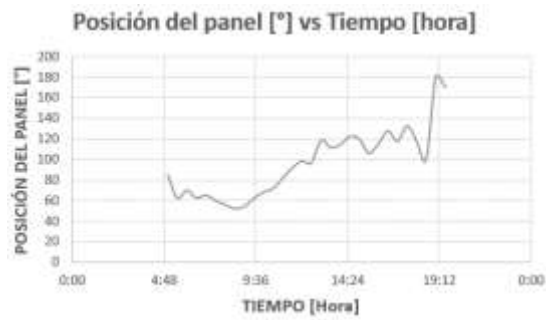


Fig 10. Posicionamiento del panel [°] vs Tiempo [hora]. Fuente: Propia



Fig 11. Luminosidad de la zona vs Tiempo [hora]. Fuente: Propia

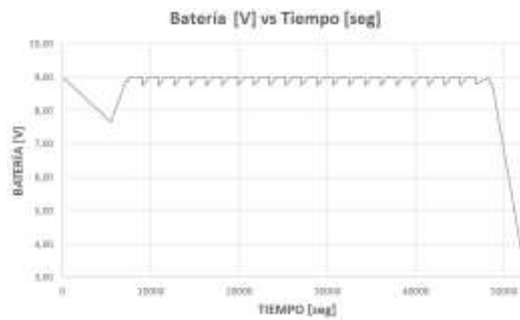


Fig 12. Tensión de la batería con respecto al tiempo. Fuente: Propia



## 4 Conclusiones

Los servomotores se ubicaron de manera perfecta, dependiendo de la señal que proporciona el Arduino a la hora de re-ubicarlo.

Las fotoceldas siempre proveen la máxima incidencia del sol de una forma correcta.

El sistema logra ser totalmente autónomo, gracias a la captura de la energía solar proporcionada por el panel fotovoltaico.

Se estima que en la zona que se realizó la toma de datos y en la época, el sistema debería funcionar de 6:30 a.m a 6:30 p.m, para que aproveche toda la energía y logre ser autónomo.

Si el sistema funciona desde las 6:30 a.m la batería se carga y puede durar perfectamente 12 horas, sí el clima sigue con buen sol.

No se tomó en cuenta los días con precipitaciones altas, solo se realizaron en 7 días soleados y con buen clima.

La presencia de nubes esporádicas no afectan el funcionamiento del sistema, sin embargo, las precipitaciones altas hacen poco eficiente el mismo.

Es necesario realizar una caracterización más amplia para lograr obtener una ecuación y realizar un posicionamiento PID para la zona, ya que las perturbaciones son muy altas, y dependiendo a la temporada, tenemos una diferente ubicación para la mayor luminosidad; sin embargo, con el sistema total elaborado logramos detectar la posición precisa para la mayor incidencia del sol.

## Referencias

1. Sumano, Jonathan.: Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico. Tesis de pregrado. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oaxaca. México (2012).
2. González, Eder.: Sistemas fotovoltaico con mínimo almacenamiento de energía en el enlace de CD. Tesis de maestría en ciencias. Departamento de Ingeniería Electrónica. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuernavaca, Morales. México (2008).
3. Chávez, Mónica.: Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional San Antonio de Riobamba. Tesis de pregrado. Facultad de mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba, Ecuador (2012).
4. Miranda, Juan.: Diseño, construcción y evaluación de un sistema de colector fotovoltaico con seguidor solar de 2 grados de libertad. Tesis de pregrado. Facultad Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Colombia (2011).
5. Bello, C., Jimenez V., Toranzos V., Busso A.: Relevador Portátil de Curvas I-V de Paneles Fotovoltaicos como Herramienta de Diagnostico IN SITU de Sistemas de Generación Fotovoltaica. Artículo Científico. Grupo en Energías Renovables FaCENA, Universidad del Nordeste, Corrientes, Argentina (2009).
6. Pasqualino Jorgelina, Cabrera Cristina, Vanegas Marley.: Los Impactos Ambientales de la Implementación de las Energías Eólica y Solar en el Caribe Colombiano. Artículo Científico Prospectiva. Fundación Universitaria Tecnológica Comfenalco, Cartagena, Colombia (2014) 1692-8261.
7. Pérez García.: Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-I. Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, México (2013) 978-607-8324-04-0.