



Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar

*Solar tracker, optimizing of improvement of the solar energy*

Noel - Machado Toranzo  
Ania - Lussón Cervantes  
Leandro - Leysdian Oro Carralero

Jorge -Bonzon Henríquez  
Orlando - Escalona Costa

**Recibido:** noviembre de 2014

**Aprobado:** febrero de 2015

## Resumen/ Abstract

En este trabajo se realizó el diseño e implementación de un dispositivo encargado de obtener las coordenadas del Sol en cualquier momento del día, es decir, un seguidor solar a dos ejes por punto luminoso. Este seguidor consta de dos bloques principales: la tarjeta controladora y la parte mecánica. Su diseño se basó en el uso de fotorresistencias, microcontroladores y motores de pasos, el mismo posee altas prestaciones y bajo costo. El prototipo construido es utilizado en las investigaciones de aprovechamiento de la energía solar que se realizan en el Grupo de Energía Renovable Aplicadas (GERA) de la Universidad de Oriente, particularmente en los paneles fotovoltaicos y los calentadores de agua. Se realizó una prueba experimental en los laboratorios y en el polígono de dicho grupo y se comprobó que el seguidor solar funciona adecuadamente, cumpliendo con las expectativas deseadas.

**Palabras clave:** energía solar, microcontroladores, Optimización, Seguidor solar.

*The design and implementation of a device for obtaining the coordinates of the sun at any time during the day, it means, a solar tracker of type two axis by luminous point is developed in this paper. This tracker consists of two main blocks: the controller board and the mechanical part. The design is based on the use of photoresistences, microcontrollers and stepper motors. The prototype is used on investigations about solar energy developed at the GERA (Grupo de Energía Renovable Aplicada) of Universidad de Oriente, particularly in photovoltaic panels and water heaters. An experimental test was conducted in the laboratories and at the site of the group and it was found that the solar tracker is functioning properly, meeting the desired expectations.*

**Key words:** Solar energy, Microcontrollers, Optimization, Solar tracker.

## INTRODUCCIÒN

Hacia 1970 las fuentes renovables de energía empezaron a considerarse una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futuro garantizado (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental para el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ha quedado en desuso para ser utilizado el término renovables.

En las últimas décadas, el campo de las fuentes renovables de energía ha cobrado importancia para el desarrollo sostenible. La energía solar se presenta como una alternativa eficiente y económica, en comparación con otras formas tradicionales, para la generación de energía eléctrica. Todo esto ha aumentado la necesidad de un mayor aprovechamiento de la energía solar. En cualquier caso, la primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de energía solar es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar [1]. Para lograr la optimización de la cantidad de energía obtenida de una instalación fotovoltaica existen dos metodologías: La primera consiste en mejorar los componentes internos de un panel fotovoltaico de manera que su rendimiento aumente. La segunda consiste en aumentar la cantidad de radiación solar recibida por el panel; para esto se busca que el área del panel fotovoltaico permanezca en posición perpendicular a la radiación lumínica de la fuente de luz. En los sistemas fotovoltaicos existe la posibilidad de implementar un dispositivo adicional con el fin de aumentar la captación de radiación solar y por ende la energía suministrada por la instalación, tal dispositivo es un seguidor solar [2-3].

En la comunidad científica internacional existen diversos diseños de Sistemas de Seguimiento Solar que optimizan la energía solar, citando algunos ejemplos se tienen: los Seguidores solares de alta tecnología: MecaSolar en España, el Seguidor Solar SunPower T0: Máxima producción de energía por hectárea fabricado por la corporación SunPower en los Estados Unidos de Norteamérica, el Sistema de seguimiento solar activo *Lorentz-Etatrack* del grupo TRITEC S.A en Alemania y los Sistemas de Seguimiento Solar: Energía ERCAM S. A. en España y el GEA-Generación de Energías Alternativas de Chile. Actualmente en nuestro país no existen seguidores solares y en la Universidad de Oriente se encuentra el Grupo de Fuente renovable de energía Aplicadas (GERA) de la Facultad de Mecánica que trabaja con sistemas fotovoltaicos, calentadores de agua y otros sistemas de aprovechamiento solar que se encuentran completamente fijos, es decir, no aprovechan la mayor cantidad de energía que pudieran. Es por ello que los futuros trabajos de este grupo se enmarcan en aprovechar la mayor cantidad de energía solar posible usando un sistema que le muestre las coordenadas solares en todo momento. En esta investigación se tiene como objetivo diseñar e implementar un seguidor solar de bajo costo y altas prestaciones, para así obtener con precisión la posición del Sol, importante para optimizar los trabajos con los paneles fotovoltaicos y calentadores de agua del GERA. Con dicho dispositivo se logra una mayor eficiencia desde el punto de vista energético, ya que permite un mayor aprovechamiento de la energía solar.

## CARACTERIZACIÓN DE LOS SEGUIDORES SOLARES

Un *seguidor solar* es un dispositivo mecánico capaz de buscar la posición del Sol en cualquier momento del día, siguiendo al Sol desde el este hasta el oeste [4].

Está conformado básicamente por una parte fija y una móvil, la cual cuenta con una superficie de captación que debe permanecer perpendicular a los rayos del Sol durante el día y dentro de su rango de movimiento, cuya finalidad es el aumento de la captación de radiación solar. Su movimiento está inspirado en la trayectoria seguida por los girasoles y hay dos movimientos que se deben controlar, el de la trayectoria del Sol durante el día y la variación de esta trayectoria durante el año. Los seguidores solares acoplados a los sistemas captadores (sistema de seguimiento solar) se utilizan para posicionar los sistemas captadores de radiación, de forma que éstos permanezcan cercanos a la perpendicular paralela de los rayos solares, para convertir la energía captada en calor o energía eléctrica y ser utilizada en viviendas, complejos urbanísticos o en la industria.

### Tipos de Seguidores

Los seguidores solares pueden ser clasificados según tipo del movimiento que realicen y según el algoritmo de seguimiento [5-7].

Según su tipo de movimiento:

- Seguidores a un eje: Presentan un grado de libertad en su movimiento. La rotación de la superficie de captación se hace sobre un solo eje, este puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento representa un mínimo grado de complejidad. Su limitación consiste en que no puede realizar un seguimiento completo del Sol ya que solo puede seguir ya sea la azimut o la altura solar, pero no ambas.

- Seguidores a dos ejes: Poseen dos grados de libertad, capaces de hacer un seguimiento solar más preciso. Este tipo de seguidor está en capacidad de realizar un seguimiento total del Sol, tanto en altura como en azimut, aunque el rendimiento de la instalación puede ser superior en comparación con los de un solo eje.

A modo de comparación puede decirse que los seguidores a un eje tienen como ventaja un menor costo y su simplicidad, y como desventajas su imprecisión y captación de una menor cantidad de energía; por otra parte los seguidores a dos ejes tienen mayor precisión y permiten una mayor captación de energía, pero se incrementa su costo.

Según su algoritmo de seguimiento:

- Seguidores por punto luminoso: Poseen un sensor que les indica cual es el punto del cielo más luminoso y al que deben apuntar. El algoritmo de este tipo de seguidor basa su funcionamiento en la señal integrada por uno o varios sensores, dependiendo de dicha señal se envía un comando de control a uno o varios motores para que se posicionen en el punto más adecuado de luminosidad.

- Seguidores con programación astronómica: Estos mediante un programa conocen en qué punto debería estar el Sol a cada hora y apuntan a dicha posición. Presenta una total independencia de las condiciones climáticas ya que su algoritmo no requiere de sensores que indiquen cual es el punto más luminoso. El seguimiento en este caso depende únicamente de una serie de ecuaciones que predicen la ubicación del Sol en cualquier momento.

Si se comparan estos seguidores puede notarse que los seguidores por punto luminoso presentan una mayor facilidad para implementar el algoritmo de seguimiento, pero presentan poca fiabilidad; mientras que con una programación astronómica se presenta una mayor fiabilidad, pero es más difícil la implementación del algoritmo de seguimiento. En los sistemas fotovoltaicos basados en un seguimiento directo del Sol, el seguimiento más empleado es el que utiliza las coordenadas calculadas, pero es una tecnología muy cara y engorrosa desde el punto de vista de su mantenimiento y control, por lo que se recomienda utilizar la variante de los fotosensores, que son más baratos y de fácil construcción, además de ser una tecnología robusta y confiable.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **DISEÑO DEL SEGUIDOR SOLAR**

El diseño del seguidor solar a dos ejes por punto luminoso se muestra en la figura 1, en la cual se observa que presenta dos bloques principales: el de la tarjeta controladora y el de la parte mecánica.

La tarjeta controladora es la que realiza el control del sistema en general, ya que en esta se encuentra el micro controlador, el cual es el encargado de realizar todas las tareas necesarias para lograr un seguimiento directo al Sol. Además se encuentran los bloques de entrada de la medición de los fotosensores y los actuadores usados en el control de los motores de pasos. La parte mecánica consta de los elementos necesarios como bases, plataformas, cilindros, engranajes, entre otros, donde van acoplados los motores de pasos y las fotorresistencias.

#### **Diseño de la tarjeta controladora**

Para satisfacer las necesidades del sistema en desarrollo, se plantea el diseño de una tarjeta controladora que cumpla las siguientes condiciones:

1. Capacidad para efectuar mediciones empleando sensores analógicos.
2. Posibilidad de procesamiento para el filtrado de las mediciones y ejecución de un algoritmo de control.
3. Capacidad de comunicación con PC.
4. Facilidad de ajuste y configuración por *software*.

5. Debe incluir actuadores para los motores de pasos, así como algún dispositivo de posicionamiento.
6. Bajo consumo energético y bajo costo de producción.

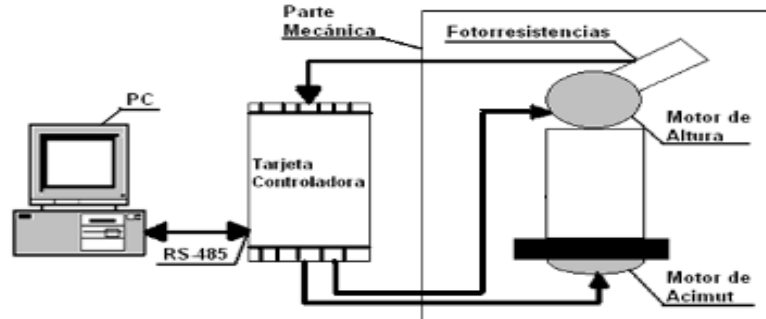


Fig. 1. Esquema general del seguidor solar.

En la actualidad entre los dispositivos más empleados en el desarrollo de tarjetas son los microcontroladores, de aquí la decisión de desarrollar una tarjeta controladora a partir de un microcontrolador, el PIC 18F1320 de Microchip, que cumple con los requerimientos de la aplicación. Este circuito es el encargado de realizar el control sobre el sistema, pues tiene que manipular los actuadores para el movimiento del motor de pasos, procesar y almacenar las mediciones de los fotosensores, así como realizar la comunicación con la PC. Los cuatro bloques funcionales que conforman la tarjeta controladora para el seguidor solar, la cual se denomina "Tarjeta controladora del Seguidor Solar" (TCSS), se muestran en la figura 2. Los mismos se describen a continuación:

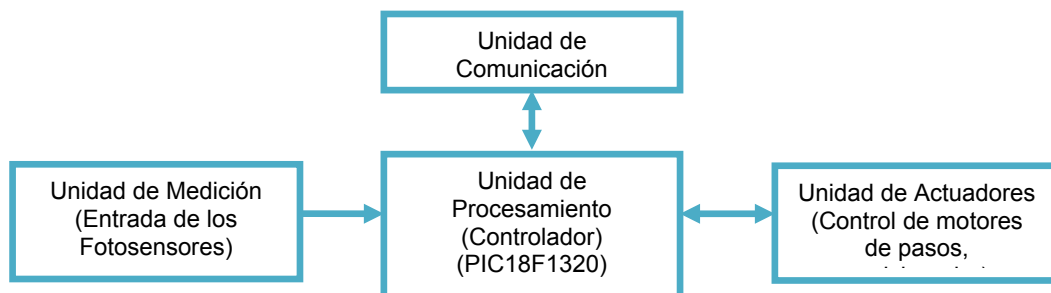


Fig. 2. Bloques principales de la TCSS.

Bloque del Controlador: La Unidad de Procesamiento a emplear es un microcontrolador

PIC 18F1320 de la compañía Microchip [8]. Se escoge este PIC porque el mismo tiene incorporado las funciones necesarias para el presente diseño, las cuales son:

- Posee un convertidor analógico digital de 10 bits.
- Incluye 8k de memoria *flash*, 256 bytes de memoria de datos y 256 bytes de *EEPROM*.
- Soporta comunicación serie mediante un módulo *USART* incorporado.
- Posee 3 temporizadores programables.

-- Posee 16 pines configurables como entradas o salidas digitales. De estos 7 pueden ser canales analógicos de entrada.

**Bloque de Actuadores** :La Unidad de Actuadores para controlar el movimiento de los motores de pasos modelo ST35 se diseñó usando seis salidas del microcontrolador, dos para seleccionar que motor se va a mover, y cuatro para activar las bobinas de los motores y así lograr el movimiento de estos en un sentido u otro. La secuencia de activación de las bobinas determina el sentido de giro del motor [9].

**Bloque de Medición**: Para efectuar la captación de la luz en el seguidor se implementa una pequeña unidad basada en el empleo de 2 fotorresistencias. Cada fotorresistencia se conecta a una resistencia para ajustar los valores de entrada al microcontrolador. La señal de salida de la fotorresistencia se conecta a una entrada analógica del microcontrolador, el que se encarga de medir en cada momento el valor equivalente al nivel de iluminación que incide sobre la fotorresistencia [9].

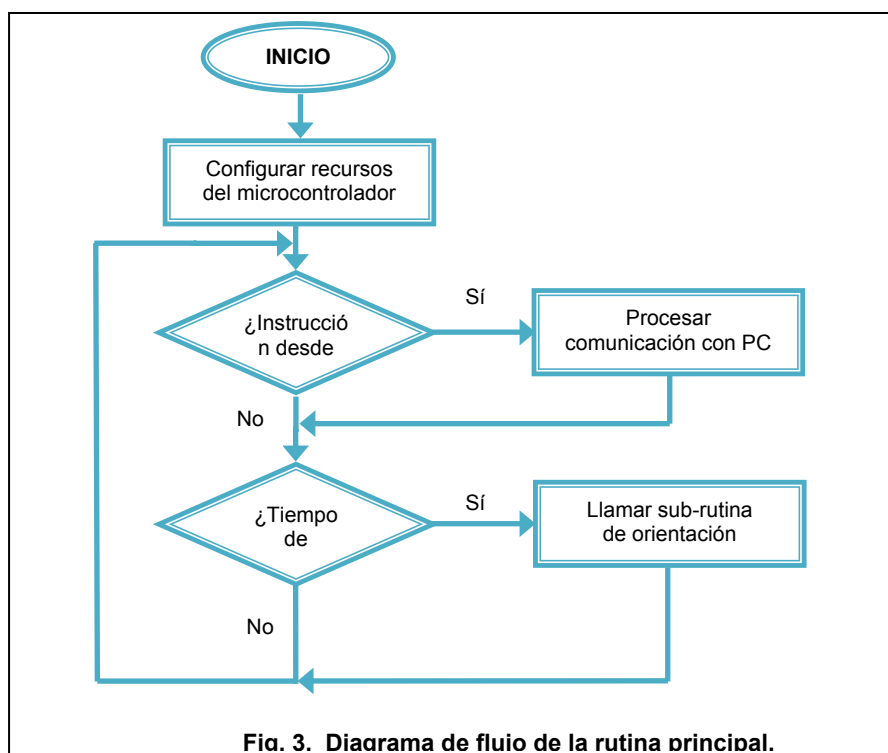
**Bloque de Comunicación**: En la actualidad la comunicación serie es común, existen varios estándares de comunicación que funcionan bajo este principio, como RS-232 y RS-485. Para la aplicación que se desarrolla se requiere comunicación RS-485 debido a que el seguidor se desea operar de un lugar distante de las sala de control del GERA, para ello se utiliza el circuito MAX485 [10].

Para culminar el diseño de la tarjeta controladora se utiliza el programa profesional Proteus 7, mediante el cual se realiza el PCB (Printed Board Circuit) usando el módulo ARES, donde se observan los bloques antes descritos (foto 1a).

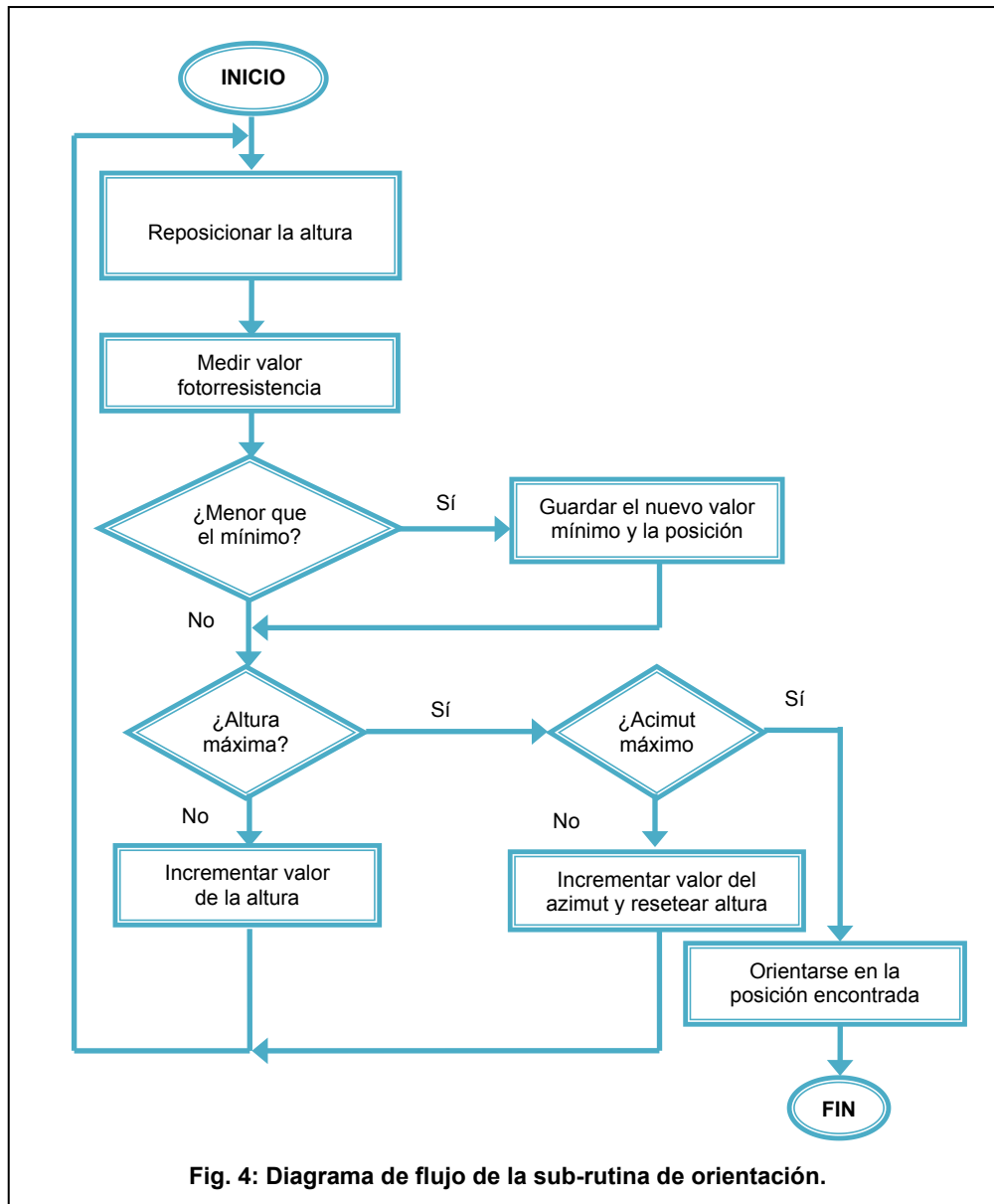
### Descripción del Firmware

La programación del microcontrolador PIC18F1320 se realiza mediante el programa *MPLAB IDE* de Microchip y consta de dos rutinas fundamentales: la principal y la de orientación. La estructura del mismo está concebida para que la tarjeta controladora pueda trabajar de forma automática en la búsqueda del Sol.

**Rutina principal**: Es la médula de la programación que se le pasa al microcontrolador. Desde esta rutina se hace un llamado a las otras sub-rutinas que permiten el funcionamiento del seguidor. Su diagrama de flujo se muestra en la figura 3.



Sub-rutina de orientación: Es la encargada de encontrar la posición en los ejes de azimut y de altura en que se encuentra el Sol en ese momento. Esta se encarga de mover los motores de pasos en busca del menor valor de resistencia de las fotorresistencias, posición donde debe estar el Sol. El diagrama de flujo de esta rutina se muestra en la figura 4.

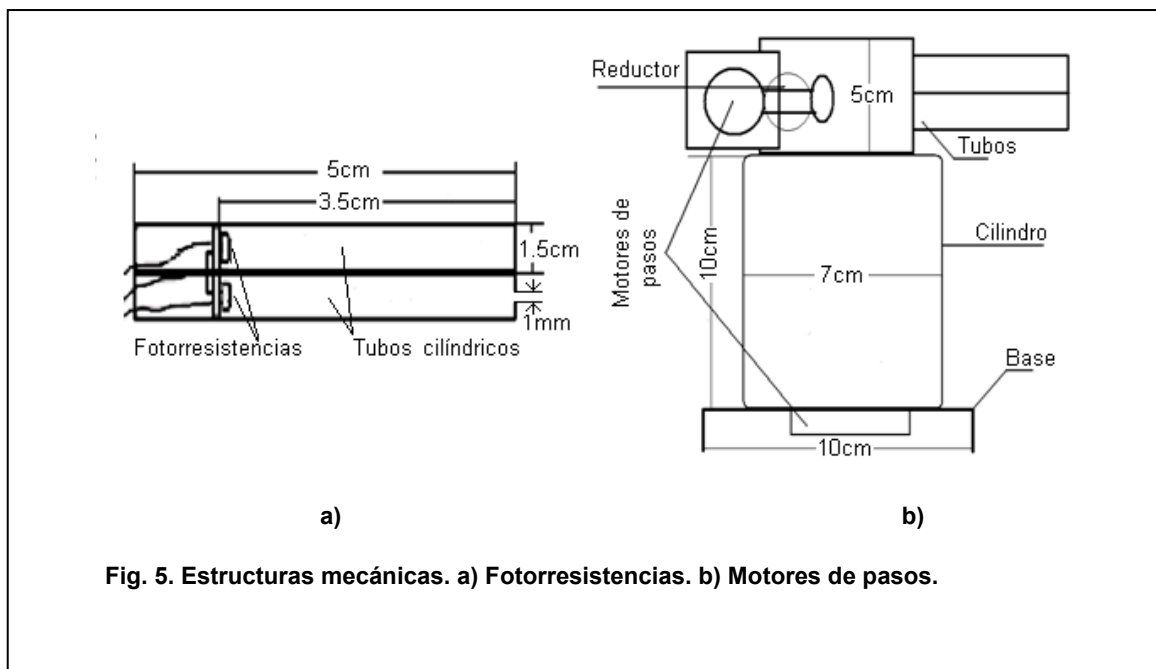


### Diseño de la parte mecánica

La parte mecánica del seguidor solar está compuesta por dos estructuras: una para las fotorresistencias y la otra para los motores de pasos. Estructura para las fotorresistencias: Está conformada por dos tubos cilíndricos de unos 5 cm de largo por 1,5 cm de diámetro unidos entre sí. Dentro de ellos a una profundidad de 3,5 cm se encuentran situados los fotosensores, para lograr precisión de la captación de la luz

solar se ha colocado una rejilla con una abertura de 1 mm, que se encuentran en la boca de cada tubo (figura 5a).

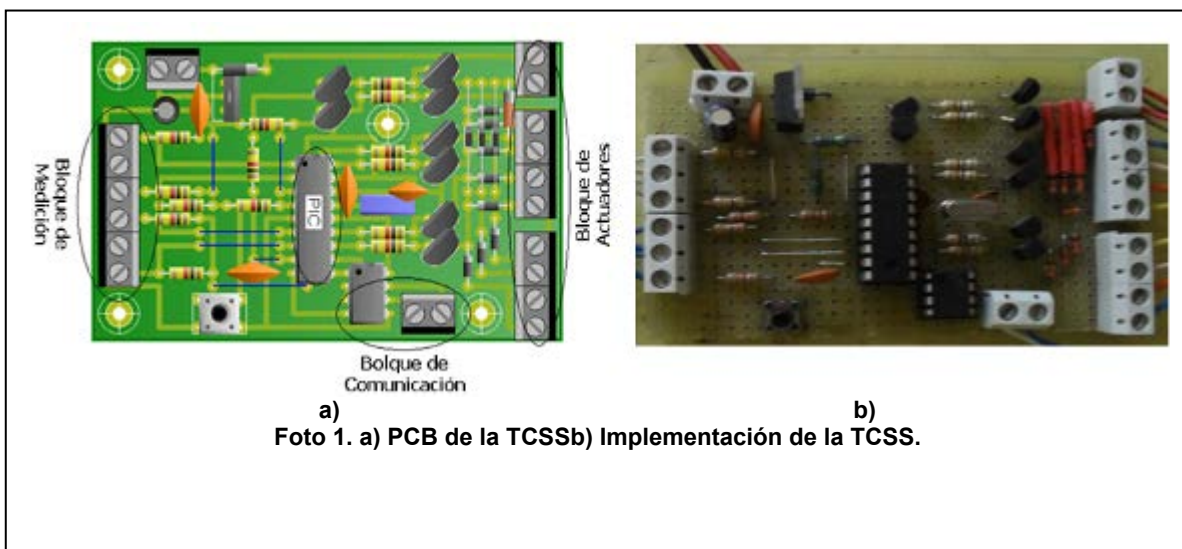
Estructura de los Motores de Pasos: Es una estructura de mayor tamaño, ya que debe soportar a los motores de pasos y realizar los movimientos en los ejes horizontal y vertical. El primer motor está acoplado debajo de una base de 10x10x3 cm de largo, ancho y altura, pues debe soportar el peso de toda la estructura en general y tiene que hacer girar a un cilindro de 10 cm de altura por 7 cm de diámetro, para lograr el movimiento azimut. El segundo motor se encuentra en una pequeña base de unos 5 cm en todas sus dimensiones donde se encuentra los tubos cilíndricos de las fotorresistencias. Estas van acopladas por un engranaje reductor de 3 a 2, es decir, al dar tres vueltas el motor, los tubos se mueven dos solamente, para lograr un menor desplazamiento en el eje vertical. Para una mejor visualización de esta estructura se muestra su esquema en la figura 5b.



## RESULTADOS

### Implementación del seguidor solar

La implementación del Seguidor Solar a dos ejes por punto luminoso se llevó a cabo en el laboratorio de investigaciones del GERA, la Tarjeta Controladora del Seguidor Solar (TCSS) se muestra en la foto 1.



Por otra parte la parte mecánica se desarrolló según se observa en la foto 2a, acoplando las estructuras de las fotorresistencias y la de los motores de pasos. En la foto 2b, se ofrece el seguidor solar implementado en el laboratorio del GERA, alimentado por una fuente de alimentación variable de 0 a 30 V DC, ajustada para 12V.

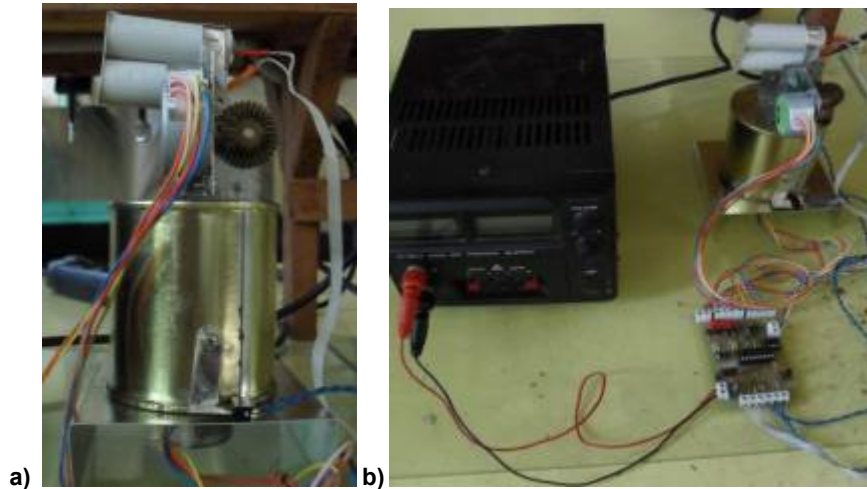


Foto 2: Implementación del seguidor. a) parte mecánica. b) montaje de prueba.

### Prueba Experimental

Para el cálculo del error se tiene en cuenta (ver figura. 6):

- Apertura es de 1 mm.
- Longitud del tubo 35 mm.
- El máximo valor de la fotorresistencia se obtiene cuando el sol incide en el centro del sensor.
- Se proyectan líneas imaginarias desde la apertura de 1mm hasta el centro del elemento sensor, de manera que se abarque un diámetro de 1 mm.
- Al cortarse entre sí, estas líneas generan un ángulo de 3.27 grados opuesto por el vértice al ángulo que describe la trayectoria del sol.

Por lo que se puede asumir que el error de este dispositivo es de 3.27 grados.

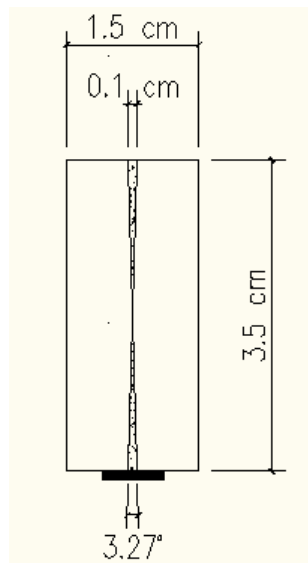


Fig. 6. Tubo cilíndrico-Fotorresistencia.

En los laboratorios del GERA se llevó a cabo una prueba para comprobar que el seguidor solar trabaja de forma satisfactoria. Se puso una pequeña bombilla en varios puntos del laboratorio y el seguidor encontró cada punto donde se ubicaba la bombilla. Posteriormente se procedió a comprobar su funcionamiento en el polígono de pruebas del



GERA, comprobando los ángulos devueltos por el seguidor implementado con los ángulos obtenidos del programa profesional *Shell-Solar*, y se apreciaron diferencias que oscilan entre 0 y 3 grados, corroborando de esta manera que funciona correctamente y cumpliendo las expectativas esperadas.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se diseñó e implementó un seguidor solar de dos ejes por punto luminoso, mediante el cual se puede obtener las coordenadas del Sol en cualquier momento del día. Su diseño fue basado en el uso de dispositivos muy comunes en nuestro país, que son de fácil adquisición a un bajo costo, tales como fotorresistencias, microcontroladores y motores de pasos. Para este diseño se construyó una tarjeta controladora y toda la parte mecánica del dispositivo, y luego se realizó la prueba experimental en el polígono del GERA donde se corroboró que el seguidor tiene un desempeño exitoso y el error con respecto a los cálculos matemáticos de la posición del sol es despreciable.

Como se corroboró que en días soleados el sistema funciona correctamente detectando el punto de mayor iluminación, entonces no se hace necesario validar el funcionamiento del mismo en el caso de los días nublados.

## CONCLUSIONES

Se realizó el diseño y la implementación de un seguidor solar, el cual incide en la optimización de las instalaciones que se encuentran en el polígono del GERA, de acuerdo a sus características particulares: paneles fotovoltaicos y calentadores de agua. Su diseño fue basado en el uso de dispositivos muy comunes en nuestro país, que son de fácil adquisición a un bajo costo, lo que demuestra la robustez de su construcción.

El uso de este seguidor solar significa un paso de avance para nuestro país en el campo de la optimización de las fuentes renovables de energía, en este caso la solar, pues permitirá en un futuro un mayor aprovechamiento de la energía. Si se logra hacer un sistema de seguimiento solar aumentaría la radiación captada por los paneles y a la vez la energía producida, lo que significaría un ahorro considerable para el país.

El seguidor solar garantiza una mejor utilización de las fuentes renovables de energía, cuya utilización permite la sustitución de combustibles fósiles, reduciendo así las emisiones de gases a la atmósfera, provocando el llamado efecto invernadero. De esta manera se da un importante paso hacia una de las premisas planteadas en la Revolución Energética Cubana de "Obtener energía eficientemente, al mínimo costo posible y usarla racionalmente".

## REFERENCIAS

- [1]. BROWN, M.H.; FRIDLEY D., "El Uso Eficiente de la Energía. La eficiencia energética: algo que es más fácil decir que hacer". E-journal USA, 2009, vol.14, n.4, p.4-8, USA: Departamento de Estado de USA, Oficina de Programa de Información Internacional, [consultado: 30 de abril de 2015], Disponible en: <http://www.america.gov/publications/ejournalusa.html>, ISSN 1948-4399.
- [2]. ESCOBAR MEJIA, A., et al., "Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para la optimización de un sistema fotovoltaico". *Scientia et Technica*, 2010, vol.1, n.44, p. 245-250, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, [consultado: 15 de febrero de 2013], Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1841/1151>, ISSN 0122-170.
- [3]. ENRIQUEZ, J.M., et al., "A reliable, fast and low cost maximum power point tracker for photovoltaic applications". *Solar Energy*, 2010, vol.84, n.1, p. 79-89, [Consultado: 18 de febrero de 2013], Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038092X09002527>, ISSN 0038-092X.
- [4]. MARTINEZ LINARES, J., "Rentabilidad de seguidores solares: Cálculo del gasto crítico de mantenimiento". *Energética XXI*, 2006, vol.12, n.58, p. 34-36, España: Omnimedia, S.L., ISSN 1577-7855.
- [5]. TIAN, P.C., "Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system". *Applied energy*, 2009, vol.86, n.10, p. 2071-2078, [consultado: 30 de abril de 2015], Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909000403>, ISSN 0306-2619.
- [6]. VELIGORSKYI, O., et al., "High-efficiency solar tracker development and effectiveness estimation". En: *IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, 2014, p. 153– 58, Disponible en: doi: dx.doi.org/10.1109/IEPS.2014.6874169, ISBN: 978- 1-4799-2265.
- [7]. KELLY, N.A.; Gibson, T.L., "Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system". *Solar Energy*, 2009, vol.83, n.11, p. 2092-2102, [consultado: 30 de abril de 2015], Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S038092X09001923>, ISSN 0038-092X.

- [8]. AMIR ABAS, M., *et al.*, "Improved Structure of Solar Tracker with Microcontroller Based Control". En: *2010 Second International Conference on Advances in Computing, Control and Telecommunication Technologies (ACT)*, 2010, p. 55–59, Disponible en: doi: dx.doi.org/10.1109/ACT.2010.28, E-ISBN: 978-0-7695-4269-0.
- [9]. RASHID, M. H., "Circuitos Microelectrónicos: Análisis y Diseño". Madrid: Editorial International Thomson, 2000, p. 82-123, ISBN: 968-7529-79-2.
- [10]. FOROUZAN, B.A., "Transmisión de datos y redes de comunicación". España: Editorial McGraw-Hill/ Interamericana, 2002, p. 286-315, [consultado: 30 de abril de 2015], Disponible en: <http://www.intercambiosvirtuales.org/libros-manuales/transmision-de-datos-y-redes-de-comunicaciones-2da-edicion-mcgraw-hill>, ISBN 8448133900.

## AUTORES

### **Noel Machado Toranzo**

Ingeniero en Automática, Profesor Instructor, Grupo de Energía Renovable Aplicadas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas, s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

e-mail: [noel@fim.uo.edu.cu](mailto:noel@fim.uo.edu.cu)

### **Ania Lussón Cervantes**

Ingeniero en Automática, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular, Dpto. Control Automático, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas, s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

e-mail: [alusson@fie.uo.edu.cu](mailto:alusson@fie.uo.edu.cu)

### **Leandro Leysdian Oro Carralero**

Ingeniero en Automática, Profesor en Adiestramiento, Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.

e-mail: [loro@fm.uho.edu.cu](mailto:loro@fm.uho.edu.cu)

### **Jorge Bonzon Henríquez**

Licenciado en Física Nuclear, Profesor Asistente, Grupo de Energía Renovable Aplicadas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas, s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

e-mail: [bonzon@fim.uo.edu.cu](mailto:bonzon@fim.uo.edu.cu)

### **Orlando Escalona Costa**

Ingeniero en Mecánica, Profesor Asistente, Grupo de Energía Renovable Aplicadas, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Ave. Las Américas, s/n, Santiago de Cuba, Cuba.

e-mail: [orlando@fim.uo.edu.cu](mailto:orlando@fim.uo.edu.cu)