

## **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA**

**Dante M. Rocha<sup>1</sup>, Jorge A. González<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Simulación de Potencia Eléctrica (LASPE)  
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán  
Tel: 381 6323271 e-mail: jgonzalez@herrera.unt.edu.ar

*Recibido: 08/08/12; Aceptado: 01/10/12*

**RESUMEN:** Este trabajo trata del diseño, construcción y control de un Seguidor Solar (SSo) de dos ejes de giro independientes (azimutal y de inclinación), que realiza el seguimiento del Sol y posiciona automáticamente a un Panel Fotovoltaico (PFV) de manera perpendicular a la radiación solar directa, con el fin de obtener la máxima producción de energía eléctrica. El sistema electromecánico fue construido en base a un diseño propio y controlado por medio de un Controlador Lógico Programable (PLC). Para estudiar la operación del sistema, se midieron tensiones y corrientes producidas por el PFV bajo distintas situaciones, gestionándose las mediciones a través del software LabView. Para estimar la radiación solar recibida por una superficie plana y la producción anual de energía eléctrica que produce el PFV, se usó el software RETScreen International. Se construyó un SSo de dos ejes, se verificó su buen comportamiento bajo diferentes condiciones de operación y se valoró, entre otras cosas, la energía eléctrica generada por el PFV.

**Palabras Claves:** Seguidor Solar, Panel Fotovoltaico, PLC, LabView, RETScreen

### **INTRODUCCIÓN**

Una de las maneras de maximizar la cantidad de energía eléctrica producida por un PFV o un arreglo de los mismos, es montarlos sobre SSo construidos con el objetivo de captar una mayor cantidad de radiación solar directa. Estos pueden clasificarse según la cantidad de ejes de seguimiento en, fijos, de un eje y de dos ejes. Es importante señalar también, que los SSo son indispensables en los sistemas de Concentración Solar de Potencia y en los de Concentración Fotovoltaica.

En referencia al incremento de producción de energía logrado con los SSo, existe numerosa bibliografía, entre estas la de Gay et al. (1982) que plantea que para igualar la cantidad de energía obtenida por un sistema de montaje fijo y uno con dos ejes de seguimiento en un dado sitio, el primero de los sistemas debe incrementar aproximadamente en un 40% la superficie de PFV, o Appleyard (2009) que dice que si se toma como referencia la generación de energía de los PFV fijos colocados en su ángulo óptimo, los montados en SSo de un eje incrementan su producción entre 27 y 32% , y los de dos ejes, entre 33 y 38% (estos % dependen de la latitud del sitio elegido para la instalación).

Una de las formas de controlar un SSo es por medio de un PLC. En este sentido, Abdallah y Nijmeh (2004) diseñaron y construyeron un SSo de dos ejes controlado por un PLC con control de lazo abierto, mientras que Barakat et al. (2001) lo hicieron con un PLC con control de lazo cerrado. Al-Mohamad (2004) diseñó un SSo también controlado por PLC, con todos los circuitos electrónicos adicionales y el software necesario para ejecutar las tareas.

Cada tecnología posee su propio requerimiento de instrumentos para ser medido y controlado. El software LabView se convirtió en uno de los instrumentos más usados para capturar, ver, controlar y medir variables, tanto en el mundo académico como en el industrial, Pecén (2004). Es así que en el área de las energías renovables este software es muy utilizado para adquirir y gerenciar los parámetros eléctricos medidos.

El software libre RETScreen Internacional (2003), es usado en diversos estudios de factibilidad de proyectos de energía limpia, permitiendo entre otras cosas, estimar la radiación solar en un dado sitio y la energía producida por un arreglo fotovoltaico fijo o colocado en un SSo de uno o dos ejes, tal como se aprecia en el análisis realizado por Pinard y Maissan (2012).

En el presente trabajo se muestran los pasos dados para realizar un SSo de dos ejes controlado por un PLC, sobre el que se monta un PFV. Las medidas eléctricas fueron obtenidas y gerenciadas por medio del software LabView y los resultados de energía anual producida por un PFV de 55 Wp, encontradas por medio del software RETScreen Internacional.

### **EL SEGUIDOR SOLAR**

El SSo es un sistema electromecánico que ubica una superficie, por ejemplo un PFV, en una posición tal que la radiación directa del Sol incida de manera normal sobre el mismo, maximizando dicha incidencia y por lo tanto maximizando la potencia eléctrica obtenida. Se puede observar en la ecuación (1), que la potencia P entregada por el PFV es directamente proporcional al nivel de irradiancia G, al área A del panel y a su eficiencia de conversión  $\eta$ .

$$P [W] = \eta * G [W/m^2] * A [m^2] \quad (1)$$

Si se realiza un ensayo normalizado de un panel o de una fotocélula, se obtiene su curva característica I-V. La curva correspondiente al PFV usado (Yingli de 55 Wp) se muestra en la Figura 1 y fue entregada por el fabricante. La potencia pico  $P_p$  es la potencia eléctrica máxima que puede suministrar el dispositivo fotovoltaico en condiciones de ensayo normalizado, resultando en este caso del producto de la corriente I (3,14 A) y la tensión V (17,5 V).

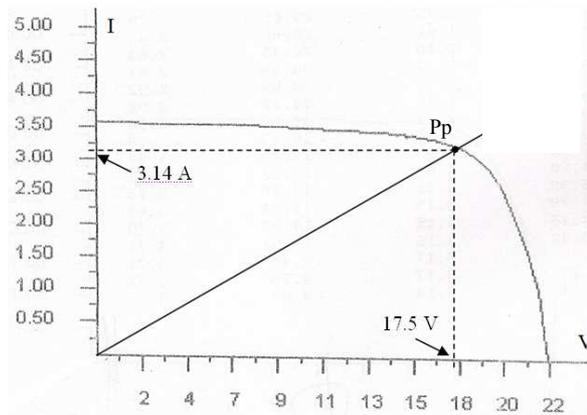


Figura 1: Curva característica I-V normalizada del PFV usado

La forma de posicionar al SSo, puede basarse en dos ideas diferentes. Una de ellas, es obtener una señal eléctrica dependiente de la radiación solar directa, que le indique al controlador si el SSo está bien ubicado respecto de la dirección de dicha radiación. La otra, es proveer al SSo de un programa computacional astronómico que le diga al controlador donde se encuentra el Sol. Se eligió la primera idea porque se quería trabajar con señales analógicas provenientes de sensores y vincularlas con un PLC.

Para poder realizar el análisis del seguidor, se definen los ángulos que permiten conocer la posición tanto del Sol como la del PFV (Figura 2).

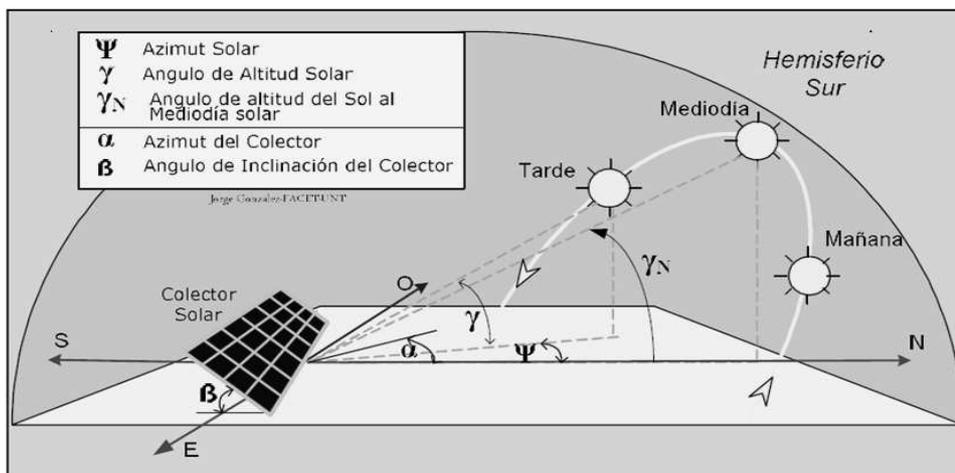


Figura 2: Ángulos que permiten conocer la posición del Sol y del PFV

Ángulos de la Posición del Sol:

Ángulo azimutal solar ( $\psi$ ) - Es el ángulo que forma la proyección sobre la superficie terrestre de la línea que une al observador con el Sol y la dirección norte-sur.

Ángulo de altura solar ( $\gamma$ ) - Es el ángulo formado por la línea que une al observador con el Sol y la proyección de la misma sobre la superficie terrestre.

Ángulos de la Posición del PFV:

Ángulo azimutal del panel ( $\alpha$ ) - Es el ángulo formado por la proyección sobre la superficie terrestre de la normal a la superficie del panel y la dirección norte-sur. El programa RETScreen usado en este trabajo, toma la convención  $\alpha=0^\circ$  para referirse a un plano que mira hacia el sur (opuesta a la mostrada en la Figura 2),  $\alpha=90^\circ$  cuando el plano mira hacia el oeste,  $\alpha=180^\circ$  cuando el plano mira hacia el norte,  $\alpha=270^\circ$  cuando el plano mira hacia el este.

Ángulo de inclinación del panel ( $\beta$ ) - Es el ángulo comprendido entre el plano del panel y el plano horizontal. Cuando el panel se encuentra horizontal, el ángulo de inclinación es  $0^\circ$ , mientras que si está vertical el ángulo es de  $90^\circ$ .

En el caso que el panel posea un sistema de seguimiento azimutal, la proyección del vector normal del panel coincide con la proyección sobre la superficie terrestre de la línea que une el panel con el Sol, por lo tanto el ángulo azimutal del panel ( $\alpha$ ) coincide con el ángulo azimutal solar ( $\psi$ ).

## CONSTRUCCIÓN DEL SEGUIDOR SOLAR

El SSo de dos ejes fue diseñado y construido para seguir al Sol tanto en azimut como en elevación, con el objetivo de ubicar al PVF perpendicular a la radiación solar directa y producir así máxima potencia. Para llevar al panel a esta posición se necesitan dos ejes de giro: uno vertical y otro horizontal, como se observa en la Figura 3. El eje de giro vertical es el encargado de corregir la posición del panel para seguir al Sol en su posicionamiento azimutal. El eje de giro horizontal es el encargado de corregir la inclinación del panel para seguir al Sol cuando cambia su ángulo de altura solar.

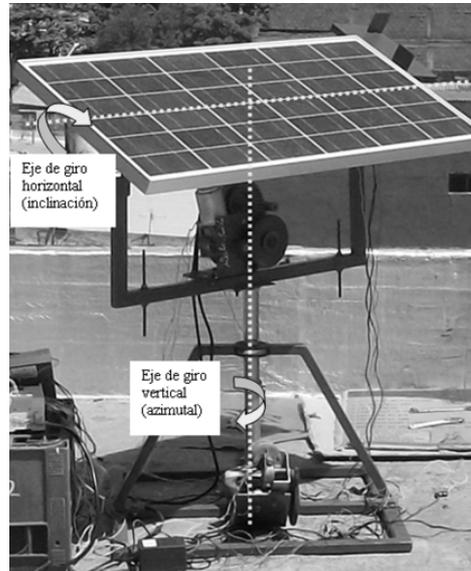


Figura 3: SSo con dos ejes de giro, uno vertical y otro horizontal

Para llevar adelante el trabajo, se buscó numerosa información gráfica de diferentes tipos de seguidores, realizándose luego una maqueta de diseño propio con el fin de probar dimensiones y movimientos que tendría el SSo, verificándose además su estabilidad física bajo diferentes situaciones. Definido el diseño final se comenzó a construir la estructura metálica, calculándose tanto la potencia necesaria de los motores, como la caja de reducción para obtener la velocidad de rotación de los ejes deseada. Los dos motores con sus respectivos sistemas de reducción de velocidad, mueven de manera independiente cada eje de giro. La realización electromecánica del SSo no fue una tarea sencilla, sobre todo la fase de ensamble y funcionamiento coordinado de los elementos (estructura, motores y engranajes).

Se observa en la Figura 4 el sistema electromecánico totalmente armado (estructura metálica, ejes, engranajes y motores).

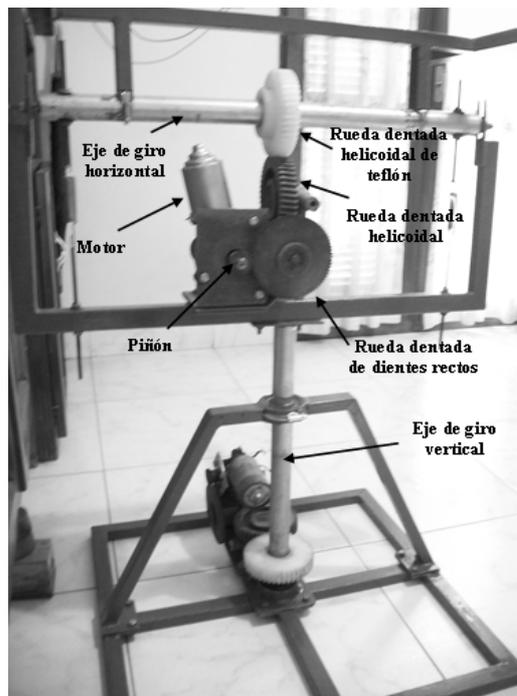


Figura 4: Sistema electromecánico del SSo

## LÓGICA DEL SEGUIMIENTO SOLAR

El SSo se diseñó para seguir al Sol usando señales eléctricas originadas en una placa con sensores LDR colocados en un mismo plano que el PFV. Esta placa posee un total de 4 LDR, los cuales se agrupan de a 2, separados por un tabique (Figura 5).

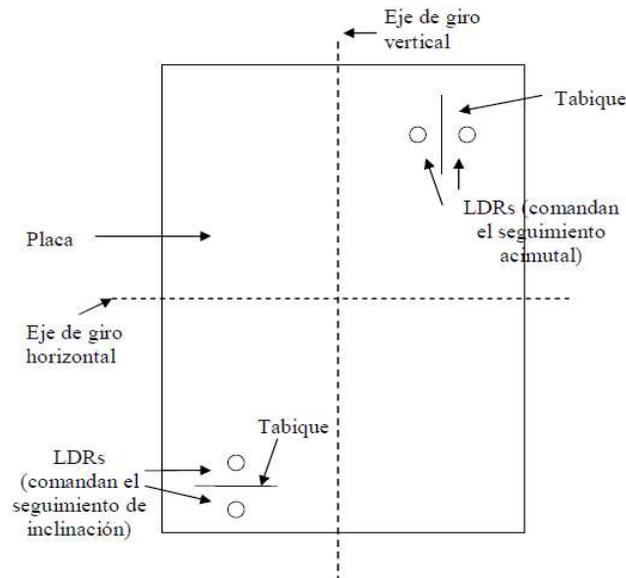


Figura 5: Vista esquemática de la placa con dos grupos de sensores

Cada grupo de LDR se encarga de enviar una señal eléctrica que se usará para controlar cada uno de los dos movimientos del seguidor. El grupo colocado en la parte superior es el encargado de comandar el seguimiento azimutal solar, mientras que el situado debajo comanda el seguimiento de elevación solar. El circuito electrónico realizado a tal fin, compara las tensiones en los bornes de los LDR y entrega una salida proporcional a la diferencia de estas tensiones.

Suponer que a una determinada hora del día, por ejemplo a las 8 de la mañana, se coloca la placa de manera perpendicular a los rayos del Sol por lo que los tabiques no producen sombra sobre los LDR, y se la deja en esa posición fija. Con el paso de los minutos los tabiques comenzarán a producir sombra debido al movimiento relativo del Sol respecto de la Tierra (Figura 6).

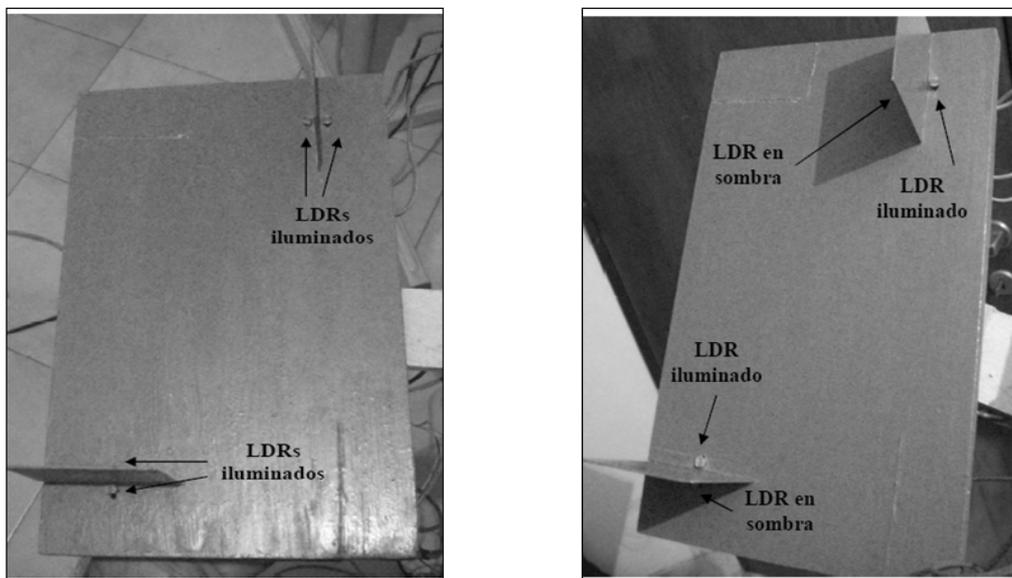


Figura 6: Placa de sensores en posición perpendicular y oblicua a la radiación solar directa

Si se observa la fotografía de la derecha, se puede percibir que el LDR situado a la izquierda del tabique superior está bajo sombra debido a que los rayos del Sol provienen de la derecha de la placa, mientras que el LDR situado a la derecha permanece iluminado. Esto hace que exista una diferencia en el valor de tensión entre estos LDRs, produciéndose una señal eléctrica. Como el Sol se encuentra por arriba del tabique inferior, el LDR superior está iluminado y el LDR inferior bajo sombra, produciéndose también una diferencia en el valor de tensión y otra señal eléctrica. Entonces, para colocar nuevamente a la placa de manera perpendicular a los rayos del Sol, la placa debería girar sobre su eje vertical para corregir la variación de su ángulo azimutal, y sobre su eje horizontal para corregir su ángulo de elevación, de manera que nuevamente los tabiques no produzcan sombra y ambos LDRs estén iluminados por igual.

La señal de cambio de posición del SSo se programó para que ocurra cada 15 minutos. Si se considera que el desplazamiento angular del Sol por la bóveda terrestre en este tiempo, es de poco menos de 4°, resulta entonces una variación mínima de radiación solar incidente sobre el PFV. Una vez que se realiza cada corrección, el PLC imposibilita durante 15 minutos el comando de los contactos que alimentan los motores. Transcurrido este tiempo, el PLC es capaz de comandar nuevamente el cierre o apertura de la alimentación de los motores según las señales provenientes de los sensores. En presencia de nubes que ocultan el Sol, el SSo permanece inactivo, pero una vez que el Sol aparece de nuevo, el PLC tiene incorporada la lógica que hace que el SSo se repositone basándose en la señal proveniente de los sensores. Durante un período de nubosidad prolongada, es posible que los LDRs mostrados en la Figura 6 no vean el Sol cuando aparece de nuevo. En este caso actúa un sensor de respaldo que lo detecta y envía una señal que permite ubicar correctamente al SSo.

Cuando finaliza el día, se hace regresar al SSo a su posición inicial (mirando hacia el este) por medio de una señal proveniente de un microinterruptor situado en la parte inferior del seguidor.

Para cumplir con la lógica de seguimiento se usa un PLC (marca Twido TWDLCAA24DRF de Schneider Electric), que es un autómata programable que interpreta las señales provenientes de los circuitos de seguimiento y basándose en la lógica programada, comanda el giro de la estructura mediante los motores. En la Figura 7 se observa el diagrama de bloques básico correspondiente a la programación introducida en el PLC mediante lenguaje ladder.

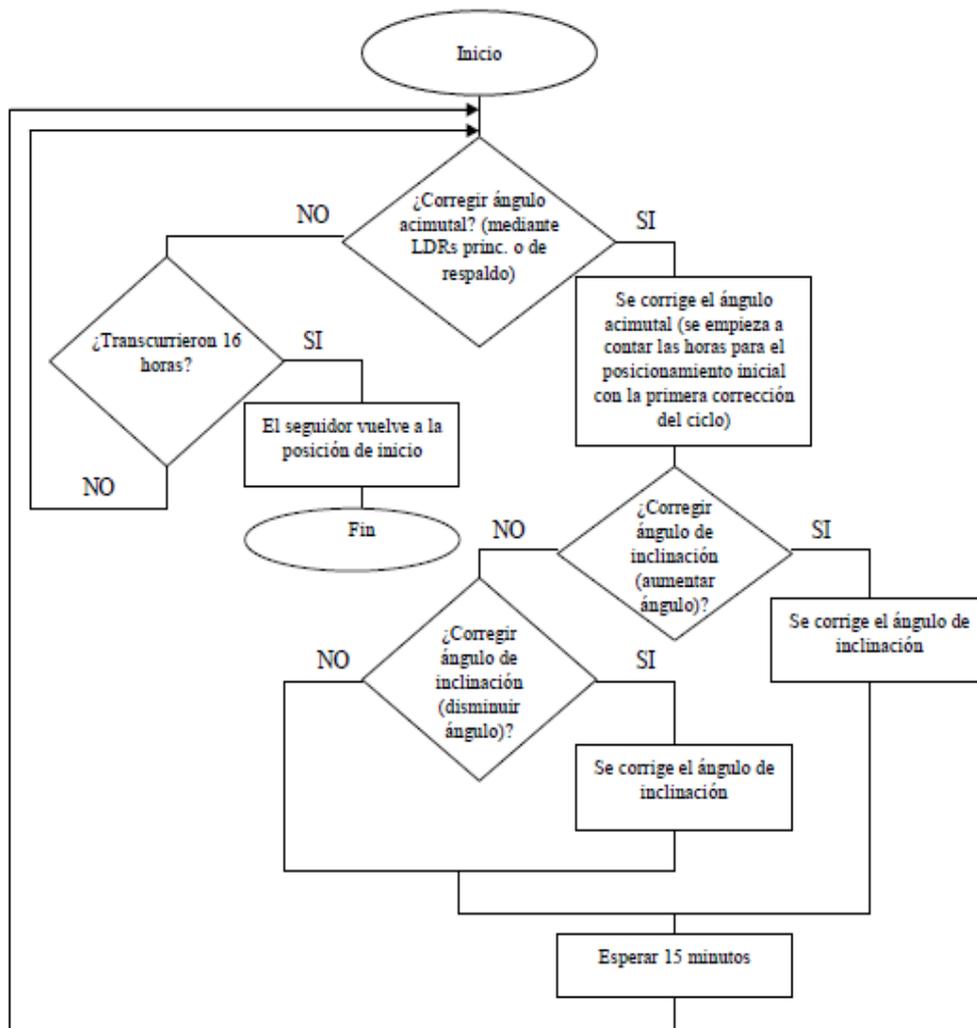


Figura 7: Diagrama de bloques de la programación de la lógica de seguimiento

## FUNCIONAMIENTO DEL SEGUIDOR SOLAR Y OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL PFV

El PFV (marca Yingly de 55 Wp) fue montado en el SSo y todo el equipo instalado en la terraza de un edificio libre de sombras de la ciudad de S.M. de Tucumán, para realizar durante varios días las pruebas de funcionamiento. El PFV fue cargado con una resistencia óhmica de 4,83 ohm y se realizaron mediciones de tensión y corriente mediante la placa NI USB-6008, usando el software LabView para la adquisición y transferencia automática de los datos obtenidos (Figura 8). Se utilizó una resistencia a los fines de llevar a cabo fácilmente las mediciones eléctricas y poner a punto el equipo.

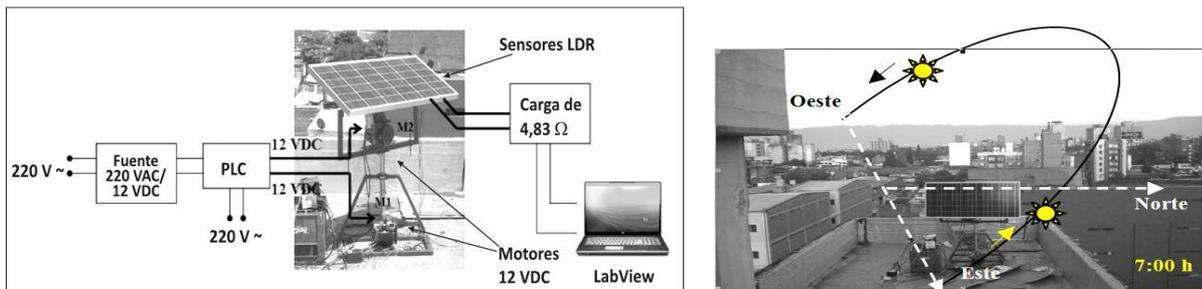


Figura 8: Esquema de conexión del sistema para realizar mediciones y el equipo instalado en la terraza de un edificio

Se puede observar en la fotografía de la Figura 8, la trayectoria solar y el equipo posicionado a las 7:00 hs para comenzar a realizar el seguimiento del Sol en dos ejes, en un día claro a finales de primavera. En la Figura 9 se observan tres posiciones sucesivas del seguidor.



Figura 9: Posiciones sucesivas del SSo a las 12, 15 y 18 hs

Las mediciones eléctricas de tensión y corriente son usadas para calcular la potencia producida por el PFV, la que se grafica en función de los minutos del día y del tipo de seguimiento empleado (un eje, dos ejes y fijo). En la Figura 10 se muestran las curvas de potencia obtenidas de las mediciones realizadas durante diversos días de finales de primavera del año 2011, con condiciones de cielo claro (sin ningún tipo de nubosidad) y sin sombreado, en la ciudad de S. M. de Tucumán.

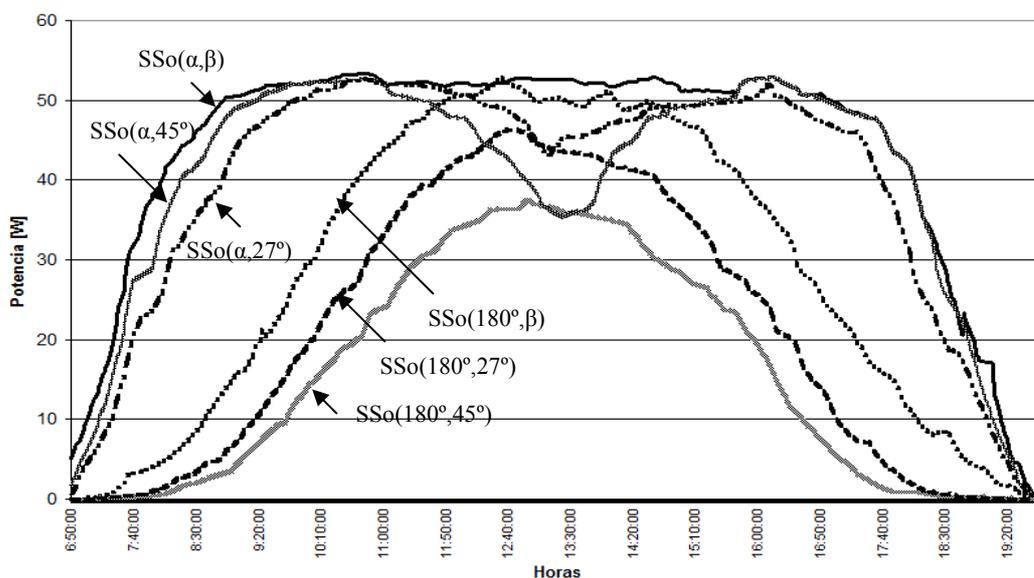


Figura 10: Potencia producida por el PFV en función de las horas del día usando distintos tipos de seguimientos

Realizando la integración de estas curvas de potencia en el tiempo, se puede encontrar la energía generada por el PFV en el día del ensayo, para cada uno de los tipos de seguimiento. Con estos resultados se construye la Tabla 1, donde por ejemplo SSo ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) representa a un seguidor solar de dos ejes (ángulo azimutal  $\alpha$  variable y ángulo de inclinación  $\beta$  variable) y SSo ( $\alpha$ ,  $45^\circ$ ) representa a un seguidor solar de un solo eje (ángulo azimutal  $\alpha$  variable y ángulo de inclinación  $\beta=45^\circ$  fijo). Una fila tal como la 4 se lee de la siguiente manera: dado el PFV de 55 Wp colocado en el SSo ( $180^\circ$ ,  $\beta$ ), que es un seguidor solar de un solo eje (ángulo azimutal  $\alpha=180^\circ$  y ángulo de inclinación  $\beta$  variable), la energía E que produce durante el día de medición, es igual a 0,3678 [kWh], siendo que esta energía es un 64,5 % de la energía máxima obtenida por el PFV colocado en el SSo ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), considerado como referencia.

| Tipo de seguimiento           | E [kWh/día] | Porcentual de energía respecto de la producida por el SSo ( $\alpha, \beta$ ) |
|-------------------------------|-------------|---|
| SSo ( $\alpha, \beta$ )       | 0,5698      | 100%  |
| SSo ( $\alpha, 45^\circ$ )    | 0,5221      | 91,6%   |
| SSo ( $\alpha, 27^\circ$ )    | 0,5083      | 89,2%   |
| SSo ( $180^\circ, \beta$ )    | 0,3678      | 64,5%   |
| SSo ( $180^\circ, 27^\circ$ ) | 0,2658      | 46,6%   |
| SSo ( $180^\circ, 45^\circ$ ) | 0,2021      | 35,4%   |

Tabla 1: Energía diaria producida por el PFV y energía producida relativa, usando distintos tipos de seguimiento

Se observa que el PFV montado en un seguidor de dos ejes S ( $\alpha, \beta$ ) es el que mayor energía produce. Por otro lado, uno montado por ejemplo en un SSo ( $\alpha, 27^\circ$ ) produce mayor cantidad de energía que uno montado en un SSo ( $180^\circ, \beta$ ). Para poder sacar conclusiones más generales, se deberán realizar ensayos más extendidos en el tiempo siguiendo esta metodología.

### ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ANUAL PRODUCIDA POR EL PFV USANDO EL SOFTWARE RETSCREEN

Los datos obtenidos y analizados provenientes de las mediciones eléctricas, son todavía insuficientes para realizar estudios anuales. Por esta razón se empleó el software RETScreen Internacional para estimar la irradiación solar diaria media mensual recibida por el PFV (Yingli de 55 Wp) en la ciudad de S. M. de Tucumán y para calcular la energía anual que inyecta a una red eléctrica, cuando se monta en diferentes tipos de SSo (dos ejes, un eje, fijo). El software usa el modelo ampliado de radiación solar de Klein y Theilacker para poder incluir el caso de superficies en movimiento (seguidores solares), ver Duffie y Beckman (1991), mientras que el modelo fotovoltaico se basa en el trabajo de Evans (1981) y tiene en cuenta los efectos de temperatura y orientación.

Se muestra en Tabla 2(a), y a modo de ejemplo, los valores de la irradiación diaria media mensual que recibe una superficie plana montada en un seguidor de dos ejes SSo ( $\alpha, \beta$ ) y sobre una montada en un seguidor fijo SSo ( $180^\circ, 27^\circ$ ), es decir mirando al norte y con una inclinación de  $27^\circ$ . Estos valores son extraídos directamente de los que brinda el software. Al final de esta Tabla y sombreado, se encuentra el valor de irradiación diaria media anual para cada uno de los dos modos de seguimiento. Cabe señalar que estos valores son superiores a los señalados en el mapa solar argentino.

En Tabla 2(b) se presenta para cada tipo de seguidor, la irradiación diaria media anual incidente, la energía anual generada por el PFV y el ahorro de emisión de CO<sub>2</sub> producido durante sus 20 años de vida útil (valor estimado).

|              | Modo de rastreo solar                                       |   |
|--------------|---|---|
|              | Dos Ejes  | Fijo  |
| Azimet       | $\alpha$ variable   | 180 [°]   |
| Inclina.     | $\beta$ variable  | 27 [°]  |
| Mes          | Radiación solar diaria media al mes [kWh/m <sup>2</sup> /d] | Radiación solar diaria media al mes [kWh/m <sup>2</sup> /d] |
| Enero        | 7,88  | 5,74  |
| Febrero      | 7,2   | 5,7   |
| Marzo        | 7,52  | 5,93  |
| Abril        | 7,68  | 5,89  |
| Mayo         | 6,96  | 5,44  |
| Junio        | 7,01  | 5,31  |
| Julio        | 7,15  | 5,47  |
| Agosto       | 8,03  | 6   |
| Setiem.      | 8,62  | 6,57  |
| Octubr       | 8,23  | 6,35  |
| Nov.         | 8,65  | 6,17  |
| Dicie.       | 8,29  | 5,91  |
| <b>Anual</b> | <b>7,77</b>   | <b>5,87</b>   |

| Tipo de Seguidor              | Radiación Solar diaria media anual [kWh/m <sup>2</sup> /d] | Energía Anual Generada por el PFV [kWh/año] | Ahorro Emisión CO <sub>2</sub> [kg] |
|-------------------------------|--|---|-------------------------------------|
| SSo ( $\alpha, \beta$ )       | 7,77   | 145   | 1450                                |
| SSo ( $\alpha, 45^\circ$ )    | 7,37   | 139   | 1390                                |
| SSo ( $180^\circ, \beta$ )    | 7,34   | 138   | 1380                                |
| SSo ( $\alpha, 27^\circ$ )    | 6,99   | 131   | 1310                                |
| SSo ( $180^\circ, 27^\circ$ ) | 5,87   | 110   | 1100                                |
| SSo ( $180^\circ, 45^\circ$ ) | 5,64   | 106   | 1060                                |

Tabla 2(a) y 2(b): Resultados de irradiación y energía generada, brindados por el RETScreen

Se observa que los valores calculados por el software de la energía anual generada por el PFV, resultan altos si se los compara con los mostrados en otros trabajos. Esto se debe a que en la simulación no se consideraron pérdidas en las instalaciones del sistema y a que los valores de radiación solar estimados por el programa para la ciudad de S. M. de Tucumán son altos.

Para el cálculo del ahorro de emisiones, se tomó como factor de emisión de CO<sub>2</sub> del sistema eléctrico de Argentina, 0,5 [kg CO<sub>2</sub> /kWh]. Se puede observar que el PFV montado en el seguidor de dos ejes S ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) es el que lógicamente genera mayor cantidad de energía y por lo tanto el que permite ahorrar mayor cantidad de CO<sub>2</sub> durante sus 20 años de funcionamiento.

## CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un sistema electromecánico formado por una estructura metálica, engranajes, dos ejes y dos motores de continua, con el objetivo de seguir al Sol tanto en su sentido azimutal como en altura solar. El mismo se controló por medio de un PLC que se programó para tomar en cuenta diferentes situaciones que pueden suceder durante una jornada (cielo claro, cielo nublado, oscuridad, amanecer, atardecer, reseteo, espera, etc.). Se usaron dos pares de LDRs para brindar señales eléctricas de entrada al PLC y a su vez éste, luego de procesarlas, enviar una señal a cada uno de los motores cada 15 minutos para que posicionen al SSo de manera perpendicular a los rayos solares. Luego se montó sobre el SSo un PFV de 55 Wp y todo el conjunto se instaló en la terraza de un edificio para realizarle distintas pruebas, considerando seguimientos diferentes (fijo, un eje, dos ejes), verificándose la correcta actuación del sistema electromecánico y la lógica programada. También se efectuaron en S. M. de Tucumán durante finales de primavera del año 2011, las mediciones de tensión y corriente eléctrica que se gerenciaron por medio del software LabView, obteniéndose la potencia y energía diaria producida por el PFV considerando distintos tipos de SSo. Como era de suponer, el SSo de dos ejes es el que mayor cantidad de radiación recibe y por lo tanto un panel o un arreglo fotovoltaico montado sobre el mismo, producirá la máxima cantidad de energía eléctrica.

El resultado del trabajo fue el diseño, la construcción y el control de un SSo, cuyo funcionamiento fue testeado y verificado en campo bajo diferentes escenarios y tipos de seguimiento. Otros resultados importantes alcanzados fue adquirir y transmitir los datos a un computador por medio del software LabView y armar una metodología de cálculo de la energía anual producida y de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> en función del tipo de seguimiento, usando el software RETScreen International.

Se propone en el futuro inmediato, estudiar cual es el SSo más adecuado para S.M. de Tucumán, por lo que además de consideraciones técnicas y ambientales, se deberá analizar la dimensión económica del problema, que en esta primera parte del trabajo no se tuvo en cuenta.

## REFERENCIAS

- Abdallah S, Nijmeh S. (2004). Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management* 45:1931–1939.
- Al-Mohamad A. (2004). Efficiency improvements of photovoltaic panels using a Suntracking system. *Applied Energy* 79:345–354.
- Appleyard D. (2009). Solar Trackers: Facing the Sun. *Renewable Energy World* 12, 3, 41-53.
- Barakat B., Rahab H., Mohmedi B. y Nait N. (2001). Design of a tracking system to be used with photovoltaic panels. *Proceedings of the fourth Jordanian International mechanical engineering conference JIMEC*; 471–488.
- Duffie J., Beckman W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Edition. John Wiley & Sons.
- Evans, D. (1981). Simplified Method for Predicting Photovoltaic Array Output. *Solar Energy* 27,6, 555-560.
- Gay C., Yerkes J. y Wilson J. (1982). Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy systems. 16th Photovoltaic Specialists Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1368-1371
- Pecen R., Salim D. y Zora A. (2004). A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station. *Journal of Industry Technology*, 20, 3.
- Pinard J. y Maissan J. (2012). *Deline Wind and Solar Energy Prefeasibility Analysis*. Aurora Research Institute.
- RETScreen International (2003). *Photovoltaic Project Analysis chapter of Engineering & Cases Textbook*. Natural Resources Canada.

## ABSTRACT

This paper deals with the design, construction and control of a Solar Tracker (ST) of two independent rotation axes (azimuth and tilt), which tracks the sun and automatically positions a Photovoltaic Panel (PP) perpendicular to the direct solar radiation, in order to obtain maximum power output. The electromechanical system was built based on own design and controlled by a Programmable Logic Controller (PLC). To study the operation of the system, voltages and currents produced by the PFV were measured under different situations and managed through the LabView software. To estimate the solar radiation received by a flat area and the annual production of electrical energy produced by the PFV, it was used RETScreen International software. It was built two-axis ST, checked their good performance under various operating conditions and, among other things, assessed the electricity generated by the PP.

**Keywords:** photovoltaic panel, solar tracker, PLC, LabView, RETScreen