

GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CON ADICIÓN DE SEGUIMIENTO CENITAL EN EL CENTRO DE MÉXICO

Filemón Arenas Rosales

CIATEQ, Centro de Tecnología Avanzada, AC

file_arenas@hotmail.com

Fernando Martell Chávez

Centro de Investigaciones en Óptica AC

fmartell@cio.mx

Irma Yolanda Sánchez Chávez

Tecnológico de Monterrey, Campus Aguascalientes

isanchez@itesm.mx

Resumen

Típicamente, el seguimiento solar activo en los sistemas fotovoltaicos se hace mediante la rotación del panel fotovoltaico con inclinación fija alrededor de un eje vertical para el seguimiento azimutal desde la salida hasta la puesta del sol. Este tipo de seguimiento solar se ve favorecido por cuestiones mecánicas. El seguimiento con eje horizontal para variar la inclinación del panel de acuerdo a la elevación del sol busca superar la producción fotovoltaica del esquema de seguimiento acimutal simple. Este trabajo presenta la construcción y evaluación de un sistema con seguimiento cenital añadido en el centro de México, donde la elevación del sol varía notoriamente durante el día. Los resultados muestran que la ganancia en generación energética con seguimiento se debe principalmente a la capacidad de movimiento rotacional con eje vertical. Sin embargo, se aprecia un incremento aunque relativamente menor al incorporar la rotación del panel alrededor del eje horizontal.

Palabra(s) Clave: Generación de Energía, Panel Fotovoltaico, Seguidor Solar.

Abstract

Typically, the active solar tracking in the photovoltaic systems is achieved by the rotation of the photovoltaic panel with fixed inclination around a vertical axis for azimuthal tracking from sunrise to sunset. This kind of solar tracking is favored by mechanical advantages. The tracking with horizontal axis to change the panel inclination according to the sun elevation seeks to improve the photovoltaic production of the azimuthal tracking scheme. This work presents the construction and evaluation of an added zenithal tracking system in the center of Mexico, where the sun elevation varies greatly during the day. The results show that the gain in energy generation with tracking is due mainly to the rotation movement with vertical axis. However, an increment can be observed, although relatively small, by incorporating the rotation of the panel around a horizontal axis.

Keywords: Photovoltaic Panel, Power Generation, Solar Tracker.

1. Introducción

El sol es una fuente de energía renovable abundante [17]. La radiación que alcanza la superficie terrestre es de 1000 W/m^2 [13], véase figura 1. El aprovechamiento de la energía solar implica desarrollos tecnológicos para la captación de energía, su conversión, almacenamiento y distribución. En este artículo se documenta el uso de paneles fotovoltaicos (PF) con sistemas de seguimiento para una mayor recepción de radiación solar.

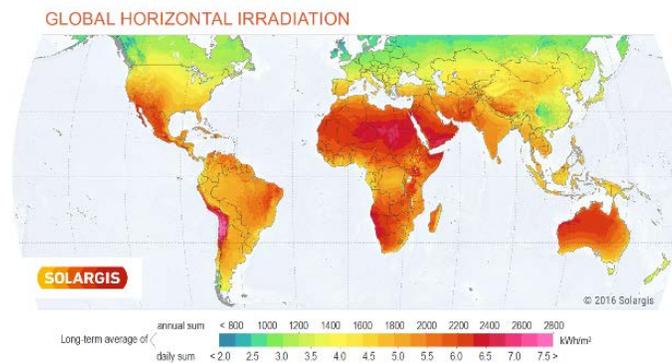


Figura 1 Mapa de irradiación mundial al año [14].

El estudio de generación fotovoltaica con seguimiento se realizó en una localidad representativa del centro de México. El estado de Aguascalientes está ubicado en una latitud Norte de 21.885256° y una longitud de -102.291568°, y cuenta con una altitud de 1876m sobre el nivel del mar [5]. Estas coordenadas geográficas son favorables dentro de la República Mexicana para la captación de energía solar, debido a que la radiación media diaria que se tiene en esta zona es de un rango de 4.73 a 7.20 kWh/m² como se muestra en la tabla 1 [11].

Tabla 1 Promedio Mensual de irradiación solar (kWh/m²/día).

Lat 21.88 Lon -102.29	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	4.73	5.72	6.85	7.20	7.18	6.41	6.07	6.00	5.50	5.49	5.19	4.61

Los PF son mínimamente posicionados con un ángulo fijo igual a la latitud de la ubicación geográfica. Con un sistema de seguimiento solar de un eje vertical, los PF se rotan acimutalmente, es decir, de este a oeste. Los PF con un sistema de seguimiento solar en dos ejes se mueven no sólo acimutalmente, sino también respecto a un eje horizontal que permite seguir la elevación del sol.

El objetivo de este proyecto es contrastar la producción fotovoltaica del sistema que realiza el seguimiento de la trayectoria del sol contra el sistema con panel de orientación fija. Se utilizaron simultáneamente un panel fijo, un dispositivo con seguimiento en un eje y otro con seguimiento en dos ejes, en una ubicación predeterminada en Aguascalientes, Ags.

2. Métodos

Celdas solares y paneles fotovoltaicos

Las celdas fotovoltaicas están elaboradas de materiales semiconductores, comúnmente silicio, para las celdas solares se tiene un tipo de oblea delgada de semiconductor, que permite formar un campo eléctrico positivo de un lado y negativo del otro [4]. El transductor que permite transformar la radiación solar en

energía eléctrica es la celda solar de silicio (ya sea monocristalino, policristalino o de lámina delgada), cuya construcción se muestra en la figura 2.

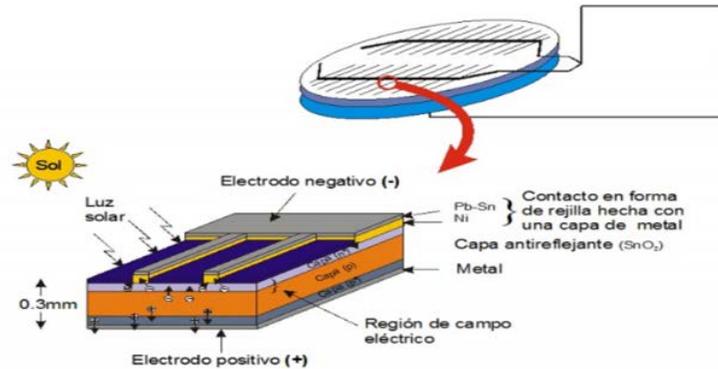


Figura 2 Textura de una celda solar de silicio, mostrando la unión p-n [9].

Los paneles o módulos fotovoltaicos (PF) se forman a partir de un arreglo de celdas solares interconectadas eléctricamente, protegidas contra la intemperie, tienen un revestimiento de vidrio o acrílico y un marco de aluminio, pueden ser monocristalinos, policristalinos o amorfos [8]. Además de los paneles, se requieren otros equipos para el almacenamiento de energía, la conversión a energía de corriente alterna, y su distribución.

Los niveles de radiación que absorbe los módulos fotovoltaicos favorecen al incremento de corriente y voltaje generado por panel, beneficiando el aumento de la potencia como se ilustra en la figura 3 y la figura 4.

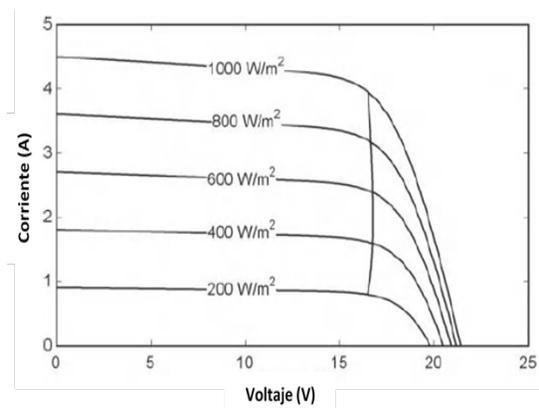


Figura 3 Las curvas I-V para un generador fotovoltaico a varios niveles de radiación [3].

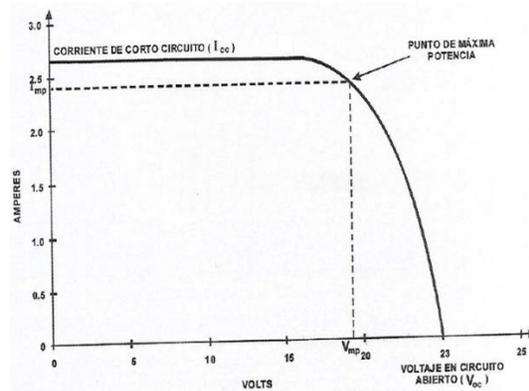


Figura 4 Puntos máximos de potencia [4].

Los módulos fotovoltaicos absorben la irradiación solar convirtiéndola en energía térmica y en energía eléctrica. La energía térmica debe ser disipada por una combinación de mecanismos que disminuyan el calor. Para que la eficiencia del PF se mantenga, es recomendable operarlos a una temperatura ambiente de 25°C o a una temperatura mínima posible, con un espectro de irradiancia de 1000 W/m² en el mediodía solar [15], y contando con que el aire circule por detrás de los paneles para que la temperatura no aumente.

En el momento en que la temperatura aumenta, el valor de potencia de salida del panel fotovoltaico disminuye. Cuando esto ocurre la potencia de salida no logra alcanzar el valor pico determinado por el fabricante, la temperatura de las células de silicio es superior a la temperatura del ambiente, por el calentamiento a la que se somete la radiación solar [13], como se ve en la figura 5.

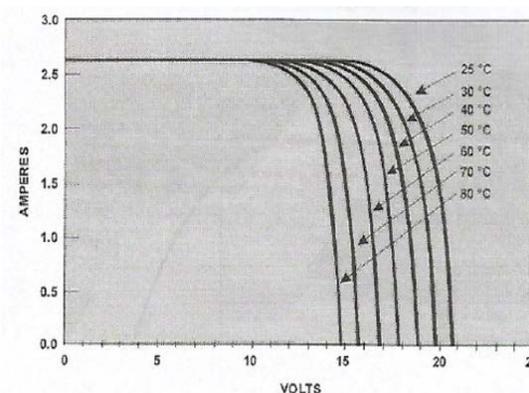


Figura 5 Efecto de temperatura sobre el comportamiento de un módulo fotovoltaico [3].

Seguidor Solar

Para aprovechar la energía solar, es básico incrementar la captación de la radiación solar de los paneles fotovoltaicos (PF). Esto se hace orientando el PF en dirección perpendicular a los rayos del sol [10]. Tal es el propósito de los equipos de seguimiento solar. Un sistema de seguimiento activo requiere el uso de motores para lograr el movimiento deseado para colocar el panel adecuadamente según la ubicación geográfica, la hora del día y la estación del año. En comparación con un sistema pasivo que responde a variaciones de temperatura y presión, el sistema activo logra alcanzar más rápidamente, y mantener por más tiempo la máxima potencia de operación (ver figuras 6 y 7).

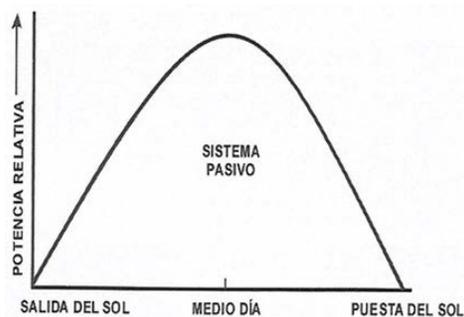


Figura 6 Sistema pasivo [4].

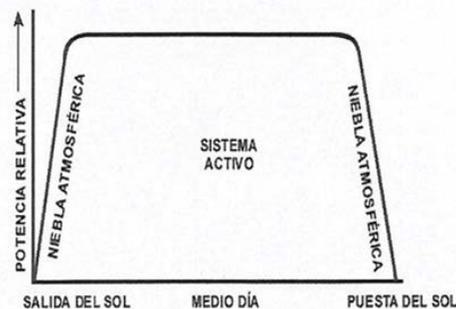


Figura 7 Sistema activo mostrando las diferencias de aprovechamiento [4].

En lo general, los sistemas de seguimiento solar incrementan el rendimiento de los paneles solares de 30% a 70% de la energía captada a comparación de los paneles solares con soporte estático [6].

En la actualidad existen tres tipos de captación de energía solar para la generación de energía fotovoltaica:

- Sistema con orientación fija.
- Sistema de seguimiento solar pasivos.
- Sistema de seguimiento solar activos.
- Sistema con Orientación Fija

El panel solar se encuentra en una estructura que no tiene movimiento y depende del ángulo de inclinación de la instalación como se puede observar en la figura 8.

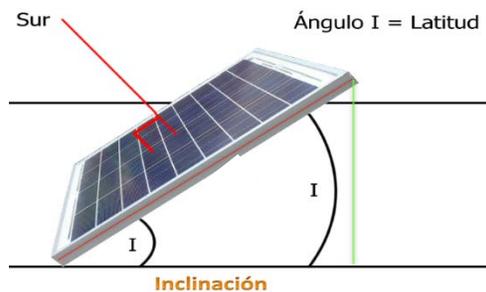


Figura 8 Posición de un panel solar fijo.

Sistemas de Seguimiento Solar Pasivos

Utiliza la energía térmica generada a través de los rayos solares, transformándola en energía mecánica, empleando sustancias con características térmicas apropiadas para su aplicación.

Este tipo de seguidor no cuenta con un control electrónico, son de tipo polar, tiene un solo eje el cual hace que su único movimiento sea de este a oeste (movimiento azimutal), mediante dos tanques uno en el lado este y otro en el lado oeste que están comunicados entre sí. Estos tanques tienen dentro de su interior una sustancia de bajo punto de ebullición como lo es el freón, que al exponerse al sol, el lado sombreado del tanque conserva el freón en forma líquida mientras que el tanque que recibe el calor del sol lo evapora. Estos fluidos se desplazan de lado contrario, donde se condensan generando un aumento de peso. El desequilibrio inicia el movimiento azimutal [13].

Sistemas de Seguimiento Solar Activos

Existen dos versiones, seguidor de un eje y seguidor de dos ejes. Estos tipos de seguidores utilizan componentes eléctricos y electrónicos, que con ayuda de la información que se obtiene a través de los sensores LDR permite posicionar a los motores encargados de realizar el movimiento del seguidor solar, para posicionarlo en la ubicación del sol en el trayecto del día.

Sistema de Seguimiento por Un Eje

La superficie del panel tiene un seguimiento que mueve el soporte en una dirección; esto lo realiza de forma acimutal (movimiento con eje vertical, figura 9), o por inclinación (seguimiento cenital con eje horizontal, figura 10), o de forma polar (seguimiento con respecto a eje polar, figura 11), teniendo solo un grado de libertad. Estos sistemas mejoran la captación solar con respecto al sistema de soporte fijo.

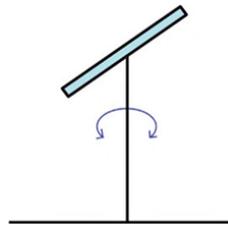


Figura 9 Sistema de seguimiento con eje acimutal.

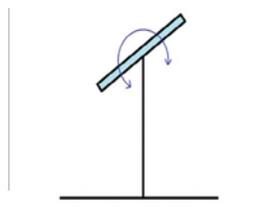


Figura 10 Sistema de seguimiento cenital o por inclinación.

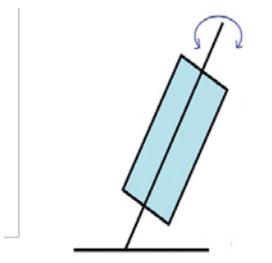


Figura 11 Sistema de seguimiento con eje polar.

En los sistemas de seguimiento con eje acimutal, los módulos fotovoltaicos se instalan con ángulo de inclinación constante sobre un eje vertical. El eje vertical gira sobre sí mismo transmitiendo el movimiento de giro a los módulos fotovoltaicos [18]. El movimiento es definido directamente por el valor del ángulo azimut del sol [2], como se muestra en la figura 12.

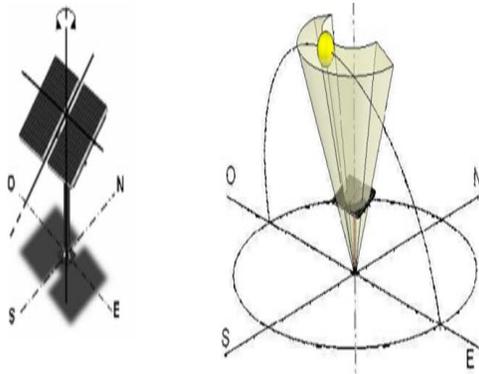


Figura 12 Trayectoria solar con eje acimutal.

En el estado de Aguascalientes se realizaron pruebas para comparar los niveles de voltajes, corriente y potencia de la generación de eléctrica de un sistema de un panel fijo orientado al sur geográfico y de un seguidor solar con eje acimutal, la diferencia de ambos paneles se muestran en las figuras 13, 14 y 15.

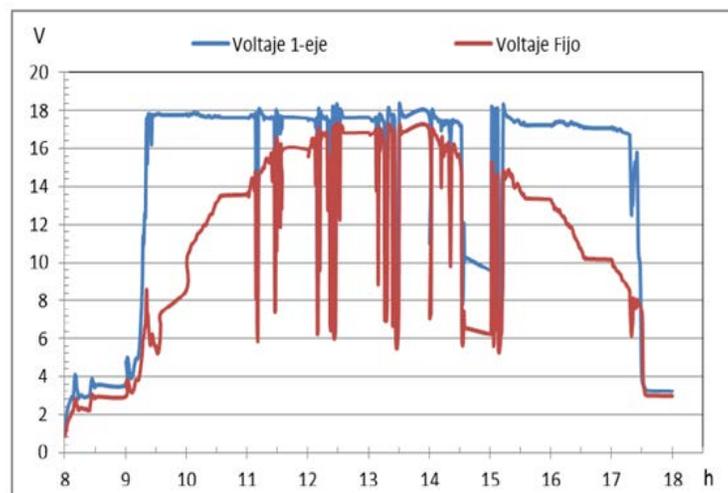


Figura 13 Mediciones de voltaje [12].

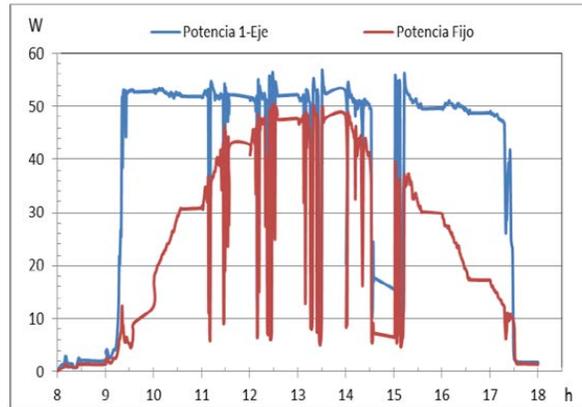


Figura 14 Mediciones de potencia [12].

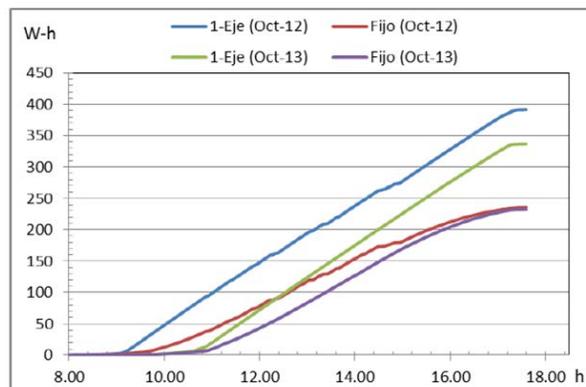


Figura 15 Generación de energía panel fijo y seguimiento en un eje azimutal [12].

Sistema de Seguimiento por Un Eje

El sistema por seguimiento por dos ejes es el más utilizado para mantener la alineación con el sol en todas las épocas del año, realiza un seguimiento siempre en dirección al sol en altitud y acimut, como se observa en la figura 16, obteniendo la máxima captación de rayos solares la mayor parte del día, permitiendo un mayor aprovechamiento energético. Este sistema presenta dos grados de libertad.

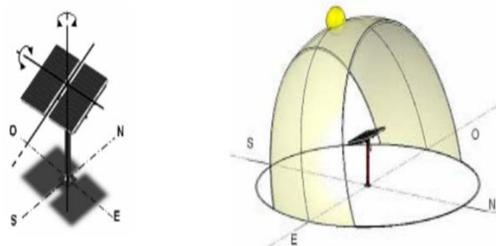


Figura 16 Trayectoria solar con dos ejes.

Este tipo de seguimiento se subdivide en diferentes sistemas:

- **Sistema Mecánico:** ejecuta un seguimiento total por medio de motores y un sistema de engranajes adaptando el movimiento del soporte a la posición del sol a lo largo del año.
- **Sistema de Ajuste Automático:** trabaja mediante sensores que detectan la radiación solar cuando esta no incide perpendicularmente, modificando la posición de los paneles solares, obteniendo una mejor absorción de los rayos solares; este movimiento actúa con motores [16].

Tipos de Algoritmos para Sistemas de Seguimiento

- **Seguimiento por Programación Astrológica.** Se efectúa mediante un programa que conoce en qué punto debería estar el Sol a cada hora y lo ubican en la trayectoria del sol. 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 modelo depende de una serie de ecuaciones que predicen la ubicación del sol en cualquier momento [7].
- **Seguimiento por Fotosensor.** El sistema de seguimiento directo al sol por punto luminoso, es efectuado mediante fotosensores los cuales indican cual es el punto más luminoso del cielo y al que se debe de apuntar como se muestra la figura 17. Haciendo girar motores, posiciona el sistema hasta llegar al punto máximo de radiación; esto se consigue mediante un comando de control y utilizando sistemas de fotosensores situados en el panel [7].

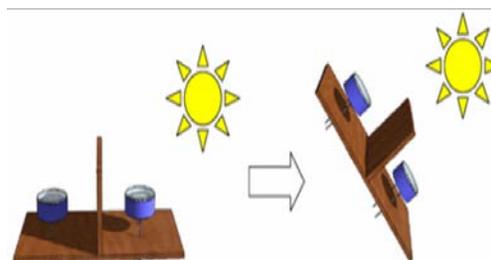


Figura 17 Respuesta sensor una vez que se genera sombra sobre una fotorresistencia.

Implementación del Panel con Orientación Fija

Para este proyecto fue necesario utilizar tres módulos fotovoltaicos de la marca Solartec, con características que indican que la potencia máxima que se puede obtener de los equipos es de 65 W, con una tensión en el punto máximo de potencia de 18 V, además de una corriente en el punto máximo de potencia de 3.71 A. Uno de los paneles se instaló de forma fija en el techo con orientación hacia el sur geográfico, con un ángulo de inclinación de 21°, como se muestra en la figura 18.



Figura 18 Panel fotovoltaico con estructura fija.

Diseño e Implementación del Seguidor Solar en Uno y Dos Ejes

Los seguidores solares realizados para las pruebas tienen seguimiento por fotosensor haciendo que se posicionen hacia los rayos solares. Se emplearon dos tarjetas de Arduino Uno, una para cada sistema de seguimiento, que fueron las que se programaron para ejecutar el programa del seguimiento para ambos sistemas. Los motores a pasos que se utilizaron en ambos seguidores fueron Nema 23: un motor aplicado al seguidor de un eje, y dos motores adaptados al mecanismo del seguidor de dos ejes, además de tres controladores para motores a pasos TB6560, que lleva uno el sistema de seguimiento por un eje y dos el sistema de seguimiento por dos ejes. A continuación se muestra el esquema del proceso para realizar el seguimiento en 1 eje (figura 19), y el proceso para realizar el movimiento en dos ejes (figura 20).

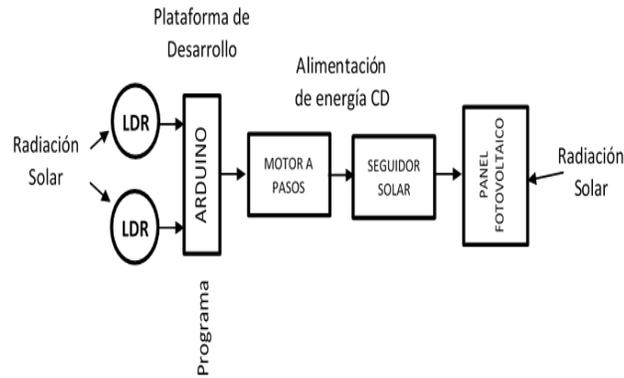


Figura 19 Esquema de prototipo de seguidor solar en un eje.

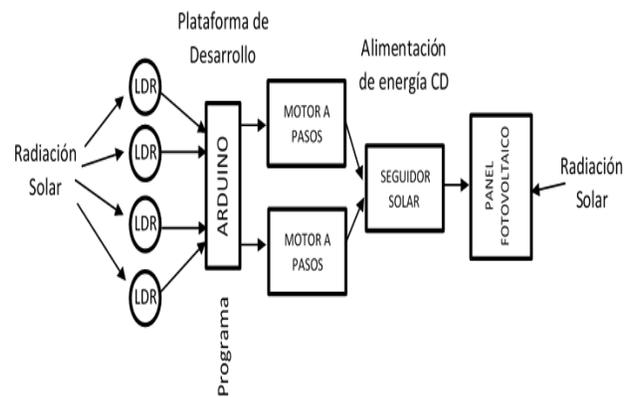


Figura 20 Esquema de prototipo de seguidor solar de dos ejes.

El diseño del seguidor solar de un eje ya se tenía realizado (véase figura 21), para la realización de las pruebas, se instaló y programó para ejecutar la secuencia. Una limitante que tiene este tipo de seguimiento es que no sigue por completo la posición del sol.



Figura 21 Seguidor solar de un eje.

Para el seguidor solar de dos ejes de movimiento (figura 22), se mejoró el sistema mecánico para que realizase movimientos más fluidos agilizando la tracción por parte de los motores a pasos.



Figura 22 Seguidor solar de dos ejes.

Medición de Energía CA

Para obtener los valores de energía en CA se utilizaron tres inversores de la marca Solartec modelo S01250MIE con una capacidad de potencia 250 W, conectados a un voltaje de 127 V, para los paneles con el sistema de seguimiento y con orientación fija. Se conectó un medidor de energía de la marca Schneider modelo IEM3255 que trabaja con una tensión nominal de 100-277 V, con un rango de corriente de 1-5 A, permitiendo medir la potencia activa y reactiva, voltaje y corriente, como se muestra en la figura 23.



Figura 23 Sistema de medición de energía CA.

Medición de Energía en CD

La medición de energía en CD se llevó a cabo mediante un controlador embebido como es el equipo CompactRio 9075 (figura 24). Debido a sus aplicaciones avanzadas para el monitoreo y control, permiten procesar en tiempo real la comunicación y procesamiento de señales a través de una matriz de puertas programables (FPGA) directamente en el hardware.

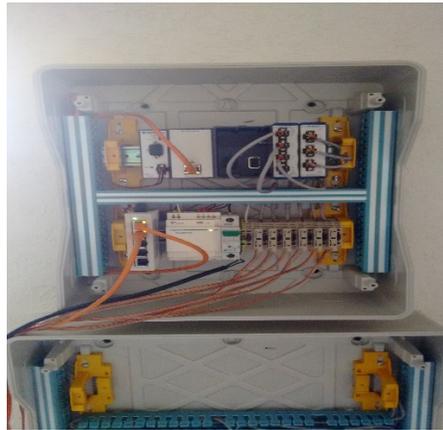


Figura 24 Equipo CompactRio 9075.

Sistema de Comunicación de Datos

Para realizar las mediciones de energía en CA y CD fue necesario hacer un sistema embebido con una interfaz con el software LabVIEW-Arduino para obtener los valores en ambos sistemas de medición en tiempo real, como se representa en el esquema de la figura 25.

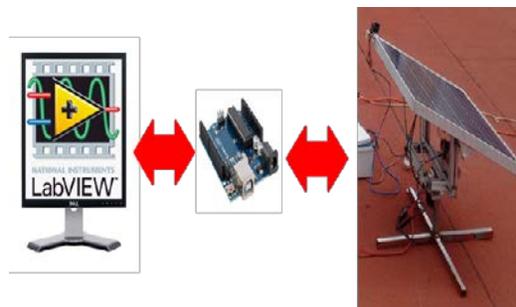


Figura 25 Esquema general del sistema de comunicación de datos.

Pruebas de Medición de Energía

Una vez teniendo los mecanismos de ambos seguidores funcionando correctamente, además de que el hardware realizado ejecute la programación adecuadamente, se instalaron los tres sistemas al exterior (orientación fija, seguidor en un eje, seguidor en dos ejes) para obtener las evaluaciones de cada uno de ellos, como se ve en la figura 26.



Figura 26 Posición fija, seguimiento solar en uno y dos ejes de movimiento.

Es necesario que el medidor de energía en CA y CD (figura 27), lea los valores generados en tiempo real de cada panel instalado, para evaluar los tipos de seguimientos y determinar si es conveniente el uso de este sistema o no.

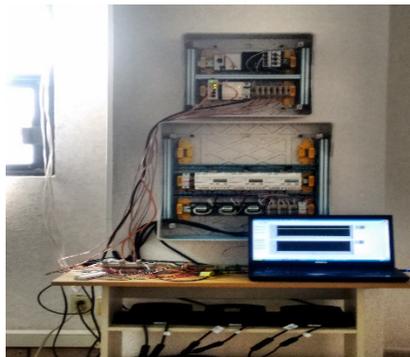


Figura 27 Medidor de energía en CA y CD.

Las evaluaciones realizadas comenzaron la semana del 14 al 19 de agosto de año en curso (2017), se inició a tomar lectura de las mediciones a partir de las 08:30 am hasta las 8:00 pm. Para las mediciones de CA fueron dos días de prueba, y para las de CD fueron cuatro días. Cabe mencionar que en esta semana algunos

días se encontraba lloviendo por que las pruebas solo las realizábamos una parte del día.

3. Resultados

Las evaluaciones que se obtuvieron de los registros generados por el equipo de medición de energía de CA y CD se presentan a continuación.

Los datos que arrojó el lunes 14 de agosto el sistema de medición de CA acerca de la potencia generada por los tres paneles solares aplicando el seguimiento en uno y dos ejes, así como el que está posicionado fijo se reflejan en el gráfico de la figura 28.

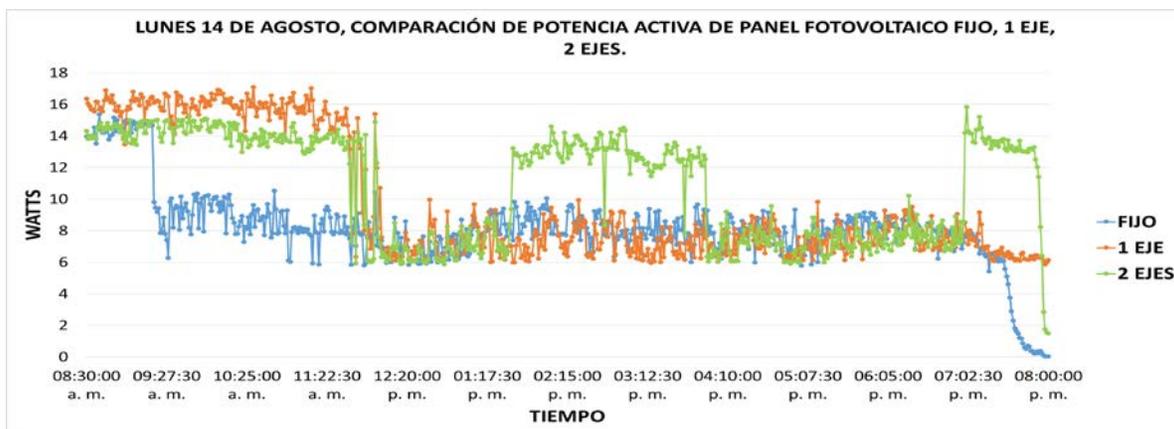


Figura 28 Ppotencia activa de panel fotovoltaico con posición fija, con un eje y dos ejes.

Como se puede ver en el grafico solo hay una variación en la generación potencia en las primeras horas del amanecer así como en la puesta del sol, mostrando que no es muy relevante el seguimiento solar.

El martes 15 de agosto se realizó una nueva medición de energía en CA, pero este día solo se registraron valores hasta las 17:00 horas, debido a que empezó a llover y se detuvo la medición para no exponer los equipos, arrojando los siguientes valores que se muestran en el gráfico de la figura 29.

Estos nuevos registros confirman que al igual que las mediciones que se realizaron de potencia un día anterior no muestran cambios significativos, debido a que cuando incrementa la producción de potencia, es solo las primeras horas del

amanecer y en el trayecto del día los valores se mantienen proporcionales aplicando los seguidores solares en comparación con el panel que está posicionado fijo, ya que en los inicios del día el que se encuentra fijo tarda en generar la potencia establecida.

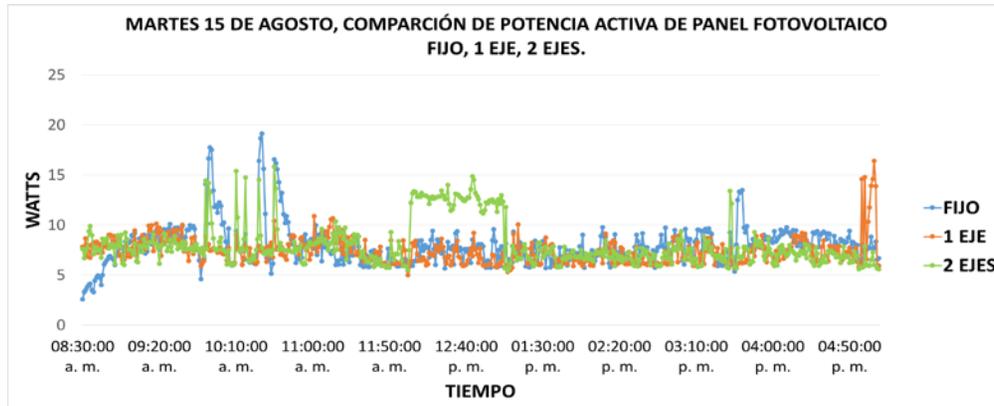


Figura 29 Potencia activa de panel fotovoltaico con posición fija, con un eje y dos ejes.

Se observa que la potencia nominal del panel fotovoltaico que maneja el fabricante, que en este caso es de 65 W, no es alcanzada por ninguno de los módulos fotovoltaicos a los que se les realizaron las pruebas, debido a que los valores registrados son inferiores, aplicando el sistema de seguimiento y sin el sistema.

El día jueves 17 de agosto se empezaron a realizar mediciones de energía en CD a partir de las 17:00 horas debido a problemas técnicos, los valores de potencia registrados con los paneles fotovoltaicos utilizados son lo que se muestran en el siguiente gráfico de la figura 30.

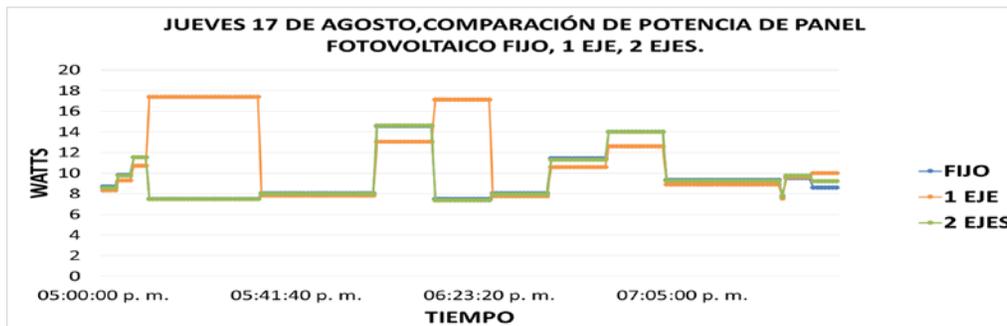


Figura 30 Potencia de panel fotovoltaico con posición fija, con un eje y dos ejes.

Los valores arrojados nos muestran como la potencia es similar en los tres sistemas que se están midiendo no teniendo un cambio relevante en la generación de energía.

El viernes 18 de agosto se continúa con la medición de energía en CD. Esta vez se empieza a recolectar datos de la potencia generada por los tres paneles fotovoltaicos a partir de las 08:30 a.m. terminando a las 7:30 p.m. Los valores arrojados se muestran en el gráfico de la figura 31.

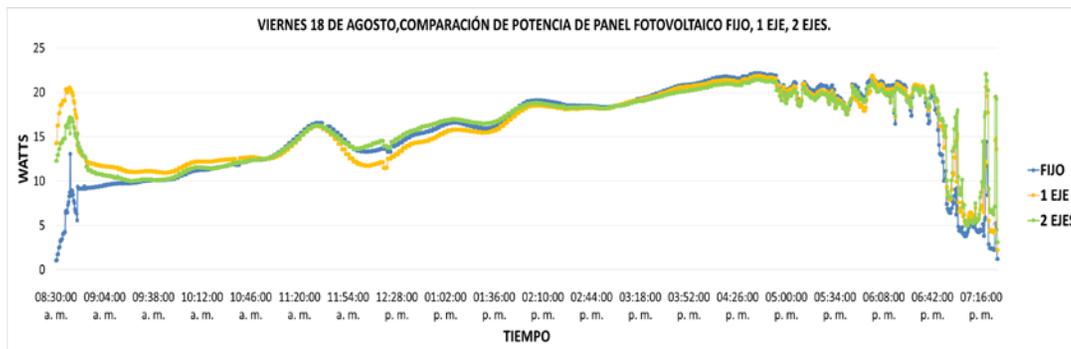


Figura 31 Potencia de panel fotovoltaico con posición fija, con un eje y dos ejes.

La potencia generada de los tres paneles fotovoltaicos se mantiene similar entre sí, no muestra cambios notables en el trayecto del día, solo las primeras horas en las que sale el sol y cuando comienza el atardecer.

Los datos de la potencia alcanzada de los tres paneles fotovoltaicos utilizados en el sábado 19 de agosto, comenzaron a registrarse a partir de las 08:30 a.m. hasta las 8:00 p.m., obteniendo el siguiente grafico que se muestra en la figura 32.

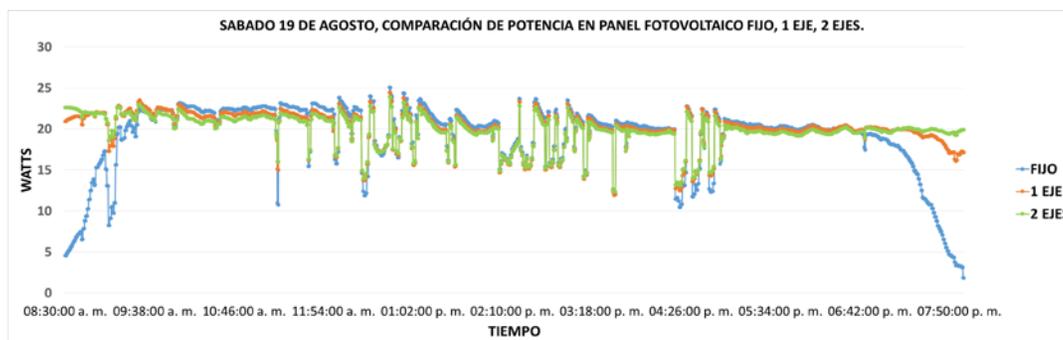


Figura 32 Potencia de panel fotovoltaico con posición fija, con un eje y dos ejes.

La medición de potencia por parte de los tres módulos fotovoltaicos utilizados es similar aplicando seguimiento o con orientación fija.

Como se puede ver en los tres gráficos la potencia generada por cada panel fotovoltaico aumenta solo en el amanecer y en la puesta del sol, pero solo aplicando los sistemas que tienen seguimiento, mientras el que está posicionando fija demora más en alcanzar a generar la potencia máxima.

Se observa también que en los tres días que se realizaron las pruebas de medición de energía en CD, ninguno de los tres paneles fotovoltaicos utilizados alcanzó la potencia nominal establecida por el fabricante.

4. Discusión

Se mejoró el diseño y programación del seguidor solar de dos ejes para su instalación, ya se contaba con el mecanismo del seguidor solar de un eje, solo se programó para realizar la trayectoria y se instaló, al igual que el panel con orientación fija. Es necesario desarrollar un sistema de seguimiento solar robusto que garantice la trayectoria y el posicionamiento del panel fotovoltaico perpendicularmente a los rayos solares. Aun con radiación difusa el sistema de seguimiento en uno y dos ejes de movimiento permitió posicionar al módulo fotovoltaico perpendicularmente hacia la trayectoria del sol. El empleo de este tipo de sistemas de seguimiento en un eje y dos ejes aumenta la producción de energía de los módulos fotovoltaicos en las primeras horas que sale el sol y cuando empieza a oscurecer, comparado con un sistema fijo de módulo fotovoltaico. Los tres sistemas de medición; fijo, un eje y dos ejes, durante el recorrido del día mantuvieron valores equivalentes. En cuanto a estos sistemas de seguimiento en un eje y dos ejes aplicados a los paneles fotovoltaicos, no hubo cambios sobresalientes en la generación de energía por parte de ambos sistemas, mantenían valores proporcionales de producción de energía generados por los módulos fotovoltaicos, comparados con un sistema sin seguimiento

Los módulos fotovoltaicos utilizados para la medición de energía fueron del mismo fabricante los cuales tienen variaciones distintas al momento de recolectar los datos a través del sistema de medición de energía en CD y CA, esto debido a las

propiedades de los materiales con los cuales se fabrican las celdas fotovoltaicas, reflejando que los valores nominales de corriente y potencia son mínimos en comparación con los que vienen establecidos por el fabricante, debe de considerarse que el aumento de temperatura en los paneles fotovoltaicos puede cambiar los valores de voltaje y corriente.

Este proyecto deja apertura a mejorar los inversores CA de energía, debido a que los equipos que se utilizaron en la medición para obtener la potencia y la corriente, solo median la capacidad de potencia que se tienen en ese momento pero no lo puede sostener en el transcurso del tiempo, estos inversores no buscaban el punto máximo de la potencia por lo tanto no alcanza a detectar el máximo valor nominal del PF.

Es necesario realizar más pruebas en distintas épocas del año, para observar las variaciones de los valores que generan los módulos fotovoltaicos, aplicando sistemas de seguimiento, así como con posición fija.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Barsoum N. (2011). Implementation of Dual-Axis Solar Tracking Pilot Project. Transaction on Energy, biotechnology, planning and Environment ISSN: 2229 8711.
- [2] Beltrán Adan Jose. Prototipo Fotovoltaico con Seguimiento del Sol Para Proceso Electroquímicos. México: CENIDET, 2007. 32 p.
- [3] Duffie J. A. (Ed). (2013); Solar Engineering of Thermal Processes. U.S.A: Wiley, 2013. 5, 13, 749 p.
- [4] Harper E. (2015). El ABC de las Instalaciones Eléctricas en Sistemas Eólicos y Fotovoltaicos. México: Limusa 2015. 86, 90, 97, 111, 106, 107, 126 p.
- [5] INEGI.<http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ags/territorio/clima.aspx?tema=me&e=01->
(28 de Diciembre del 2017).
- [6] Kang Cardozo D.I. (Ed). (2009). Automatización de Panel Solar. Ciudad del Este, Paraguay.

- [7] Machado Toranzo N. (Ed). (2015). Seguidor Solar, Optimizando el Aprovechamiento de la Energía Solar. Aplicaciones Industriales; Ingeniería Energética Vol. XXXVI, 2/2015, ISSN 1815-5901. 192 p.
- [8] Madrid Vicente A.(2009). Curso de Energía Solar (Fotovoltaica, Térmica, Termoeléctrica). España: Mundi-Prensa.
- [9] Matsumoto Y. (2010).Celdas Solares de Silicio: Fundamento y Tendencia. Sección de Electrónica del Estado Sólido. México; CINVESTAV-IPN.
- [10] Nader Barsoum. Implementation of dual-axis solar tracking pilot project. Transaction on Energy, biotechnology, planning and Environment ISSN: 2229 8711 Online Publication, June 2011. 50 p.
- [11] NASA.https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=078112&lat=21.88&hgt=100&submit=Submit&veg=17&sitelev=&email=&p=grid_id&p=swvwdwncook&p=midday_dwn&p=clrskycook&p=clrskyday&p=swv_dwn&p=T10M&step=2&lon=-102.29. (14 de Enero del 2017).
- [12] Sánchez Chávez I.Y. (Ed). (2014).Evaluación de Seguimiento Solar Acimutal Para la Generación Fotovoltaica en el Centro de México. México.
- [13] Sanchez Maza M.A. (2014).Energía Solar Fotovoltaica. México: Limusa.
- [14] Solargis.<http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-World-GHI-solar-resource-map-en.png>. (09 de Enero del 2017).
- [15] Soteris Kalogiru A. Solar Energy Engineering; Processes and Systems. Estados Unidos de América: Elsevier, 2009. 480 p.
- [16] Tobajas Vásquez C. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Colombia: Ediciones de la U, 2015. 81 p.
- [17] Vera De Kuyper J.C (Ed). (2014).Fuentes Alternas de Energía, Renovable y No Renovable, Aplicaciones. México: Alfaomega.
- [18] Vicente Mascaros Mateo. Gestión de Montajes de Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: Paraninfo, 2016. 137,138 p.