

Implementación de equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica



Colaboración

Eleazar Campero Ángeles; Ignacio Ventura Cruz; Galindo Martínez Karol; Gustavo Yáñez López, Instituto Tecnológico Superior de Huichapan

RESUMEN: el presente trabajo reporta el desarrollo de un equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica. Para ello se consideraron algunos aspectos como las coordenadas terrestres del seguidor y los movimientos que presenta el planeta con respecto al Sol, los cuales son predecibles. Sin embargo, al momento de precisar las coordenadas celestes del seguidor solar respecto a nuestro plano terrestre en un momento específico del año, es necesario recurrir a un análisis más profundo, dicho análisis se llevó a cabo mediante un algoritmo matemático que se desarrolló en el software Matlab[®] y se probó en un equipo PLC. Obteniendo un seguidor solar acimutal, activo, de sistemas fotovoltaicos concentrados a dos ejes controlados por sistemas a lazos abiertos, el cual se utilizará para la realización de prácticas de la materia de Energía Solar Fotovoltaica del ITESHU.

PALABRAS CLAVE: Seguidor solar didáctico, algoritmo solar, energía solar fotovoltaica, acimutal activo, Seguidor solar de dos ejes.

ABSTRACT: This work reports the development of a training team Solar route to optimize photovoltaic solar collection. To do some aspects as terrestrial coordinates of the tracker and movements that presents the planet to the Sun, which are considered predictable. However when specifying celestial coordinates of the solar tracker regarding our earth plane at a specific time of year, you need to resort to further analysis, this analysis was carried out using a mathematical algorithm that was developed in the Matlab software[®] and it tested on a PLC computer. Obtaining an azimuth, active solar tracker concentrated photovoltaic systems along two axes controlled by open loops systems, which are used for the experiments of matter Photovoltaic Solar Energy ITESHU

KEYWORDS: Educational solar tracker, solar algorithm, photovoltaic solar energy, active azimuthal solar tracker with two axes.

INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta está sufriendo diversos cambios climáticos y desastres naturales ocasionados principalmente por la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera, por lo que es importante fomentar la conciencia medioambiental y el uso de las energías renovables, principalmente la energía solar, ya que el Sol es el principal generador de vida en nuestro planeta, sin los rayos luminosos que el Sol provee, no se presentarían las condiciones adecuadas para preservar nuestras vidas, desde la prehistoria el hombre ha visto la forma de aprovechar las bondades que el Sol genera en su beneficio.

Actualmente es posible aprovechar los avances tecnológicos para incrementar los beneficios que el sol ofrece, un claro ejemplo son los satélites que hoy en día rodean nuestro planeta, y que son utilizados para las telecomunicaciones mundiales, los cuales funcionan gracias a la energía solar fotovoltaica por medio de los paneles solares que estos incluyen.

Los datos de irradiación solar mundial indican que si se aprovechara eficientemente toda la energía que proviene del sol, podríamos cubrir todas las necesidades energéticas que tenemos, sin necesitar de ninguna otra fuente de energía adicional.

La energía solar puede emplearse en diversas aplicaciones, una de éstas es un seguidor solar, el cual es un dispositivo mecánico capaz de orientar un grupo de paneles solares para que permanezca lo más perpendicular al Sol, siguiéndolo desde su alborada en el este hasta su puesta en el oeste.

Los factores físicos que afectan la cantidad de energía del sol incidente sobre una superficie son: latitud geográfica, día y mes del año (horas de sol), condiciones climatológicas y grado de contaminación; así mismo, existen factores que afectan la eficiencia del panel solar fotovoltaico, como son el sombreado parcial, los diversos ángulos generados por la geografía solar, entre otros. Estos ángulos son: ángulo horario, altitudinal, cenital, acimutal y de declinación solar; de los cuales el altitudinal y el acimutal definen la posición del sol en el horizonte [1]. El ángulo altitudinal (α), se define como el ángulo entre el plano horizontal y el rayo solar; mientras que el ángulo acimutal (ψ), se describe como el ángulo entre las proyecciones de un rayo del Sol y una línea orientada del Norte al Sur, sobre el plano horizontal [2].

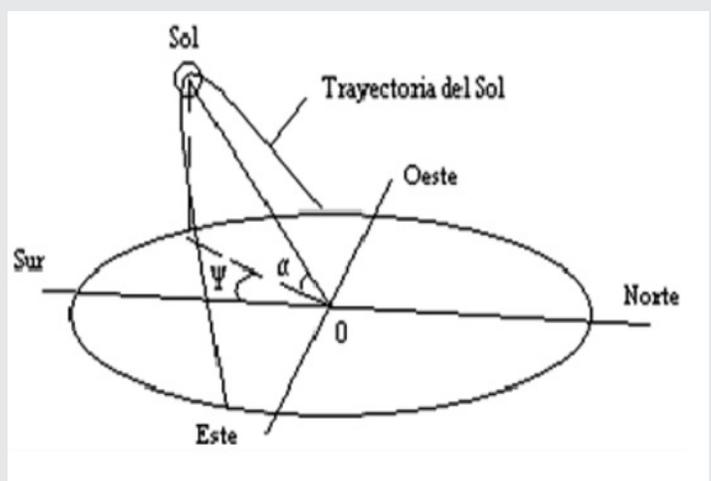


Figura 1. Posición del sol en función de la altura y el acimut solar.

Matemáticamente la posición del sol respecto al horizonte se puede determinar con las siguientes fórmulas [4]:

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos(TSV \cdot 15))$$

Ec. (1)

$$\psi = TSV \cdot \cos^{-1} \left(\frac{\sin \alpha \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cdot \cos \phi} \right)$$

Ec. (2)

El tiempo solar verdadero (TSV) es el ángulo horario del centro del sol expresado en horas y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$TSV = \frac{\omega}{15} = \frac{-\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)}{15}$$

Ec. (3)

Para aumentar la eficiencia de un panel solar fotovoltaico, logrando el máximo grado de conversión de energía, este debe ubicarse de forma perpendicular a los rayos incidentes sobre la superficie en las horas de sol, por lo cual se hace necesario el uso de un seguidor solar, el cual es un sistema que se compone de elementos mecánicos, electrónicos e informáticos. Los seguidores solares que existen actualmente se basan en sensores de luz para determinar la posición del Sol y en la realización de cálculos para detectar la ubicación del sol en determinado momento. Así también existen seguidores solares que varían por su mecanismo de funcionamiento, y se clasifican por su:

- Sistema de actuación
- Tipo de sistema fotovoltaico
- Configuración del sistema
- Sistema de coordenadas usado para ubicar la posición aparente del Sol
- Sistema de control

De acuerdo al sistema de actuación:

Seguidores pasivos: Es aquel que se mueve en respuesta a un desbalance de presión entre dos puntos en los extremos del seguidor solar; es decir, aquel que usa un gas comprimido de bajo punto de ebullición, el cual es conducido hacia un lado o hacia otro, según sea calentado por la luz incrementando la presión en el gas [3]. Figura 2a.

Seguidores activos: estos dispositivos usan mecanismos en diversas configuraciones para ubicar los paneles en la posición deseada. Es decir, es aquel que utiliza motores eléctricos, brazos electromecánicos con engranajes o tornillos sin fin, los cuales son controlados por un circuito electrónico; este tipo de seguidor debe estar energizado ya sea por una fuente externa al sistema fotovoltaico o por este mismo [3]. Figura 2b.

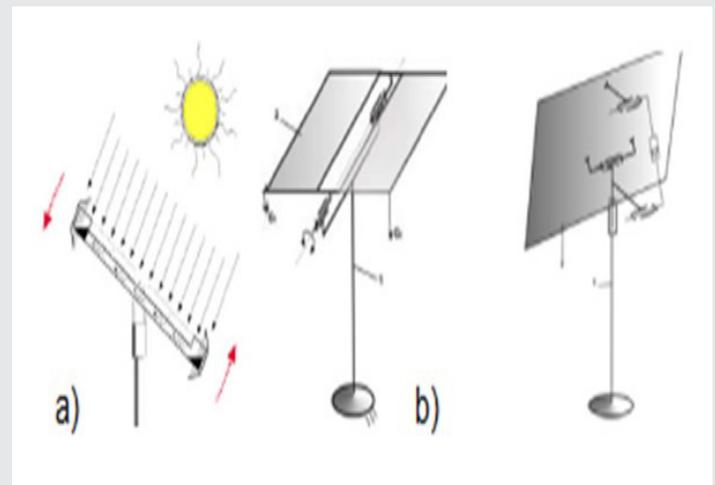


Figura 2. Tipos de seguidores, a) pasivo, b) activo

De estos el seguidor solar activo es más preciso, siendo el seguidor pasivo un tanto impreciso [2].

Por el tipo de sistema fotovoltaico que realiza la conversión de energía solar a eléctrica, se clasifican en:
 Seguidor de sistemas fotovoltaicos concentrados: estos requieren que la componente de la luz directa esté concentrada en un punto específico, y por lo tanto debe estar orientado con la mayor precisión posible.

Seguidor de sistemas fotovoltaicos no concentrados: estos se usan para minimizar el ángulo de incidencia entre la luz incidente y la normal de los paneles, para producir la mayor cantidad de energía. No requieren mucha precisión.

De acuerdo con la configuración del sistema, existen también dos clases de seguidores, de uno y de dos ejes:

Los seguidores de un eje: estos giran diariamente sobre un solo eje, del Este al Oeste. De manera que el eje relacionado con el ángulo de altitud debe ajustarse con cada estación del año. Su precisión es menor; figura 3a.

Los seguidores de dos ejes: estos realizan dos movimientos, combinándolos de tal forma que pueden seguir la trayectoria del sol de manera precisa todo el año [5]. Son más eficientes y precisos que los de un solo eje; figura 3b.

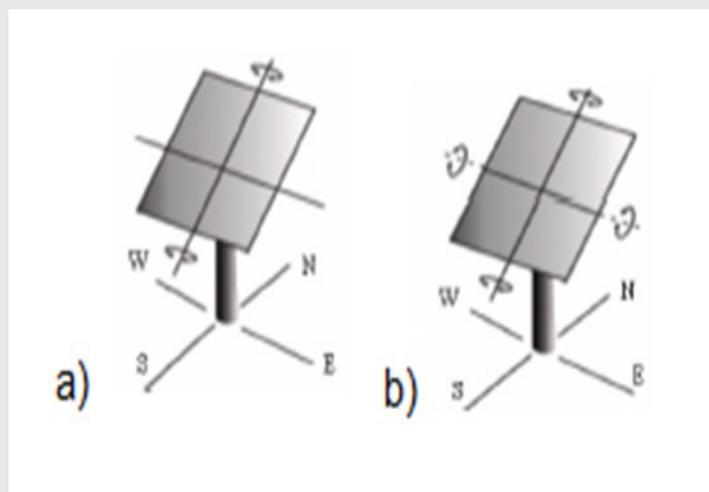


Figura 3. Tipos de seguidores, a) De un eje, b) de dos ejes

De acuerdo con el sistema de coordenadas usado para ubicar la posición aparente del Sol (y la secuencia en que se llevan a cabo las rotaciones), los seguidores de dos ejes se pueden dividir además, en:

Seguidores acimutales: los cuales combinan una rotación alrededor de un eje vertical, con otra rotación realizada sobre un eje horizontal. Usan el sistema acimutal (local) y los ángulos acimut ψ , y altitud α . Sus ventajas son una buena exactitud y estabilidad estructural. Una importante desventaja es el hecho de que los movimientos de sus ejes no son independientes, por lo que deben ser simultáneos; figura 4a.

Seguidores ecuatoriales: los cuales cuentan con dos ejes de movimiento independiente, perpendiculares entre sí, lo que representa una ventaja, dado que sus movimientos no necesitan ser simultáneos. Usan el sistema ecuatorial (global) y los ángulos de declinación δ , y horario ω . En este tipo de seguidores se presentan problemas constructivos debido a la secuencia en la que se generan sus movimientos, lo que representa una desventaja; figura 4b.

Seguidores pseudo-ecuatoriales: los cuales se derivan de los del tipo ecuatorial, con el orden de las rotaciones invertido, por lo que no presentan los problemas constructivos de los ecuatoriales. Por otro lado, sus movimientos también son independientes y no necesitan ser simultáneos. Por lo tanto tienen la ventaja de ser sistemas más estables y son más usados que los ecuatoriales; figura 4c.

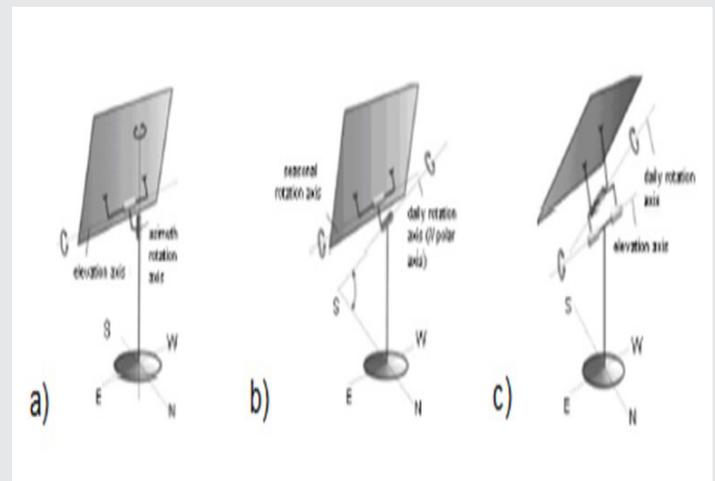


Figura 4. Tipos de seguidores solares, a) acimutales, b) ecuatoriales, c) pseudo-ecuatoriales

De acuerdo con el sistema de control, se pueden mencionar los siguientes tipos de seguidores:
 Controlados con lazos cerrados: Las más comúnmente usados, que consisten en el uso de sensores para determinar la posición del Sol, los que a su vez envían señales eléctricas al controlador, y éste a los motores.

Controladores con lazos abiertos: Basados en algoritmos matemáticos con valores predefinidos de la posición del sol, para una determinada ubicación geográfica.

El objetivo de este trabajo es diseñar un equipo de ruta solar didáctica para el desarrollo de habilidades para la experimentación, mediante la creación de un algoritmo matemático que determine la posición solar y sea capaz de seguir el ciclo de la ruta solar anual para optimizar la captación de energía solar fotovoltaica.

De acuerdo a estudios previos el mejor aprovechamiento de los paneles solares fotovoltaicos está en la posición de ellos con respecto al sol con un ángulo de noventa grados, es su punto ideal con respecto al sol para obtener la mayor cantidad de energía disponible y ocupando para el movimiento mecánico de operación con la menor energía posible.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente trabajo se desarrolló un equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica, así como para la realización de prácticas desarrolladas en la materia de energía solar fotovoltaica impartida en el Instituto Tecnológico Superior de Huichapan (ITESHU).

Se desarrolló un proceso de acuerdo al siguiente diagrama:

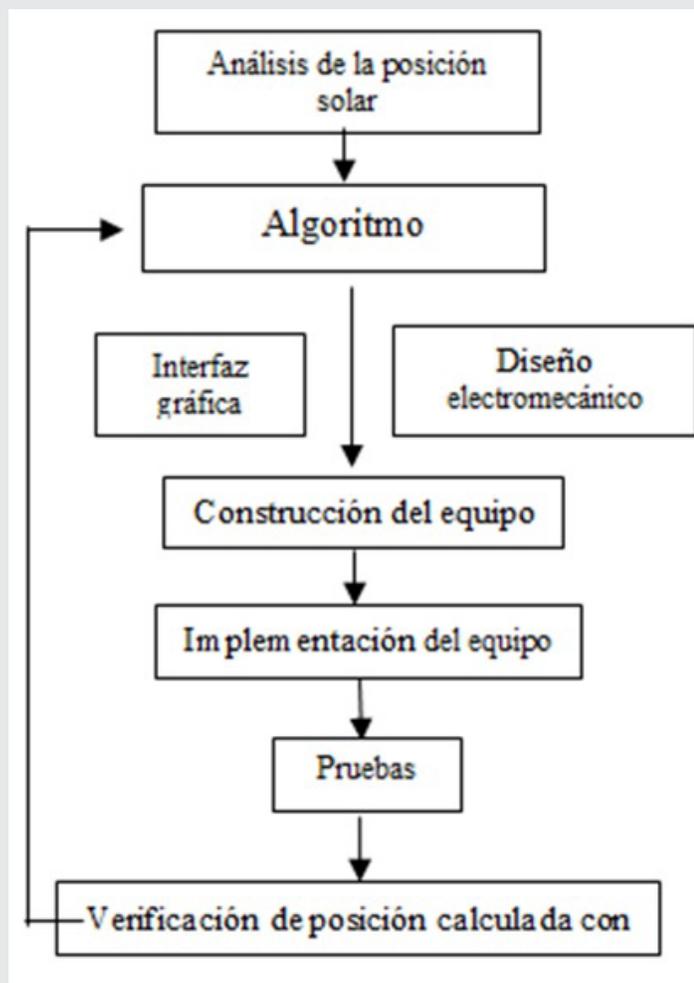


Figura 5. Proceso de desarrollo del equipo de ruta solar didáctico para la optimización de la captación solar fotovoltaica

La posición solar se determinó por medio del cálculo de los ángulos acimut, para eso se trazó la gráfica de ruta solar anual, mostrada en la figura 6, con el software Sun Earth Tools y se comparó con la obtenida en un algoritmo adaptado para obtener el ángulo acimut y el ángulo de elevación a partir de la fecha proporcionada al algoritmo.

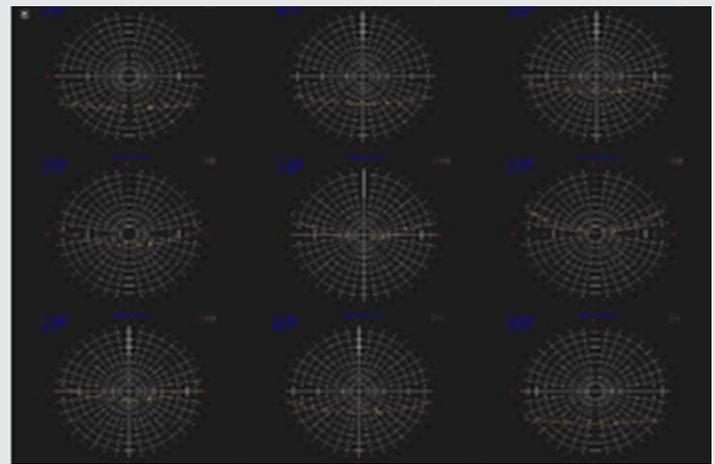


Figura 6. Grafica de ruta solar anual

El cuál se desarrolló en el software MatLab y se instaló en un equipo de PLC, resultando así la interfaz gráfica mostrada en la figura 7.

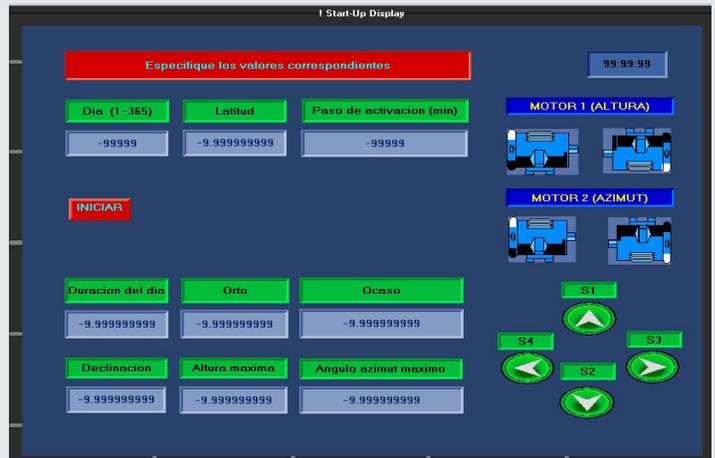
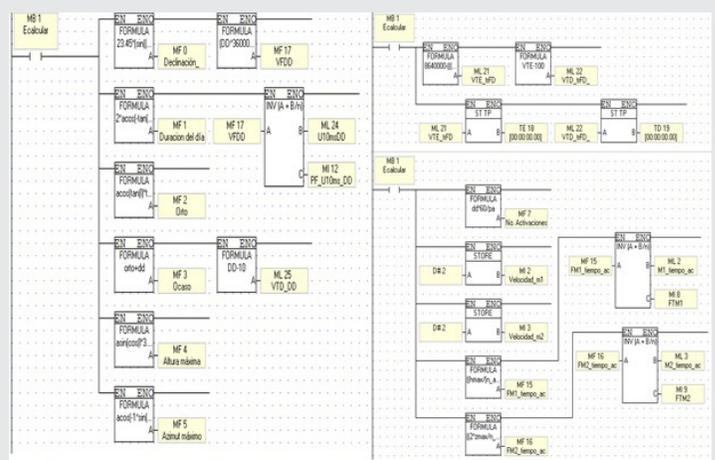


Figura 7. Interfaz grafica

El algoritmo del seguidor solar se desarrolló en el diagrama de escalera del PLC quedando de la siguiente manera el cual cumple las características de la figura anterior para su correcto funcionamiento, figura 8:



La estructura del equipo se diseñó en un software CAD como se muestra en la figura 9.

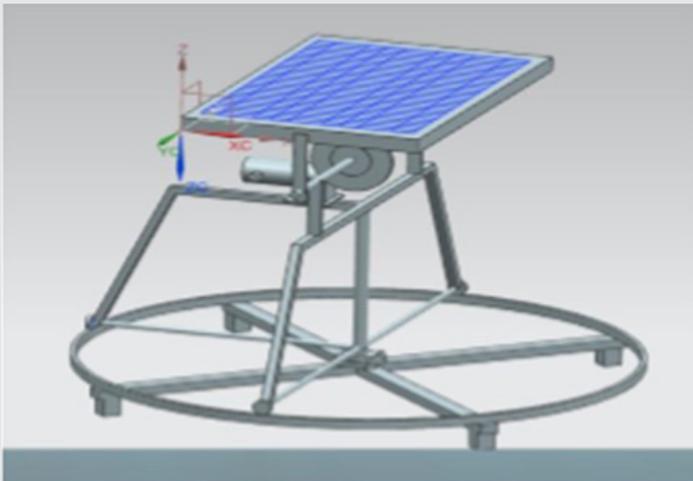


Figura 9. Diseño mecánico del equipo

Para el movimiento de los grados acimut del mecanismo se utilizó un eje vertical soportado sobre una estructura metálica en forma circular que servirá como riel y tracción. Como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Eje vertical que soporta al mecanismo

Para la tracción del movimiento se acopló un motorreductor de corriente alterna de 1/8 de hp a 127 volts, con Catarina acoplada a una cadena fija la cual está en la estructura circular como se muestra en la figura 10a. Para el movimiento de elevación se utilizó un mecanismo similar al motorreductor de C.D. con transmisión reductora de cadena para hacer los movimientos más lentos y tener una posición más exacta en el Angulo deseado, figura 10b.



Figura 11. Mecanismo a) acoplado para la tracción, b) movimiento de elevación

El diseño final del prototipo equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica queda como a continuación se muestra en la figura 12:



Figura 12: Diseño del prototipo final, a) Estructura mecánica, b) funcionamiento del sistema de control con PLC

En la figura 12a, se muestra la estructura mecánica que va a soportar la celda fotovoltaica para hacer el seguimiento solar y en la figura 12b, se visualiza el funcionamiento del control implementado en el PLC de acuerdo al algoritmo de programación para la optimización de la ruta solar, de acuerdo a la posición del lugar donde se va a poner en funcionamiento.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Del presente trabajo se obtuvo la ficha técnica del equipo, el manual de operación y el manual de prácticas.

Para analizar los resultados del equipo se llevaron a cabo diversas pruebas, entre ellas están: mecánicas, para verificar los movimientos de los ejes horizontal y vertical, para los grados azimuth y elevación; pruebas eléctricas, como son: arranque de motores, toma de

corriente, medición de tensión y potencia; pruebas de control para el accionamiento de entradas y salidas de las señales del programador lógico, de acuerdo a la secuencia de proceso.

Finalmente se comparó la posición calculada del seguidor, respecto a la real; con la finalidad de verificar el proceso y hacer los ajustes necesarios.

En el trabajo se obtuvo un equipo de ruta solar didáctico para optimizar la captación solar fotovoltaica.

Se realizó debido a la falta de equipo para realizar prácticas del plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Energías Renovables.

Con el equipo implementado se realizaron pruebas en las cuáles los alumnos compararon los resultados obtenidos a partir de cálculos analíticos con los resultados arrojados por el prototipo, comprobando así que ambos son aproximados.

REFERENCIAS

[1] García C. O. (2009). *Diseño de un seguidor solar (Tesis)*. Madrid, España.

[2] González M. J. M. (2012). *Diseños de los mecanismos para un seguidor solar pseudo-ecuatorial (Tesis)*. México.

[3] Guardado G. D. H. Rivera, Ch. V. F. (2012). *Implementación de seguidor solar en dos ejes para el sistema fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES (Tesis)*. Ciudad Universitaria, El Salvador.

[4] Herrera M. J. I., Molina P. N. G. (2010). *Diseño, análisis e implementación de un sistema de control para seguimiento solar en dos ejes (Tesis)*. El Salvador, Centro América.

[5] Ozuna G., Anaya M., Anaya C. (2010). *Diseño y elaboración de prototipo seguidor solar de dos grados de libertad para celdas fotovoltaicas*. Revista Epistemus. No. 9, Universidad de Sonora. México.



Tierra, Medio Ambiente y Energía

Ingeniantes

Instituto Tecnológico Superior de Misantla