

Clínica Sustentable con Seguidor Solar

Oscar Flores, Aldo Hernández, Ignacio Huitzil, Carlos Martos y Alonso Díaz

O. Flores, A. Hernández, I. Huitzil, C. Martos y A. Díaz
Universidad Politécnica de Amozoc, UPAM. Ingeniería en Energía, Ingeniería en Tecnología de Manufactura C.P 72980.
Puebla, Pue.
oscar.flores@upamozoc.edu.mx

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

Today the cost fossil fuel is very high and the trend for the next years is the same also its combustion produces a dangerous environmental impact for example, ecologic cycle alteration, acid rain and global warming. The first cause of global warming is carbon dioxide CO₂emission. For to solve this environmental problem is used alternatives energies that permit to reduce emissions and associate cost of fuels, the direct benefits are in people and politic state. In this project called green clinic with solar tracker and is implemented a photovoltaic system whit CFE electric connection in Universidad Politécnica de Amozoc Physic Therapy clinic. The project searches to reduce the expenses pay of electric energy and other point is to help planet conservation and reduce CO₂emission. The purpose of solar tracker is high perforce of solar panels and as result produce electric energy. This project can be replicate in anywhere that use electric energy and obtain similar results.

2 Introducción

En la actualidad el consumo de energía eléctrica genera ciertos gastos, esto no solo hablando económicamente sino también ambientalmente; edificios, lugares públicos inclusive casas generan un alto consumo de energía eléctrica provocando una inversión que no puede ser evitada por requerir el servicio, además, el servicio eléctrico que se proporciona en México proviene, en su mayoría, de centrales generadoras que basan su funcionamiento en la quema de combustibles fósiles¹. Una opción para contrarrestar lo anterior es el uso de energías renovables, esto nos ayuda a aprovechar los recursos naturales que se poseen en una región.

La principal problemática ambiental se deriva del uso de combustibles fósiles, pues el uso excesivo de éstos genera contaminación atmosférica, del agua y suelo, y el fenómeno del cambio climático. Estos combustibles fósiles se utilizan hoy día en todas las actividades de la humanidad, entre estas esta la generación de energía eléctrica provocando serias consecuencias a nuestro planeta, una forma de disminuir esta situación es la implementación de sistemas fotovoltaicos.

Este país tiene una variedad de recursos por aprovechar, uno de ellos es la energía solar, ya que por su ubicación geográfica la variedad de climas y ecosistemas permite a el aprovechamiento de este recurso. Además el estado de Puebla y en particular el municipio de Amozoc recibe una radiación solar considerablemente buena. La conversión de energía solar a energía eléctrica se lleva a cabo por medio de celdas fotovoltaicas gracias al efecto fotoeléctrico, este efecto se basa en la capacidad de algunos materiales, en este caso del Silicio, de emitir electrones cuando son irradiados con ciertas frecuencias de luz ultravioleta o visible¹.

Un sistema fotovoltaico conectado a red, consiste en una arreglo fotovoltaico no independizado, como su nombre lo dice el sistema se encuentra conectado a la red de Comisión federal de Electricidad (CFE) y puede proporcionar o consumir energía eléctrica de acuerdo a la generación de energía de los paneles y a la demanda que se requiera para el lugar de consumo, se conecta un medidor bidireccional que registra tanto la electricidad que se toma de la red tanto como la que se inyecta y la diferencia es lo que es pagado a Comisión Federal de Electricidad(CFE).

Este sistema ayuda a reducir los gastos por pago del servicio eléctrico y mientras se hace una inversión en el sistema fotovoltaico, este recurso es recuperado evitando más cuotas por servicio². Un seguidor solar es unamáquina con una parte fija yotra móvil que dispone unasperficie de captación solarlo más perpendicular al solposible a lo largo del día ydentro de sus rangos de movimiento, el objetivo del seguidor solar es aumentar el rendimiento de los paneles solares.

El uso de sistemas fotovoltaicos permite la electrificación de locales para servicios a la comunidad en países poco electrificados, en escuelas, centros de atención médica y hospitalaria, edificios religiosos y otras edificaciones de uso público. Puede permitir la iluminación, la conservación de alimentos y medicamentos, el uso de aparatos eléctricos médicos o educativos, la aplicación de sistemas informáticos, etc. Dentro de los usos anteriores se ha mencionado el uso de los sistemas fotovoltaicos en áreas de salud, en parte de Europa ya existen clínicas que son alimentados eléctricamente con sistemas solares, con la implementación del seguidor al sistema fotovoltaico se aumentó la producción de los paneles solares y en consecuencia la generación de energía eléctrica. La implementación de la clínica sustentable con seguidor solar en la universidad Politécnica de Amozoc ayudara a disminuir el consumo de energía eléctrica un 35 % del total y también se reducen las emisiones de CO₂ al medio ambiente ayudando a la conservación del planeta.

El objetivo del estudio es realizar un sistema fotovoltaico con interconexión a red de comisión federal de electricidad de la Clínica de la Universidad Politécnica de Amozoc con seguidor solar.

2.1 Materiales y métodos

Para obtener los resultados deseados y la eficiencia óptima para nuestro sistema fotovoltaico con conexión red eléctrica de CFE, utilizamos los siguientes materiales y equipos.

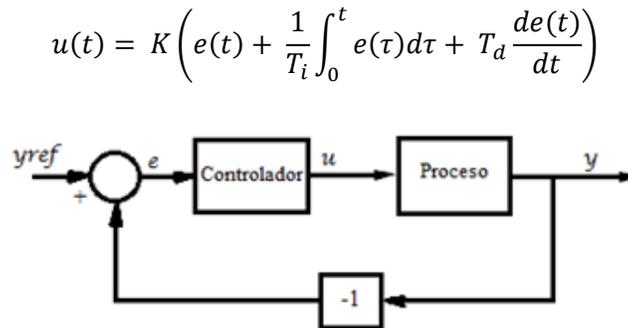
Paneles solares de 240 W, con un voltaje de 35 V, una corriente de 6.9 A, con marco de aluminio, peso de 20.5 kg, dimensiones de 1645mm x 993 mm x 60mm y una eficiencia de 15.05 %. Un inversor Fronius CL 55.5 delta, con una potencia de 65 kWp, una corriente de 53.3 A, eficiencia máxima de 96.2 %, consumo en standby menor a 1 W, consumo durante su operación de 22 W y dimensiones de 17.1 x 48.1 x 9.6 pulgadas. Para la instalación utilizamos cable # 10 con tipo de cubierta de PVC, área del conductor de 4 mm², diámetro del conductor de 2.6 mm y una resistencia de eléctrica de 4.62 Ω /km y un peso de 65 kg/km. Fusibles de disparo rápido con 4 circuitos de entrada, protección contra sobrecorriente de 30 A. Conectores para la rama fotovoltaica con bloqueo con un rango de temperatura de operación de -40°C hasta +90°C, Compatibles con cables de diámetros: 4.0 mm², 6.0 mm² y una corriente nominal máxima de 30 A. Las estructuras utilizadas fueron de aluminio anodizado, un ángulo de orientación variable, ángulo de elevación variable, altura de coronación de 2.40 m y resisten vientos de hasta 50 km /h.

En este proyecto utilizamos un PLC, así mismo usamos teorías de ingeniería de control. Se realiza en este trabajo un diseño de un seguidor solar adaptativo. El seguidor solar tiene un eje polar con una inclinación de 20°, igual a la latitud del municipio de Amozoc.

Está compuesto por motor de corriente directa, un PLC con reloj, un sensor fotoeléctrico compuesto por dos fotorresistencias y un switch de final de carrera para detectar el inicio de giro del panel fotovoltaico. En el PLC se calcula la diferencia de voltajes, y cuando se tenga diferentes voltajes captados por el sensor fotoeléctrico se determinara el ángulo de desviación del sol a partir de una diferencia de voltajes, con estas condiciones el panel se moverá en la dirección perpendicular a los rayos solares.

Para realizar esta tarea es necesario controlar un motor de corriente directa, que de acuerdo a su posición angular, sea la posición de los paneles solares. Una de las estrategias de control más utilizadas para el control de motores eléctricos de corriente directa es el PID (Astrom y Hagglund 1995). La ecuación que representa esta ley de control está dada por la siguiente ecuación y en la figura 1, se muestra la estructura del controlador PID y la planta a controlar.

Figura 2 Estructura del controlador PID y la planta a controlar



Donde $u(t)$ es la variable de control al proceso, y y_{ref} es la posición de referencia, e es el error entre la señal de referencia y señal de salida. Una representación de esta ley de control se encuentra en la figura 1, en el diagrama de bloques de la planta o proceso y la estrategia de control. Para conocer si el controlador realiza su función, es necesario (antes de la construcción física) realizar simulaciones y con esto corroborarlo. La figura 2, muestra el diagrama de bloques de la simulación realizada en matlab y en donde K_p , K_i , K_d son las ganancias proporcional, integral y derivativa respectivamente. En la figura 3, se muestran las gráficas obtenidas de dicha simulación.

Figura 2.1 Diagrama a bloques de simulación de controlador PID del motor de corriente directa

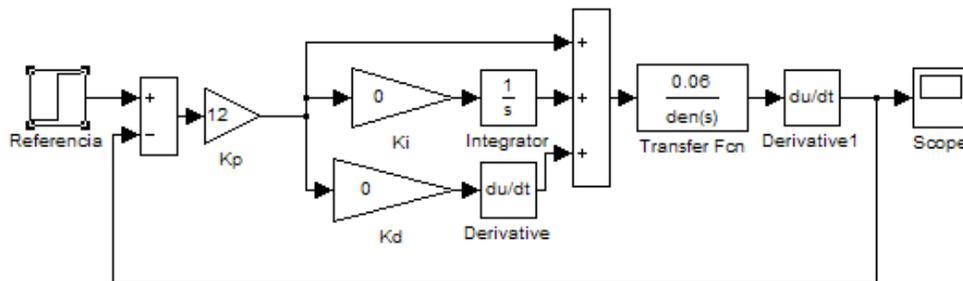
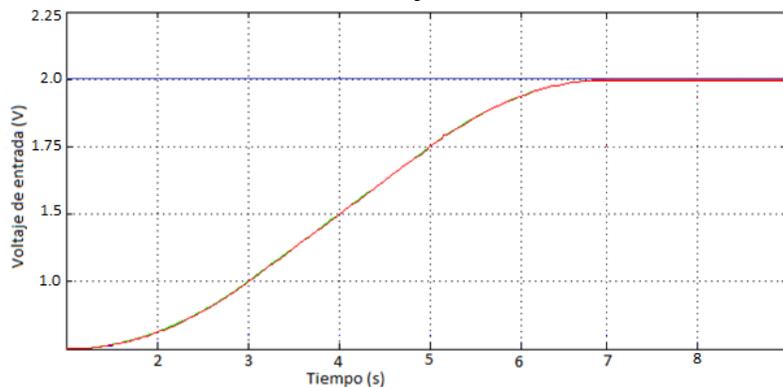


Figura 2.2 Control de velocidad dando un flujo constante como alimentación de sustrato



La humanidad ha sufrido transformaciones a lo largo de toda su historia, en ella se pueden notar cambios significativos relacionados con el uso de la energía para beneficio del hombre, actualmente el modelo energético principal es basado en combustibles fósiles y como es ya bien sabido estos al ser usados de forma desmedida han provocado un fuerte impacto ambiental de manera negativa, es por eso que se ha empezado a desarrollar tecnología de vanguardia para la producción de energía de fuentes naturales, nulas de contaminantes y virtualmente inagotables a este tipo de energía se le conoce como energía renovable³. Según la fuente y la forma de producción se clasifican en: energía eólica, energía geotérmica, energía hidráulica o hidroeléctrica, energía mareomotriz, energía solar entre otras; Pero aun la tecnología para producir esta energía y la producción que se obtienen se dice que está en etapa de desarrollo al no poder competir a la par con las formas de producción de energías convencionales para cubrir la demanda energética.

Una de las formas de producir energía de forma sustentable y de las más rentables es la energía solar, tomando en cuenta que es la fuente principal de energía del planeta, la temperatura y la presión en el interior del Sol dan origen a reacciones nucleares que liberan enormes cantidades de energía que llega al planeta de forma directa o difusa reflejada en las partículas de la atmósfera, en las nubes y demás objetos en el ambiente.

La energía liberada en el núcleo del Sol produce elevadas temperaturas, irradia a $3,846 \times 10^{26} \text{W}$ de energía, y se emite por mecanismos de radiación en forma de ondas electromagnéticas que se compara con los de un cuerpo negro a la temperatura de 5777°K . Esta energía se mide bajo dos conceptos distintos: irradiancia que es la energía incidente por unidad de superficie y tiempo⁵; y la Irradiación que es la energía incidente por unidad de superficie en cierto período de tiempo y las unidades de medida son kWh/m². La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad obtenida directamente de los rayos del sol gracias al efecto fotoeléctrico de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductor llamada celda fotovoltaica, o una disposición de metales sobre un sustrato llamado “capa fina”. También están en fase de laboratorio métodos orgánicos.

Celdas Solares

Una celda solar o celda fotovoltaica es un instrumento que genera electricidad directamente de la luz visible, debido al efecto fotovoltaico. Para poder generar energía útil, se deben interconectar un cierto número de celdas para formar un panel solar, también conocido como un módulo fotovoltaico. Generalmente, la cantidad de poder que se genera con un panel solar es de 12 voltios, los cuales se pueden utilizar de manera independiente o como conjunto en una red. El número de celdas solares o el tamaño del panel solar lo determina la cantidad de luz disponible, y la energía requerida. La cantidad de energía generada por una celda solar es determinada por la cantidad de luz que cae directamente sobre ella, lo cual a su vez está determinado por el clima y la hora del día. En la mayoría de los casos resulta necesario almacenar la energía generada, para así hacer mejor uso de las celdas solares.

Es posible conectar una red o arreglo de paneles de energía solar, conformados por celdas solares o celdas fotovoltaicas, a la red eléctrica para asistir a los paneles solares cuando la energía requerida es mayor a la energía generada. Estos costos pueden recuperarse al vender los excedentes de energía producidos a la compañía eléctrica. Las celdas solares generalmente están hechas a base de silicio, el mismo material que se utiliza para transistores y circuitos integrados. El silicio es tratado para que cuando le llegue la luz, se liberen los electrones, generando una corriente eléctrica.

Funcionamiento

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, necesitamos considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas ("agujeros") de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos⁴.

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:

- El tipo y el área del material
- La intensidad de la luz del sol
- La longitud de onda de la luz del sol

Sistemas fotovoltaicos

Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- aislados (stand alone)
- conectados a la red (gridconnected)

Los sistemas aislados, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Durante la fase de insolación es, por tanto, necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcionada a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula. Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

Los sistemas conectados en red, en cambio, normalmente no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica; al contrario, durante las horas de insolación escasa o nula, la carga viene alimentada por la red.

Un sistema de este tipo, desde el punto de vista de la continuidad de servicio, resulta más fiable que uno no conectado a la red que, en caso de avería, no tiene posibilidad de alimentación alternativa. En este caso, se pueden obtener sistemas de alta fiabilidad integrando el sistema aislado con una fuente energética tradicional, por ejemplo, diésel (sistema híbrido diesel-fotovoltaico). La tarea de los sistemas conectados a la red es, por tanto, la de introducir en la red la mayor cantidad posible de energía

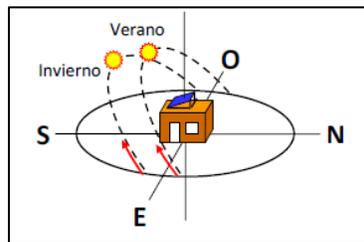
Es necesario tener en cuenta que en el caso especial de sistemas sin acumulación conectado en red, es la red misma la que desempeña la tarea de acumulador, de capacidad infinita. La carga la representa, en cambio, el usuario conectado a la red, como sucede en cualquier otro sistema “gridconnected”. Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico “gridconnected” son:

- Módulos fotovoltaicos
- Inversor para la conexión a red
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica
- Contador de energía bidireccional

Instalación dependiendo del sitio

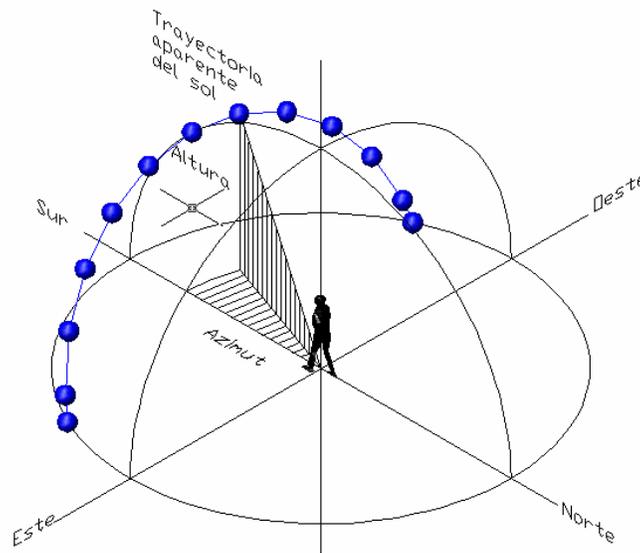
El territorio mexicano se encuentra en el hemisferio norte. En esta región, la trayectoria aparente del sol durante la mayor parte del año, desde el amanecer hasta el atardecer, se observa hacia el sur, como se observa en la figura 4.

Figura 2.3 Trayectoria del sol con respecto al hemisferio



La orientación e inclinación son aspectos determinantes en los sistemas fotovoltaicos para la producción eléctrica. Si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales⁶.

Para ubicar la posición del Sol respecto a un punto en la Tierra se hace uso de dos ángulos, el de altura (h), que es el ángulo del Sol con respecto al plano horizontal y el de azimut (as) que se mide en sentido horario a partir del sur hasta la proyección del Sol en el plano horizontal, Figura 5.

Figura 2.4 Ubicación del Sol

El valor del ángulo de altitud (L) y azimut es una función de la hora, día del año y latitud del lugar que puede ser calculado por métodos numéricos [Plasencia, 2001]. En primer lugar se determina el ángulo de declinación de la Tierra (d) debido al movimiento de traslación:

$$d = 23.45 \sin \left[(284 + N) \frac{360}{365} \right]$$

Donde N es el día consecutivo del año que se desea conocer. El ángulo horario (hs) es el ángulo comprendido entre el meridiano local y la hora de estudio, es decir, es el ángulo que se forma entre el medio día solar y la hora de referencia, que se obtiene por:

$$hs = (12 - \text{hora deseada}) \times 15$$

Con estos datos se obtiene el ángulo de la altura del Sol (h):

$$\sin(h) = \cos(L) \cos(d) \cos(hs) + \sin(L) \sin(d) \quad (2)$$

Y el ángulo de azimut del Sol (as):

$$\sin(as) = \frac{\cos(d) \sin(hs)}{\cos(h)} \quad (2.1)$$

Es necesario aplicar una función inversa cuando el ángulo azimutal es mayor a 90° (cuando la posición del Sol rebasa el eje o plano vertical este-oeste), bajo el siguiente razonamiento:

$$\cos(hs) < \frac{\tan(d)}{\tan(L)}, \text{ entonces } as = \sin^{-1} \left[\frac{\cos(d) \sin(hs)}{\cos(h)} \right] \quad (2.2)$$

$$\cos(hs) < \frac{\tan(d)}{\tan(L)}, \text{ entonces } as = 180^\circ - \sin^{-1} \left[\frac{\cos(d) \sin(hs)}{\cos(h)} \right] \quad (2.3)$$

Ahora que se conoce la trayectoria aparente del Sol, porque se provoca y como se comporta, se pueden analizar los tipos de seguidores solares.

Seguidor solar como dispositivo de optimización.

El seguidor solar es un aparato tecnológico, cuyo objetivo es aumentar la producción de los paneles fotovoltaicos y otros dispositivos de concentración por medio de sistemas mecánicos hidráulicos, eléctricos y electrónicos que siguen la trayectoria del sol como lo haría un girasol, captando de este modo la máxima radiación solar durante el mayor tiempo posible.

Un seguidor solar es una máquina automática diseñada por el hombre que cuenta con una parte fija y otra móvil que dispone de una superficie de captación solar lo más perpendicular al sol posible a lo largo del día y dentro de sus rangos de movimiento que le permiten aumentar la eficiencia o rendimiento productivo a la pantalla fotovoltaica mediante su área efectiva⁷.

Tipos de seguidores solares

Seguidor solar pasivo

El seguidor solar pasivo es un seguidor de un eje polar que carece de un control electrónico para su funcionamiento, su diseño se basa en el cambio de densidad de un líquido de bajo punto de ebullición, regularmente freón.

Seguidores solares activos

Este tipo de seguidores utiliza un control electrónico para ubicar la posición del Sol, este control se retroalimenta a base de sensores o por cálculos numéricos como los expuestos anteriormente y utilizan algún actuador para realizar el movimiento del seguidor [Pastrana, 2006].

Por los grados de libertad de los seguidores estos se clasifican en:

Seguidores de un solo eje: Estos sólo tienen un grado de libertad, es decir se mueven en un solo eje de rotación. Entre los tipos de seguidores de un solo eje tenemos el de un solo eje horizontal, el de un solo eje vertical, seguidor solar de un eje, polar y seguidor solar de un eje, azimutal.

Seguidores de dos ejes: Estos tienen dos grados de libertad, es decir dos ejes de rotación. Estos ejes están típicamente perpendiculares el uno del otro. El eje primario es el que está fijo respecto a La Tierra, y el otro eje, que está referenciado al eje primario se llama eje secundario. Hay varios tipos de seguidores de dos ejes. Estos son los más comunes

Seguidor de dos ejes de inclinación (TIP-TILT). Este tipo de seguidores tienen su eje primario horizontal respecto a la tierra. El eje secundario es perpendicular al primario. Los ejes de rotación de este tipo de seguidor están típicamente alineados con el Norte magnético o con algún paralelo Este-Oeste. Uno de los ejes permite orientar al panel en su posición Norte-Sur y el otro en la posición Este-Oeste que se encuentre el Sol en el cielo.

Seguidor de Acimut-Altitud. Este tipo de seguidor tiene su eje primario vertical respecto al suelo. El eje secundario es perpendicular al primario.

Este tipo de seguidor de dos ejes es el más implementado debido a su sencillez en la estructura, además que no requiere estar a gran altura por sobre el suelo; esto es especialmente importante en el caso de tratarse de grandes instalaciones. Este tipo de seguidor ubica a los paneles solares frente al Sol girando alrededor de su eje vertical un ángulo conocido como Acimut, y elevando la inclinación de los paneles a la Altitud a la que se encuentra el Sol.

Seguidor solar según el tipo de algoritmo de seguimiento.

Según la luminosidad, el algoritmo de este tipo de seguidor basa su funcionamiento en la señal entregada 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. Este tipo de seguimiento resulta ser de fácil implementación⁷.

Con programación astronómica, Este tipo de seguidor presenta una total independencia de las condiciones climáticas ya que su algoritmo no requiere de sensores que indique 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. Aunque este tipo de seguidor resulta de ser de gran precisión cabe mencionar que la implementación del algoritmo representa un alto grado de complejidad.

2.2 Metodología

Para realizar el dimensionamiento fotovoltaico de la Clínica primeramente se contabilizan los equipos que se utilizan obteniendo sus características eléctricas, el tiempo de uso diario en horas y posteriormente se realiza el cálculo adecuado para obtener la potencia total requerida para el buen funcionamiento de los equipos de la clínica, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 2 Características eléctricas del equipo de la clínica

Equipo	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)	Tiempo (h)	Amper-Hora	Watt-hora
Electro-estimulador Combo	5	127	2	254	8	80	10160
Compresor caliente	2	127	15	1905	8	240	30480
Compresor frio	1	127	10	1270	8	80	10160
Caminadora	1	127	10	1270	8	80	10160
Parafinero	2	127	6	762	8	96	12192
Soporte parcial	1	127	1	127	8	8	1016
Lámpara de infrarrojos	4	127	5.9	749.3	8	188.8	23977.6
Luminarias	114	127	0.11	14	8	100.32	12768
Total(diario)						772.8	98145.6

El sistema de seguimiento solar es de tipo astronómico, que mueve a un banco de cuatro paneles fotovoltaicos este está controlado a través de un PLC el cual indica al accionador la posición a la que tendrá que ajustar el panel según el algoritmo que tenga agregado.

El algoritmo se basara en los cálculos de la declinación, el ángulo horario, ángulo acimutal así como la altitud del sol, con las características específicas del lugar que será la “Universidad Politécnica de Amozoc” ubicada en la colonia de San Andrés Las Vegas en Amozoc de mota para este caso en particular no se calcula el ángulo del cenit puesto que el sistema de seguidor solar será de un solo eje y no es necesario conocer el comportamiento que se tiene en el ángulo formado por el radio vector Sol - Tierra y la vertical a la superficie del lugar

El desarrollo de todo el trabajo de materiales fue realizado en el taller de la Ingeniería en Tecnología de Manufactura, en laboratorio de la Ingeniería en Energía y el laboratorio de computo de la Ingeniería de Software de la Universidad Politécnica de Amozoc, contando con toda la herramienta ahí facilitada y con toda la asesoría que pudiese ser requerida por el equipo desarrollador.

La parte teórica ha sido desarrollada en las diversas aulas de la Universidad Politécnica de Amozoc, aprovechando los recursos que emplean los docentes dela Universidad y libros de la biblioteca escolar.

2.3 Resultados y Discusión

Después de aplicar todos los conocimientos aprendidos en el salón de clases y realizar los caculos necesarios obtuvimos los resultados que se muestran en la tabla 2.

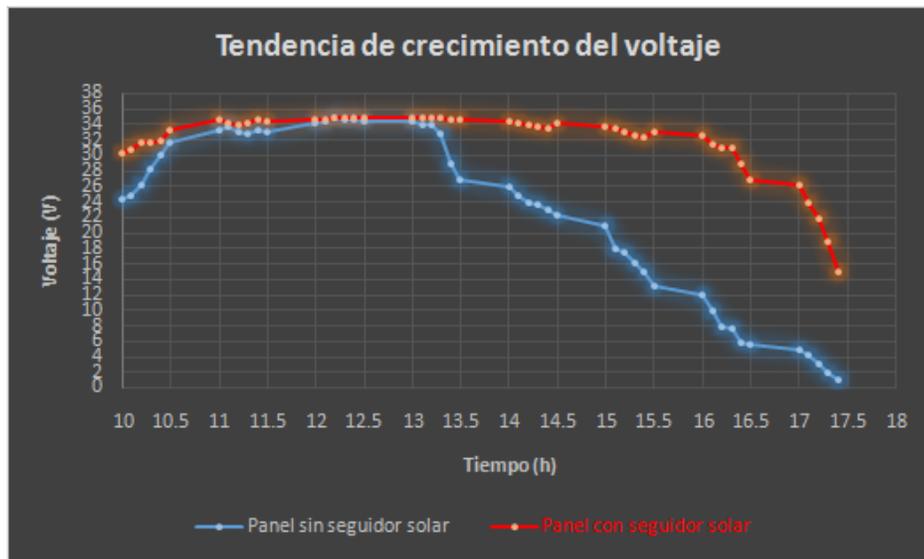
Tabla 2.1 Cálculos para el sistema fotovoltaico con conexión a red eléctrica

Días de consumo	Consumo diario kW/h	Arreglo necesario W	Tamaño del panel W	Numero de paneles	Inversor 2
1	98.1456	24233.48148	240	100.97283	Fronius CL 55.5 delta

Como se observa en la tabla 2 necesitamos 100 paneles fotovoltaicos conectados en serie-paralelo para satisfacer las necesidades eléctricas de la clínica, dos inversores para acoplar el sistema fotovoltaico con la red eléctrica de CFE y un medidor bidireccional que tomara lectura cuando inyectamos energía a le red eléctrica de CFE o cuando consumimos energía de dicha red. La colocación de los paneles fotovoltaicos es en la dirección sur para tener una mayor eficiencia todo el año y a una latitud de 20 °.

Con la implementación del seguidor solar con programación astronómica se aumenta la cantidad de radiación solar recibida por los paneles con esto se logra una optimización de la energía obtenida de una instalación fotovoltaica, como se observa en la gráfica 1, con ayuda del seguidor solar tenemos durante más tiempo los rayos del sol perpendiculares a los paneles y en consecuencia más tiempo se tiene mayor rendimiento de dichos paneles y más energía del sistema fotovoltaico.

Figura 2.5 Voltaje obtenido para un panel estático y otro con seguidor solar



2.4 Conclusiones

Se logró satisfacer las necesidades eléctricas de la clínica de la Universidad Politécnica de Amozoc, con la implementación del seguidor solar se redujo el pago de energía eléctrica de la Universidad en 22 %, ya que se aumentó el rendimiento del sistema fotovoltaico entre un 20 y 23 % en comparación con un sistema estático de las mismas características. Se demostró que con el seguidor solar los paneles solares obtienen la máxima captación de energía durante todo el día. Con la puesta en marcha del sistema fotovoltaico con seguidor solar se dejara de emitir a la atmosfera 25578 ton $\text{CO}_2\text{eq. /año}$, esto equivale a 76 735 árboles, con proyectos de energía sustentables, como este, podemos remediar en parte las catástrofes que nuestro planeta está sufriendo por el cambio climático y ayudamos a la sociedad a tomar conciencia de la utilización de dichas energías que cada vez son más económicas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Politécnica de Amozoc por darnos la oportunidad de realizar proyectos de esta magnitud y por todos los apoyos incondicionales tanto económicos como laborales y morales.

Referencias

Antonio Lozano, Félix Barreras, Uso de combustibles fósiles: las centrales térmicas, LITEC, CSIC – Universidad de Zaragoza.

Alcor, C. E.(2002). Instalaciones solares fotovoltaicas. Tercera edición. España.

Castilla, J., L. (2007). Introducción a la energía solar fotovoltaica. Pp: 15-16. Manual del instalador energía fotovoltaica. Graficas Celarayn. España.

Becerra.(2010). Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red aplicaciones de pequeña escala. (En línea). <http://www.iie.org.mx/proyectofotovoltaico/>. (Página visitada 7 Mayo. 2013).

González, R., Medrano, C. Y Lagunas, J.(2002). Pequeños Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica, fase II: Informe Técnico Anual 2001, Informe Interno IIE/01/14/11779/I002/P, febrero de 2002.

González, R., Jiménez, H. Y Lagunas, J. (2003).Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Boletín IIE, octubre-diciembre del 2003. México.

Seguidores Solares, una Optimización de la EnergíaSolar”, [Online] Disponible en:http://www.elporvenir.com.mx/notas.asp?nota_id=253973.

Astrom K. Hagglund T. (NAO) PID controller (2002): Theory, desing and tunning, second edition.

Y. Pastrana, J.Oviedo, R. Cogollo, Grupo de Materiales y Física Aplicada, Departamento de Física, Universidad de Córdoba, Montería (2006). Diseño y construcción de un circuito de control para seguidores solares electrónicos,