

Importancia técnica de los sistemas de riego por goteo por medio de energía solar para invernaderos y comunidades rurales.

The technical importance of drip irrigation systems by solar energy for greenhouses and rural communities.

Erik Juárez Cortes

Universidad Tecnológica de Tecamachalco

ek_24@hotmail.com

Resumen

Este trabajo trata acerca de un sistema de riego fotovoltaico para la zona de Tecamachalco, Puebla. Pero sobre todo para ver la importancia de los conocimientos técnicos en este tipo de sistemas. Se localiza en la parte central del estado de Puebla; sus coordenadas geográficas son los paralelos $18^{\circ} 47' 06''$ y $18^{\circ} 57' 06''$ de la altitud norte y los meridianos $97^{\circ} 40' 00''$ y $48^{\circ} 54'$ de longitud occidental, tiene una superficie de 218.15 km^2 que se ubica en el lugar 55 con respecto a los demás municipios del estado.

Su altitud media sobre el nivel del mar es de 2.055 m, las colindancias del municipio son al norte con Quecholac y Palmar de Bravo, al sur con Xóchitlan Todos Santos, al oriente con Yehualtepec y al poniente con San Salvador Huixcolotla.

Para dicho propósito se utilizó la elevada radiación solar con que cuenta la zona, convirtiendo la energía proveniente del sol, en energía eléctrica, a través de unos paneles denominados fotovoltaicos.

El objetivo principal que se busca en la realización de este proyecto, es el de diseñar un sistema de riego por goteo mediante paneles solares para el riego de invernadero y dar a

conocer la importancia que tiene para diversas aplicaciones que puedan colaborar a no utilizar combustibles fósiles, sino amigables con el ambiente.

Para determinar los requerimientos del sistema, se procedió a la clasificación del tipo de suelo de la zona, para de esta manera realizar el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, obteniendo el caudal necesario para el óptimo desarrollo del cultivo.

Posteriormente, se efectuó la obtención de cotas del lugar donde se pretende instalar el sistema de bombeo, para de esta forma, determinar la altura manométrica y posterior la selección de la bomba.

De igual manera, se realizó la selección de accesorios de riego y paneles solares necesarios para accionar la bomba, controlador de carga, inversor de corriente y baterías, junto con la orientación e inclinación óptima para dichos paneles.

Una vez especificados los accesorios para dicha aplicación se debe proceder a la instalación del equipo tomando en cuenta todos los aspectos técnicos para obtener la eficiencia energética necesaria, ya que si se instalan de manera incorrecta puede haber costos innecesarios y mal aprovechamiento de la energía.

Palabras clave: Corriente eléctrica, Voltaje, Potencia eléctrica, Efecto fotovoltaico, Controlador de carga

Abstract

This work is about a photovoltaic irrigation system for the area of Tecamachalco, Puebla. But above all to see the importance of technical knowledge in this type of systems. It is located in the central part of the state of Puebla; Its geographical coordinates are the parallels $18^{\circ} 47' 06''$ and $18^{\circ} 57' 06''$ of the north altitude and the meridians $97^{\circ} 40' 00''$ and $48^{\circ} 54'$ of western longitude, has a surface of 218.15 km² that is located In place 55 with respect to the other municipalities of the state.

Its average altitude on the sea level is 2,055 m, the bordering of the municipality are to the north with Quecholac and Palmar de Bravo, to the south with Xóchitlan Todos Santos, to the east with Yehualtepec and to the west with San Salvador Huixcolotla.

For that purpose, the high solar radiation used by the area was used, converting the energy from the sun into electrical energy through panels called photovoltaic.

The main objective sought in the realization of this project is to design a drip irrigation system using solar panels for greenhouse irrigation and to make known the importance that it has for various applications that can collaborate not to use fossil fuels, but friendly to the environment.

In order to determine the requirements of the system, the soil type of the area was classified so as to calculate the evapotranspiration of the crop, obtaining the necessary flow for the optimum development of the crop.

Subsequently, it was done obtaining the dimensions of the place where the pumping system is to be installed, in order to determine the manometric height and subsequent selection of the pump.

In the same way, the selection of irrigation accessories and solar panels required to operate the pump, load controller, current inverter and batteries were made, together with the optimum orientation and inclination for these panels.

Once the accessories for this application have been specified, the equipment must be installed taking into account all the technical aspects to obtain the necessary energy efficiency, because if they are installed incorrectly there may be unnecessary costs and poor use of energy.

Key words: Electric current, Voltage, Electrical power, Photovoltaic effect, Charge controller.

Fecha recepción: Enero 2016

Fecha aceptación: Junio 2016

Introducción

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los comienzos de la historia, puede llegar a satisfacer gran parte de las necesidades, si se sabe cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente se irradia sobre el planeta.

El empleo de la energía por parte del hombre ha sido una necesidad y un reto, y las energías renovables han jugado un papel importante desde que se ha descubierto su gran potencial.

El desarrollo de la tecnología y el descubrimiento de nuevos vectores energéticos han permitido que, con el paso del tiempo, las energías renovables tengan un peso dentro de ellos, por lo que ahora es posible aprovecharlos con otros fines, como es la producción de la electricidad.

(Pérez et al, 2005) Vivimos en un país que depende de la producción del petróleo para cubrir su demanda energética, uno de los componentes de la economía más sensibles a la carencia de este producto es la agricultura bajo riego, en la actualidad en el sistema de riego es común utilizar un motor de combustión interna que requiere de combustibles fósiles que afectan directamente los costos de producción y trae consecuencias nefastas para la emisión de CO₂.

Por lo que se vuelve necesaria una fuente de energía alterna que sea amigable con el ambiente como lo es el sistema de riego por goteo utilizando energía solar fotovoltaica.

Este sistema consiste en extraer agua de pozos o fuentes superficiales mediante bombas de agua, con la aplicación de paneles fotovoltaicos, ya que estos dispositivos captan la luz solar, que es una fuente de energía inagotable y sin residuos.

La energía solar absorbida por las celdas fotovoltaicas pondrá en operación la bomba de agua, ubicada en la cercanía del área de cultivo de donde es descargada mediante cinta de riego por goteo que trabajan a baja presión.

El sistema bombea agua para el desarrollo y producción de manera automatizada mediante un Control Lógico Programable (PLC), para lo cual necesitaríamos un banco de baterías el cual permitirá que se tenga la energía acumulada para el funcionamiento del sistema ya que operara en diferentes periodos durante el día y noche.

El impacto esperado con este proyecto es la utilización intensiva de la tierra aprovechando varios periodos de siembra en el año ya que los cambios climáticos amenazan la estabilidad de la producción y la propia productividad, se reflejan beneficios como ventajas económicas para la producción y a la vez podemos apoyar la fuerza laboral de nuestro país.

Este trabajo consiste en proponer una solución distinta y aplicable a las comunidades rurales que cuenten con un invernadero y que no cuenten con suministro de energía eléctrica para el riego de sus huertos o para sus invernaderos, es ideal para ciertas aplicaciones donde se requiera extraer agua para darle algún uso posterior como, por ejemplo: el sistema de riego por goteo a través de energía solar.

Todo lo anterior, con el fin de entregar una opción limpia, de nulo impacto ambiental para zonas rurales, y a su vez contribuir a una mejora en los sistemas de riego en la zona, como también en la calidad de vida de los lugareños.

Planteamiento del problema.

El problema con que se encuentra, es la de no contar con una red eléctrica para atender los requerimientos de riego solicitados por los cultivos, en esta zona de Tecamachalco y sus alrededores (o cualquier comunidad rural)

La problemática que se tiene, es la de extraer agua de los pozos con técnicas poco eficientes, llegando incluso a no regar en ciertos días, resultado que a la larga dificulta el correcto y debido crecimiento de los cultivos existentes en los huertos o en sus invernaderos.

(J. Houghton 2002) define al invernadero como “un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la

humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas” Siendo el efecto producido por la radiación solar que, al atravesar un vidrio u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay adentro; estos, a su vez, emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar, por lo cual no pueden atravesar los vidrios a su regreso quedando atrapados y produciendo el calentamiento. Las emisiones del sol hacia la tierra son en onda corta mientras que de la tierra al exterior son en onda larga, la radiación visible puede traspasar el vidrio mientras que una parte de la infrarroja no lo puede hacer.

El cristal o plástico usado para un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, y su efecto es atrapar energía dentro del invernadero, que calienta el ambiente interior.

También sirve para evitar la pérdida de calor por convección, esto puede ser demostrado abriendo una ventana pequeña cerca de la azotea de un invernadero: la temperatura cae considerablemente. Por lo tanto, se percibe la necesidad de implementar este sistema que sirva de apoyo al agricultor de las zonas rurales del Estado de Puebla, teniendo un piloto en la región de Tecamachalco, ya que ofrece las condiciones adecuadas como son clima, suelo, tierra, ubicación geográfica y acceso, lo que facilita el desarrollo de este proyecto de investigación,

Justificación

Se ha venido insistiendo en la necesidad de que las instalaciones de invernaderos reúnan un mínimo de características técnicas que permitan la creación de un clima adecuado para los cultivos, pero está claro que ello exige una serie de condiciones que faciliten un adecuado manejo y que a su vez las propias estructuras lo justifiquen.

De los invernaderos se busca conocer si mediante energías de carácter renovable se pueden lograr invernaderos autosuficientes desde el punto de vista energético y si dicha posibilidad es viable para llevarla a cabo con las soluciones técnicas que existen en la actualidad.

En definitiva, se trata de dotar a las explotaciones de invernaderos de energía eléctrica procedente de fuentes de energía alternativa, en este caso energía solar, que resulta aconsejable tanto técnica como económicamente.

Objetivos

General

Diseñar un sistema de riego para invernadero a través de la energía fotovoltaica.

Específicos

Aplicar los conocimientos adquiridos para el funcionamiento del invernadero en un prototipo.

Diseñar el sistema de acuerdo al espacio con que se cuenta.

Metodología de Trabajo.

- Analizar el lugar donde se pretende instalar el sistema de bombeo.
- Identificación del tipo de suelo donde se encuentran los cultivos.
- Determinación del requerimiento hídrico del cultivo a regar.
- Revisión de la distribución solar a lo largo del año en el lugar.
- Exploración acerca de tecnología y distribuidores de paneles FV.
- Diseño del sistema de bombeo (Selección de paneles FV y accesorios).
- Determinación de la posición e inclinación de los paneles FV

MARCO TEÓRICO

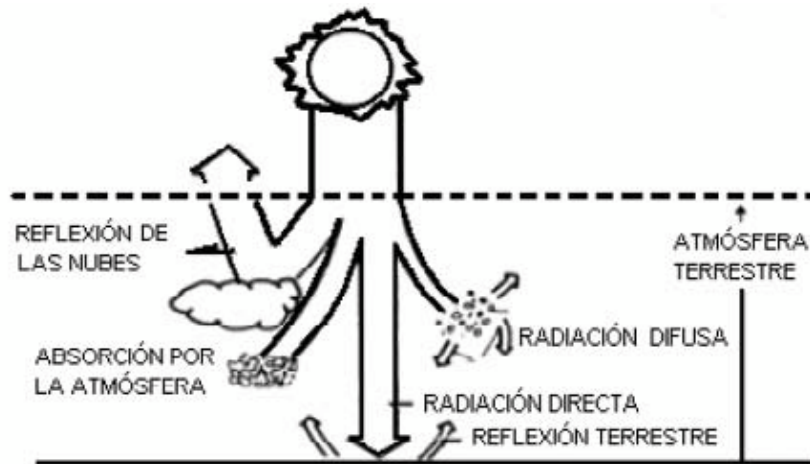
Se pretende entregar ciertas nociones básicas, que permitan un mejor entendimiento de los factores que afectan la captación de la energía solar. Además, describir los principios bajo los cuales funcionan los dispositivos de captación solar y tecnología de fabricación.

La Energía solar

(Arellano et al, 2011) Es la energía radiante producida en el Sol, como resultado de reacciones nucleares de fusión, ésta llega a la Tierra a través del espacio que interactúa con

la atmósfera y la superficie terrestre. Sin embargo, del total de energía no toda llega a la tierra, ya que solo $\frac{3}{4}$ partes de ella entran a través de la atmósfera.

Esta energía del astro solar, llega a la tierra en forma de radiación, en la siguiente figura se muestran los diferentes procesos que sufre la energía procedente del Sol antes de ser captada por el aparato receptor.



Esquema de los Efectos de la Atmósfera sobre la Radiación.

Unidades de Medida

La Energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de cierto periodo de tiempo, se mide en Kilowatt hora por metro cuadrado (Kwh/m^2).

(Perpiñán O., et al 2008) Es importante hacer notar que ésta es una unidad de energía y no de potencia, también algunos libros, utilizan como unidad el Mega Joule por metro cuadrado (MJ/m^2) o unidades de calor como calorías por metro cuadrado (Cal/m^2) o BTU/ft^2 .

$$1 KWh/m^2 = 3.61MJ/m^2$$

$$1 KWh/m^2 = 860Cal/m^2 = 317.02BTU/ft^2$$

Dado que la distancia del sol a la tierra es relativamente fija, el valor de la irradiación fuera de la atmósfera terrestre, se fijó en $1,353W/m^2$. A este valor se le llama constante solar.

Debido a las condiciones de nubosidad, vapor de agua, gases, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, a medida que la radiación solar atraviesa la atmósfera terrestre, ésta sufre procesos de reflexión, refracción y absorción, por lo que su magnitud disminuye.

(Duffie J., Beckman W., 1991) Bajo condiciones de cielo despejado, a la radiación solar máxima que se puede recibir en la superficie terrestre, se le asignó la magnitud de $1,000\text{W}/\text{m}^2$ que en realidad la intensidad media de la radiación solar sobre la superficie terrestre es $630\text{W}/\text{m}^2$

La radiación que llega a la superficie terrestre se compone de radiación directa y radiación difusa. La primera se refiere a la que logra filtrarse de los procesos atmosféricos anteriormente mencionados y su valor máximo se obtiene en condiciones de cielo despejado. La radiación difusa es la que se recibe después de haber cambiado de dirección debido a los procesos atmosféricos de reflexión y refracción. Al conjunto de ambas componentes se le conoce como radiación global.

A lo largo del día, la irradiación que recibe un captador varía cada instante, en condiciones atmosféricas iguales los valores mínimos se presentarán al amanecer, aumentando hasta llegar a un valor máximo al mediodía y posteriormente disminuir hasta alcanzar valores mínimos al atardecer, este fenómeno es consecuencia de la rotación de la tierra.

A la cantidad de irradiación acumulada durante un tiempo determinado se le llama Insolación, si la unidad de tiempo es una hora (h), entonces las unidades de insolación son $\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$, generalmente la insolación se reporta como horaria, diaria, mensual, estacional o anual.

Otra forma de expresar la insolación es mediante el término Hora Solar Pico (HSP), el cual se refiere a la energía acumulada durante una hora a una irradiación promedio de $1,000\text{W}/\text{m}^2$. Observe la (2)



Representación de horas pico. Fuente www.geofisica.unam.mx

Además de las condiciones atmosféricas y el movimiento de rotación de la tierra, existe otro factor que ocasiona variaciones en la irradiación solar a través del tiempo sobre un captador, el movimiento de traslación se refiere a la trayectoria elíptica que sigue la tierra alrededor del sol, responsable de las estaciones del año.

La irradiación solar promedio en México es de aproximadamente $5.7kWh/m^2$ por día, que es equivalente a 50 veces la generación anual de electricidad en México.

La radiación solar en Alemania, país líder en instalación de sistemas fotovoltaicos es de aproximadamente $3.2kWh/m^2$, el 56% de la radiación solar en México, lo que significa que el tamaño de un sistema fotovoltaico para generar la misma cantidad de energía que en México debe ser casi el 80% más grande.

Instrumentos de Medición de Radiación Solar

Radiación Solar Directa

El instrumento de medición se llama pirheliómetro, este mide la energía que proviene directamente del sol, evitando la radiación difusa desde otras direcciones.

El instrumento debe ser orientado continuamente hacia el sol, como sensor se utiliza una placa negra, cuya temperatura, que se mide con un sistema de termocuplas, varía con la radiación solar directa que llega a la placa.



Pirheliómetro. (Fuente:<http://www.labsolar.utfsm.cl/instrumentos/pirheliometro.jpg>)

Radiación Solar Global (directa + difusa)

El instrumento de medición se llama piranómetro, y permite evaluar toda la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa y la difusa, unas placas pintadas de blanco y de negro actúan como sensores (ver fig.3), las placas negras se calientan más que las blancas, debido a que absorben más radiación, mediante termocuplas se mide la diferencia de temperatura entre las placas blancas y negras, la cual es función de la radiación solar global.

Para evitar el enfriamiento producido por el viento y el efecto de la contaminación atmosférica sobre los sensores, éstos se aíslan mediante una cúpula de vidrio. Para medir la radiación difusa, se instala un sistema que evita la radiación solar directa sobre el sensor (ver fig.4).



Piranómetro (Lado izq.) y Cúpula de vidrio (lado Der.)
(Fuente:<http://www.atmosfera.cl/HTML/temas/instrumentacion/instr6.htm>)

Radiación Global

El instrumento de medición se llama pirorradiómetro, y permite evaluar toda la energía radiactiva que recibe una superficie, incluyendo la radiación solar global y la radiación infrarroja que viene de la atmósfera, la combinación de dos pirorradiómetros en un solo equipo de medición, con uno expuesto hacia arriba y el otro hacia la superficie, permite medir el balance neto radiactivo a nivel de superficie.

Los sensores son similares a los otros equipos de radiometría, los sensores se protegen mediante cúpulas de silicona, para evitar la condensación interior, se inflan con aire con bajo contenido de vapor de agua.



Radiómetro de flujo neto.

(Fuente:<http://www.atmosfera.cl/html/temas/instrumentacion/instr6.htm>)

Irradiación

La potencia de la radiación solar, que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada, se le conoce como irradiación y se mide en unidades de W/m^2 .

Se sabe que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que constituyen lo que se conoce comúnmente como masa de aire (AM)¹, a medida que la luz solar la atraviesa, ésta sufre procesos como los anteriormente nombrados, pero que vale la pena recordar como son: absorción, reflexión y refracción, y lo que, en consecuencia hace que la irradiación disminuya su valor respecto de afuera de la atmósfera, bajo condiciones de atmósfera

¹ Por sus siglas en inglés Air Mass.

limpia, sin ningún proceso óptico y estando el Sol en el cenit, la irradiación máxima que un captador podría recibir es de $1,000 \text{ W/m}^2$ como un valor promedio normalizado, para un día despejado, la componente recibida mayormente en el captador es la directa, mientras que en un día nublado, es la componente difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes.

A lo largo del día y bajo condiciones atmosféricas iguales, la irradiación recibida en un captador varía cada instante, presentando valores mínimos en el amanecer y atardecer, y adquiriendo valores máximos al mediodía, esto es, por ejemplo, que a las 10 am, el valor de la irradiación sea diferente y menor al que se obtiene a las 12 pm, ya que la distancia de la luz solar al mediodía es mínima. Lo anterior, se debe por efectos horarios y estacionales.

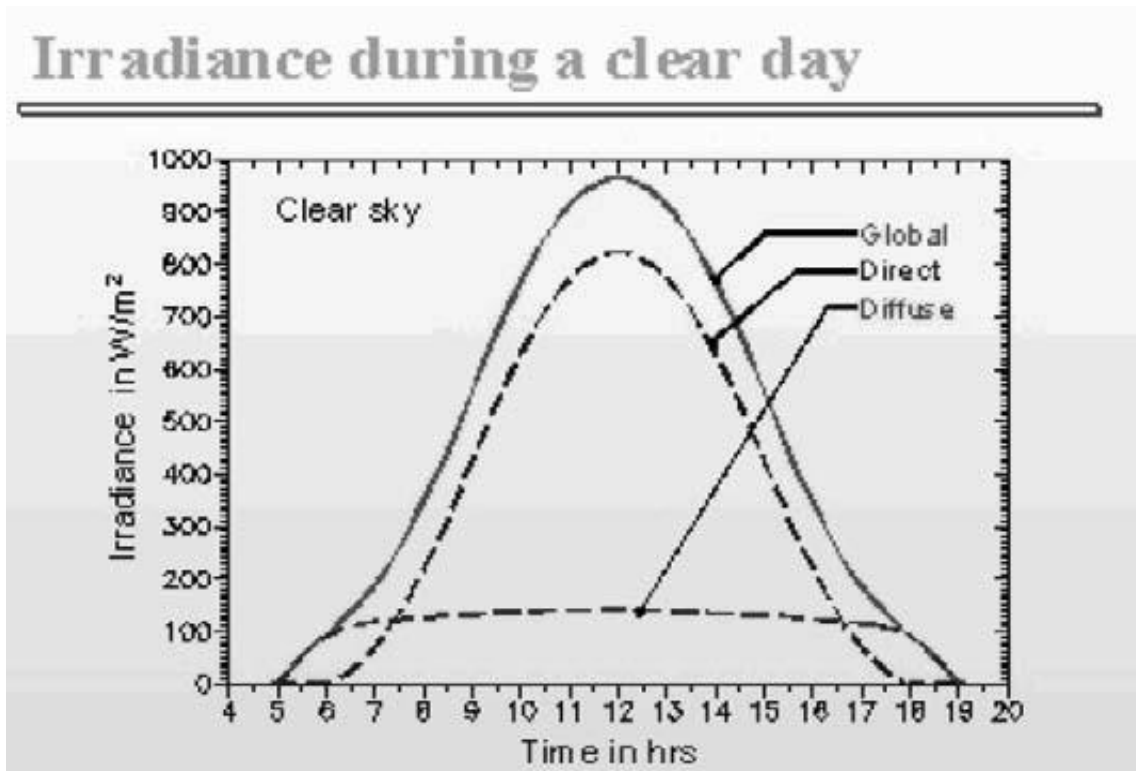


Fig. Irradiación durante un día despejado. (Fuente: tec.upc.es/esf/Radiacion_Solar.pdf)

Con el fin de proporcionar un estándar en la industria fotovoltaica, los fabricantes de paneles han adoptado por definir una nueva unidad llamada SOL.

$$1\text{SOL} = \underline{1\text{KW}}$$

$$\text{m}^2 = \underline{100\text{mW}}$$

cm Con este valor, se determina la máxima potencia eléctrica de salida de un panel fotovoltaico y, además, es de gran utilidad para comparar paneles de distintas procedencias.

Insolación.

Éste es otro concepto importante, el cual corresponde al valor acumulado de la irradiación en un tiempo dado, si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Watts-hora por metro cuadrado ($\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$). Generalmente, se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual, la insolación también se expresa en términos de horas solares pico (HSP).

Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiación promedio de $1,000 \text{ W}/\text{m}^2$ La energía que produce un arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe.



Irradiación y horas solares pico (Insolación).

(Fuente: http://www.re.sandia.gov/mat/energ_solar_basica/sld005.htm)

Posición y Orientación de la superficie captadora.

La orientación correcta de los equipos fotovoltaicos es un asunto diferente, para cada latitud del sitio o lugar en que se deseen integrar este tipo de sistemas, para sacar el mayor provecho al equipo, es necesario, que tenga una dirección que vaya siguiendo la trayectoria del sol durante el día. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones existentes, esto no se puede cumplir, ya que la ubicación del o los paneles es de manera fija, por lo que la posición del equipo se encuentra sujeto a dos aspectos fundamentales:

- Orientación
- Inclinación

Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados hacia el sol, en un ángulo perpendicular con éste a mediodía, por lo general, los paneles solares son colocados sobre un techo o una estructura y tienen una posición fija que no pueden seguir la trayectoria del sol en el cielo.

Respecto de la orientación del panel fotovoltaico, la orientación más eficiente será cuando su superficie de captación se encuentre dirigida hacia el norte, dado que permite aprovechar el mayor número de horas de sol, independientemente de la estación del año y de la latitud.

En aquellos casos en que dicha colocación no sea posible por condiciones constructivas como obstrucciones, sombras, etc., debe orientarse tratando de aprovechar el mayor número de horas de sol.

Es posible instalar seguidores solares con el objetivo de que los paneles estén colocados permanentemente en posición perpendicular al sol, sin embargo, esto involucra un mayor costo del proyecto, costos de mantenimiento y un mayor riesgo de fallas, por lo que su utilización debe ser a criterio del diseñador.

Para el caso de la orientación, en el hemisferio norte, debido a que el sol está inclinado la mayor parte del tiempo al sur, la orientación de los paneles fotovoltaicos debe ser al sur. Lo contrario sucede en el hemisferio sur



Ilustración del movimiento del sol respecto a un panel fotovoltaico.

De acuerdo con la inclinación del colector, es aquella que asegura la mayor captación de energía solar, lo que depende igualmente de dos factores:

- Latitud del lugar de emplazamiento.
- Período de utilización durante el año.

Algunos fabricantes, recomiendan que se debe encontrar el punto de producción adecuada en el invierno, con lo que se logrará una generación óptima el resto del año, el ángulo de inclinación es medido entre el panel solar y el plano horizontal. Los paneles deben colocarse en posición horizontal únicamente en zonas cercanas al ecuador.

Tecnología de Fabricación de Celdas Solares.

La evolución de la tecnología de las celdas solares ha experimentado importantes avances desde su invención, ha ido paralela en desarrollos y avances tecnológicos producidos en diferentes materiales para diferentes procesos.

Los dispositivos fotovoltaicos de aplicación a la conversión de la energía solar, deben construirse con materiales semiconductores sensibles a la radiación solar de forma que el efecto fotovoltaico se produzca de forma eficiente.

No, solamente, es preciso disponer de un semiconductor sensible a todas las longitudes de onda del espectro solar, sino que, además, debe ser posible fabricar en serie con él, uniones o heterouniones fotovoltaicamente eficientes y a un costo moderado, es claro que rendimiento y costo son los dos parámetros fundamentales del éxito de una tecnología.

En la actualidad, se encuentran altamente comercializadas las celdas de silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo, este último, presenta todavía bajos niveles de eficiencias, por lo que su uso se ve restringido a lugares en los cuales no existan restricciones con respecto al área de colección o circuitos de baja potencia, como calculadoras de bolsillo.

Las celdas de silicio monocristalino están formadas por una estructura cristalina uniforme; en cambio, las celdas de silicio policristalino están formadas por pequeñas estructuras ubicadas arbitrariamente, estos granos hacen que la estructura no sea uniforme y se obtenga una eficiencia menor.

En la 10, se observa los dos tipos de materiales utilizados en la fabricación de celdas de silicio.



Granos de Silicio Monocristalino y Policristalino. (Fuente: <http://www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/dixon/tesis/Soto.pdf>)

Celdas de Silicio Mono y Policristalino.

Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente, el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, posteriormente las obleas se pulen por ambas caras, durante el proceso de corte y pulido se desperdicia casi la mitad del material original, una vez pulidas las obleas se introduce por difusión a alta temperatura el material, típicamente boro y fósforo, con lo cual se convierte a la oblea en un semiconductor tipo P si se le añadió boro, o tipo N si se añadió fósforo, la mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0.5 V, independientemente del área superficial de la celda; sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará.

Este tipo de celdas solares, vale decir, las de silicio mono y policristalino son las más producidas industrialmente, en las siguientes se muestran algunos módulos de silicio, monocristalino y policristalino, en donde se puede apreciar el color azul característico del silicio dopado del módulo multicristalino y el color más oscuro del silicio monocristalino.



Módulo de celdas solares de Silicio Monocristalino. (Fuente: <http://www.siemenssolar.com/>)



Módulo de celdas solares de Silicio Multicristalino. ([Fuente: http://www.inelsacontrols.com/modulos_fotovoltaicos.htm](http://www.inelsacontrols.com/modulos_fotovoltaicos.htm))

Celdas de Silicio Amorfo.

La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica, los átomos de silicio que forman al sólido no tienen el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso de las celdas anteriormente nombradas.

La obtención de celdas solares de bajo costo que puedan ser producidas masivamente sin que se produzca escasez de las materias primas necesarias, ha sido el objetivo del desarrollo de la tecnología de las celdas solares de silicio amorfo; sin embargo, hay algunos inconvenientes que han contenido la penetración en el mercado de los módulos fotovoltaicos amorfos, como es el caso del bajo rendimiento de conversión fotovoltaico que tienen respecto de las otras celdas de silicio mono y policristalino.

El silicio, utilizado en la fabricación de las estas celdas, se obtiene a partir de elementos como arena o cuarzo, los cuales se presentan en la naturaleza con altos grados de impurezas, por este motivo es necesario procesarlos para obtener un silicio con propiedades de semiconductor y así lograr celdas de alta eficiencia.

Es importante, destacar que el silicio es el segundo elemento más abundante en la superficie terrestre, luego del oxígeno, a continuación, se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** un resumen de las principales ventajas y desventajas de la tecnología fotovoltaica de los tres tipos de celdas antes descritas.

Resumen de la Tecnología Fotovoltaica.

| TIPO DE CELDA | EFICIENCIA (%) | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-----------------------------------|----------------|--|------------------------------|
| Silicio Monocristalino | 12 a 14 | • Tecnología bien desarrollada y probada | • Emplea mucho material caro |
| | | • Estable. | • Mucho desperdicio (casi |
| | | • Mayor eficiencia. | • Manufactura costosa |
| | | • Se fabrica en celdas | |
| Silicio Policristalino | 11 a 13 | • Tecnología bien desarrollada y probada | • Material Costoso |
| | | • Estable | • Mucho desperdicio |
| | | • Buena eficiencia | • Manufactura costosa |
| | | • Celdas Cuadradas | • Menor eficiencia que el |
| Silicio Amorfo o Película Delgada | 4 a 8 | • Menos costoso que el | |
| | | • Utiliza muy poco | • Degradación |
| | | • Alto potencial y | • Menor eficiencia |
| | | • Costo bajo, 50% del | • Menor durabilidad |
| | | • Menos afectado por bajos niveles de insolación | |

CONCLUSIÓN

Contar con los conocimientos técnicos sobre el uso de energías alternativas en aplicaciones agrícolas, particularmente en el uso de la energía fotovoltaica para invernaderos y cultivos en comunidades rurales o de escasos recursos es de mucha importancia ya que permite al agricultor sacar el mayor provecho a su trabajo, y tener mayores oportunidades de salir adelante. Las instalaciones creadas con apoyo técnico harán que los resultados esperados en su aplicación sean los mejores y se pueden encontrar aún mayores beneficios para hacer que la recuperación de la inversión sea más rápida.

Además de apoyar la economía familiar permite que se puedan obtener productos de buena calidad que mejoren la calidad de vida de las personas de escasos recursos que tengan acceso a algún apoyo por parte de organizaciones ya sea del gobierno o sociales.

Bibliografía

Pérez J., Sánchez L., (2005) *La gestión de la demanda de electricidad* Mercedes Pardo.
Documento de trabajo 65(I)/2005 Pág. 20-25

Houghton J., (2002). *Física de la atmósfera*, Cambridge University Press, USA.

Arellano J., Guzmán J. (2011). *Ingeniería Ambiental* Alfaomega grupo editor S. A. de C.
V. México, Páginas 99-101

Duffie J., Beckman W., *Solar Engineering of Thermal Process*, John Wiley & Sons, Inc.,
1991 capítulos 1-3

O. Perpiñán, E. Lorenzo, M. A. Castro, and R. Eyras. (2008) *On the complexity of radiation models for PV energy production calculation*. Solar Energy, (125-131)