



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLAS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**“QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA EL BOMBEO FOTOVOLTAICO”**

**TESIS**

**PRESENTA:**

**SEBASTIAN VILLASEÑOR RICO**

**PARA OBTENER EL GRADO**

**LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. LUIS ARMANDO OCHOA FRANCO**

**A DICIEMBRE 2015 MORELIA MICHOACAN**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A MIS PADRES**

#### **Gracias a Ma. Jesús Rico Barriga y Pedro Villaseñor Facio**

Por todo su apoyo que siempre me han otorgado, por sus enseñanzas, por la educación y la enseñanza que día a día me dan, por darme la vida, les agradezco el sacrificio realizado para poder llegar hasta donde estoy, por siempre estar dispuestos a ayudarme y no dejar que me rinda, por su amor y todo su cariño los quiero mucho.

### **A MIS HERMANOS**

Le agradezco a mi hermano German y hermana Mónica por los consejos y su apoyo incondicional, también

#### **A MARIA DEL CARMEN RAMIREZ RODRIGUEZ**

por llenar mi vida de alegrías, de amor mi vida y siempre estar conmigo en todo momento, y haber compartido tantas cosas durante toda la carrera.

### **A MIS MAESTROS**

Gracias a todos mis maestros que me impartieron clases, por sus enseñanzas, por orientarme y compartir su conocimiento.

Gracias especialmente a mi asesor el Dr. Luis Armando Ochoa Franco, por compartir su tiempo conmigo y orientarme durante todo este tiempo para desarrollar esta tesis muchas gracias.

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| 1.- INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 2.- MARCO TEÓRICO .....  | 3  |
| 2.1 Antecedentes .....   | 3  |
| 2.2.- El bombeo fotovoltaico en México.....  | 4  |
| 2.3.- Planteamiento del problema.....  | 5  |
| 2.4.- Objetivos .....  | 6  |
| 2.5.- Justificación .....  | 7  |
| 3.- TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN EL BOMBEO DE AGUA.....                                    | 8  |
| 3.1.-Recurso Solar .....   | 8  |
| 3.1.1.- Radiación Solar (México).....  | 9  |
| 3.1.2.- Efecto de la radiación solar.....  | 12 |
| 3.1.3.- Arreglo fotovoltaico.....  | 13 |
| 3.1.4.- Decremento de la energía.....  | 16 |
| 3.2.- Celdas fotovoltaicas .....   | 18 |
| 3.2.1.- Componentes de las celdas fotovoltaicas.....                                     | 19 |
| 3.2.2.- Módulos fotovoltaicos .....  | 20 |
| 3.2.3.- Efecto de la radiación solar y la temperatura sobre el módulo fotovoltaico ..... | 24 |
| 3.2.4.- Conversión de la energía solar.....  | 26 |
| 3.2.5.- Orientación adecuada del módulo fotovoltaico .....                               | 28 |
| 3.3.- Equipo de bombeo .....   | 30 |
| 3.3.1.- Bombas centrifugas.....  | 31 |
| 3.3.2.- Bombas volumétricas.....   | 33 |
| 3.3.3.- Almacenamiento del agua.....   | 35 |
| 3.3.4.- Tuberías .....   | 36 |
| 4.- DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO .....                          | 37 |
| 4.1.- Diseño hidráulico de un sistema de bombeo.....                                     | 37 |
| 4.1.1.- Carga estática .....   | 38 |
| 4.1.2.- Carga dinámica .....   | 38 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.- Determinación de la cantidad de módulos solares .....                   | 40 |
| 4.2.1.- Criterio de A-h .....   | 42 |
| 4.2.2.- Criterio de watt-hora .....   | 42 |
| 4.3.- Selección del tipo de bomba .....                                       | 44 |
| 5.- ASPECTOS ECONÓMICOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO .....            | 45 |
| 5.1.- Estimación del sistema de bombeo fotovoltaico .....                     | 45 |
| 5.2.- Costo del ciclo de vida útil de un sistema de bombeo fotovoltaico ..... | 47 |
| 6.- CONCLUSIONES .....  | 49 |
| 7.- REFERENCIAS .....   | 50 |

## **RESUMEN**

Los métodos tradicionales de generación de electricidad para el bombeo de agua son cada vez más costosos y contribuyen al calentamiento global, e inclusive en algunas zonas rurales no se cuenta con una red de electricidad que sea encargada de suministrar energía eléctrica a las bombas para que puedan realizar la traslación del agua hasta un lugar donde se pueda almacenar.

Los sistemas de bombeo fotovoltaico son una opción muy confiable, estos sistemas han sido desarrollados y mejorados a través de los años así como los costos para su adquisición han disminuido considerablemente, esto hace que los sistemas de bombeo fotovoltaico sean una mejor opción no solamente en los lugares donde no se cuenta con una red de electricidad, sino también en las zonas urbanas para realizar el bombeo de una cisterna hacia el tinaco, en el caso de una casa habitación.

El bombeo fotovoltaico es una tecnología renovable la cual depende del sol para su funcionamiento, en México la cantidad de radiación solar producida por el sol es adecuada para ser utilizada en el bombeo fotovoltaico. En el desarrollo de esta tesis se hace una descripción de cómo funciona y las partes por las cuales está conformado un sistema de bombeo fotovoltaico. Ya que al comprender el funcionamiento y las partes por las cuales está compuesto el bombeo fotovoltaico se entenderá el beneficio que deja en los costos a futuro y al medio ambiente.

Amperaje

Bombeo

Fotovoltaico

Irradiación

Sol

Voltaje

## **ABSTRACT**

Traditional methods of generating electricity for pumping water are increasingly expensive and contribute to global warming, and even in some rural areas do not have an electricity network that is responsible for supplying electricity to the pumps so that they can make the transfer of the water to a place where you can store.

Photovoltaic pumping systems are a very reliable option, these systems have been developed and improved over the years as well as costs for its acquisition have dropped significantly, this makes photovoltaic pumping systems are a better choice not only in the places do not have a network of electricity but also in urban areas for pumping a tank into the water tank, in the case of a household.

The photovoltaic pumping is a renewable technology which depends on the sun for its operation, in Mexico the amount of solar radiation from the sun is suitable for use in photovoltaic pumping. In developing this thesis a description of how it works and parts which is formed by a photovoltaic pumping system becomes. Since the understanding of the operation and the parties which comprises the photovoltaic pumping means a benefit that makes future costs and the environment.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La contaminación y la sobreexplotación de recursos naturales en la actualidad son muy altas, debido a estos factores se ha generado el calentamiento global y se ha perjudicado al entorno de muchas especies de animales. Debido a esto muchas organizaciones han tratado de desarrollar sistemas que sean más agradables con el medio ambiente, con el fin de disminuir la contaminación hacia el y a los seres que en el habitan.

La producción de energía eléctrica que se produce actualmente aporta un porcentaje considerable al calentamiento global, es por eso que se ha impulsado la búsqueda de otras opciones que puedan disminuir la contaminación al medio ambiente. Las formas de generar energía eléctrica de una manera que beneficie al medio ambiente ha tenido una ardua labor por parte de muchos investigadores a través de los años, gracias a estos investigadores se han desarrollado formas como es la energía eólica, energía fotovoltaica, energía mareomotriz, etc. Los costos de adquisición de estos sistemas de generar energía eléctrica han ido disminuyendo a lo largo de los años ya que en un principio tenían un costo de adquisición muy alto.

La energía fotovoltaica consiste en recibir la radiación solar y convertirla en energía eléctrica, esto es posible por medio de celdas fotovoltaicos que son conectadas para formar módulos fotovoltaicos y generar una cantidad de energía eléctrica deseada. Estos sistemas han sido muy utilizados en lugares donde no se cuenta con una red de electricidad, sin embargo el sol es un recurso inagotable con el cual se cuenta en cualquier parte del mundo y está ahí para ser aprovechado en cualquier zona ya sea urbana o rural.

El sol como recurso de producción de energía eléctrica actualmente se utiliza de diferentes formas, puede ser desde:

- Para el alumbrado en las calles.
- Para el bombeo de agua.
- Para satisfacer las necesidades de energía en una casa habitación, o hasta un edificio.

La energía fotovoltaica en México ha logrado consolidarse como una alternativa muy confiable en lugares donde no se cuenta con una red de electricidad, gracias al apoyo de muchas Secretarías gubernamentales y Universidades Públicas se ha tenido un avance considerable en la instalación de muchos de sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas de bombeo fotovoltaico son muy seguros debido a la fabricación y a los resultados obtenidos en los laboratorios, estos sistemas son una mejor alternativa ya que son más agradables con el medio ambiente ya que no se debe de explotar ni dañar ningún recurso natural para su funcionamiento.

En el siguiente trabajo se pretende dar a conocer las partes por las cuales está conformado un sistema de bombeo fotovoltaico y sus beneficios que pueden dejar al medio ambiente, así como los métodos matemáticos los cuales son utilizados para su diseño y que estos funcionen a su máxima eficiencia.

## 2.- MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

El uso de consumo de energía eléctrica ha jugado un papel importante en el desarrollo tecnológico así como para el desarrollo de los países. El descubrimiento de lo que es el efecto fotovoltaico se llevó a cabo “en 1839 E. Becquerel observó la generación de corriente eléctrica en una reacción química inducida por la luz” (Sánchez, 2010). Después de este descubrimiento no hubo muchos avances importantes en el desarrollo de esta tecnología, con el paso del tiempo se tuvieron que desarrollar varias ecuaciones.

Los investigadores encargados de dar inicio a convertir la luz solar en energía eléctrica fueron Chapin D.M. y sus colaboradores, aunque en ese tiempo se reportó un total del 6% de conversión de luz solar a energía eléctrica. Después de este increíble descubrimiento comenzó su aplicación para así poder conocer su efectividad, en Estados Unidos se acopló celdas solares para un satélite y saber si este podría generar energía eléctrica para su propio consumo.

Las celdas solares al ser excesivamente caras no pudieron tener un potencial de desarrollo para un uso en las zonas urbanas, estas solamente se consideraban para usos industriales o de investigación. En 1970 hubo un avance increíble de las celdas solares en investigación así como en su aplicación, esto debido a la crisis petrolera que ocurrió en ese tiempo.

Al pasar los años ha progresado la tecnología fotovoltaica así como su aplicación en diversas áreas, no tan solo como en un inicio que era utilizada en zonas industriales y de investigación exclusivamente.

## **2.2.- El bombeo fotovoltaico en México**

El bombeo fotovoltaico en nuestro país cuenta con un gran potencial y se pueden obtener buenos beneficios debido a que la irradiación solar a lo largo del año no es baja y es constante, la irradiación solar diaria en México está aproximadamente entre “4.4 kWh/m<sup>2</sup> y 6.3 kWh/m<sup>2</sup>” (Ortiz, 2014). Esta tecnología ha sido impulsada en nuestro país por el gobierno desde la década de los setentas en las zonas rurales donde no se cuenta con una red de electricidad.

En los años más recientes se ha avanzado en la distribución de los paneles solares, de acuerdo con la Secretaría de Energía de “1993 al 2003 se incrementó de 7 MW a 15 MW, esto generando al año 8,000 MWh/año para el uso rural como es el bombeo de agua y refrigeración” (Jiménez, 2007).

A pesar los años el gobierno a través de sus Secretarías como SAGARPA, apoya a los campesinos facilitando el equipo necesario para que se realice el bombeo fotovoltaico y puedan regar sus cultivos, alimentar de agua a su ganado, así como para su uso personal.

En nuestro país no ha sido muy desarrollada la fabricación de esta tecnología, en las décadas pasadas hubo intentos fallidos por algunas instituciones universitarias de implementar su fabricación en nuestro país, pero debido a la falta de apoyo económico por parte del gobierno estos proyectos han fracasado y esto ha ocasionado un retraso en la fabricación de los paneles solares. Debido a este atraso no existen normas sobre el proceso de elaboración de los paneles solares, al no contar con normas que garanticen la calidad de los paneles esto hace complicado garantizar su calidad.

### **2.3.- Planteamiento del problema**

La electricidad es algo necesario hoy en día para nuestra vida cotidiana, ya que el ser humano en la actualidad piensa en satisfacer sus necesidades sin comprender el daño que se le causa al planeta al cumplir estas necesidades. Actualmente se produce energía eléctrica a través de los restos fósiles, con energía nuclear y energía hidráulica.

La problemática con estos métodos es que al generar la energía eléctrica hacen un daño a nuestro planeta. Generar electricidad con restos fósiles se ha utilizado desde hace varios años incrementando la producción de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el planeta, y este a su vez beneficia al efecto invernadero que es uno de los factores importantes para el cambio climático. Producir electricidad por medio de energía nuclear, no se produce una gran cantidad de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pero se daña al medio ambiente y a los seres vivos por las radiaciones que produce el material al término de su vida útil, o cuando existe una falla en su funcionamiento afecta al medio ambiente. Otra forma de producir electricidad es por la energía hidráulica por medio de turbinas que se encuentran en algunas presas, el problema de producir energía por este medio es que al construir la presa se afectará al ecosistema que se llenara de agua, también afecta a las pequeñas poblaciones que habitan en los alrededores que tendrán que cambiar su lugar de residencia, en el proceso de construcción se dañara al medio ambiente por los movimientos de grandes cantidades de tierra y por la cantidad de maquinaria que tiene que trabajar en esa zona para hacer la presa y poder producir electricidad.

El contar con energía eléctrica es algo necesario con el cual el ser humano puede realizar diversas actividades. En México algunas zonas rurales no cuentan con electricidad, a pesar de la enorme cantidad de electricidad que se produce para poderla distribuir y que todo el país cuente con este recurso, hay localidades donde no cuentan con una red de electricidad e de ahí la importancia de utilizar los recursos naturales de la zona para poder producir electricidad sin dañar al medio ambiente.

#### **2.4.- Objetivos**

El presente proyecto tiene como objetivo principal dar a conocer las principales características con las que está conformado un sistema de bombeo fotovoltaico y conocer algunas de sus aplicaciones para la vida diaria. Así como entender que esta tecnología es de mucha utilidad y no solamente en las zonas rurales donde no se cuenta con energía eléctrica, sino que también tiene aplicación en la ciudad para poder subir agua de la cisterna hasta el tinaco, etc.

Al entender cómo funciona el bombeo fotovoltaico comprenderemos los beneficios que este sistema de bombeo deja en el medio ambiente así como en nuestra economía a futuro.

## 2.5.- Justificación

En la actualidad el cambio climático juega un papel importante en nuestro país esto se debe a que lugares donde no llovía ahora llueve y donde llovía ya no llueve, esto se debe a varios factores que a lo largo de los años han ido incrementando la contaminación de diferentes formas. En décadas pasados no se tomaba en cuenta el calentamiento global al hablar de él era como una fantasía, la basura se tiraba en basureros a cielo abierto, se tala daban arboles sin algún control, etc. Todos estos factores han aportado para dañar considerablemente el medio ambiente, no solamente en México sino en todo el mundo

En México al ser un país con muchos recursos que son explotables no se ha creado la suficiente conciencia sobre las consecuencias que trae el no usar productos sustentables.

En el caso del sol México es uno de los países donde la irradiancia solar es muy buena y este recurso natural lo podemos considerar inagotable, y está listo para ser utilizado. El gobierno se ha preocupado por implementar esta tecnología en zonas donde no se cuenta con una red de electricidad. El gobierno tiene como objetivo llevar este tipo de tecnologías a las zonas urbanas donde puede ser muy bien utilizada y disminuir el consumo de electricidad por los métodos tradicionales.

El bombeo fotovoltaico se puede utilizar en las ciudades de las ciudades donde se cuenta con bombas eléctricas que su gasto de energía es muy alto, en cambio sí se contara con un sistema de bombeo fotovoltaico se ahorra energía eléctrica y se reduciría la contaminación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), la radiación causada por la energía nuclear así como salvar los ecosistemas donde se tienen proyectadas realizar presas para generar electricidad.

### **3.- TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA EN EL BOMBEO DE AGUA**

#### **3.1.-Recurso Solar**

El sol es la estrella que domina el sistema planetario donde se encuentra la tierra, este dominio del sol hacia todos los planetas se debe al efecto gravitacional debido a su masa, el sol está conformado principalmente de hidrogeno, helio, entre otros elementos.

La influencia del sol hacia nuestro planeta tiene mucha importancia, ya que gracias a él tenemos la luz, el calor, y es de suma importancia para la naturaleza ya que por los rayos del sol ocurren fenómenos naturales importantes para el medio ambiente como es la fotosíntesis, el viento, etc.

Si el sol no existiera los seres humanos ni muchas formas de vida existirían ya que el planeta sería muy frío las plantas no podrían crecer, algunas bacterias que no dependen del sol serían las únicas que podrían desarrollarse, todos nuestros recursos dependen del sol los combustibles fósiles que son una fuente de energía en la actualidad para el ser humano no existiría debido a que los combustibles fósiles son restos de plantas y árboles que hace mucho tiempo tuvieron vida gracias a el sol.

“Se calcula que para agotar el 1% del hidrógeno del sol se necesitarían 10 mil millones de años. Se calcula que la edad del sistema solar es de 4500 millones de años, por lo que podemos considerar que el Sol se encuentra a la mitad de su vida. Si comparamos esto con los 100 mil años que nuestra especie ha habitado la tierra, podemos considerar la energía del sol como inagotable” (Riveros, 2010).

### 3.1.1.- Radiación Solar (México)

La radiación solar es el resultado de un proceso de fusión nuclear que ocurre dentro del sol, la radiación que recibimos en la tierra no es la misma que se genera dentro del sol debido a la radiación y a la materia por la que está compuesta el sol, este absorbe toda esa radiación y después se libera en ondas electromagnéticas que son las que producen en nuestro planeta la luz, el infrarrojo entre otras.

“Para caracterizar la cantidad de energía contenida en la radiación solar se puede hablar del valor instantáneo que tiene esta radiación o de la energía que llega en un cierto periodo de tiempo. El valor instantáneo es la energía que llega por cada unidad de tiempo y por cada unidad de área, se conoce como irradiancia y comúnmente se representa con el símbolo  $G$ . Las unidades de irradiancia son Watt sobre metro cuadrado [ $W/m^2$ ]” (Riveros 2010).

La irradiancia es un factor importante en el diseño de los paneles fotovoltaicos ya que gracias a esta irradiancia nos damos cuenta que cantidad de energía se recibe en un sitio en especial, y está nos orientara para localizar una opción más óptima donde colocar los paneles solares.

Para el caso cuando se tienen ya instalados paneles solares o algún otro instrumento que reciba la luz solar, se puede conocer cuál es la potencia y la insolación que recibe ese instrumento, las cuales se describen a continuación:

La potencia solar es la cantidad de irradiancia que llega por la cantidad de superficie del instrumento y se denomina con la letra ( $P$ ), y sus unidades son watt sobre metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

La irradiación es la energía que llega en una determinada área por un periodo de tiempo, y se representa con la letra ( $I$ ). Cuando ese periodo de tiempo es un día también se le conoce como insolación y se representa por la letra  $H$ , y sus unidades en irradiación como insolación son megajoule sobre metro cuadrado ( $MJ/m^2$ ).

“La superficie del sol emite alrededor de 63.5 millones de  $W/m^2$ ” (Riveros, 2010). Pero toda esta cantidad de energía no es exclusivamente dirigida solamente a la tierra, esta energía se dispersa en todas las direcciones del universo a lo que a la tierra le llega un porcentaje aproximado del 0.002%. El porcentaje de la radiación solar que llega a la tierra

no todo entra directamente hasta la superficie de la tierra, un tanto se queda en la atmosfera a lo que a la superficie terrestre llega un valor máximo de  $1000 \text{ W/m}^2$ , este valor se toma como máximo ya que valores más altos solamente se da en lugares especiales.

Debido a la atmosfera no solamente se queda un porcentaje pequeño de radiación, sino que también se producen dos tipos de radiaciones:

Radiación difusa que se denomina con la letra (Gd).

Radiación directa que se denomina con la letra (Gb).

A la suma de las dos radiaciones es lo que se conoce como radiación (G). Cuando a lo largo del día esta asoleado la radiación difusa tiene un porcentaje pequeño y es radiación directa la que recibimos. En cambio cuando a lo largo del día es nublado, es la radiación difusa la que recibimos.

No solamente la atmosfera es la única encargada de disminuir la cantidad de radiación que recibe la superficie terrestre, el movimiento de la tierra a lo largo del año hace que esta radiación varíe.

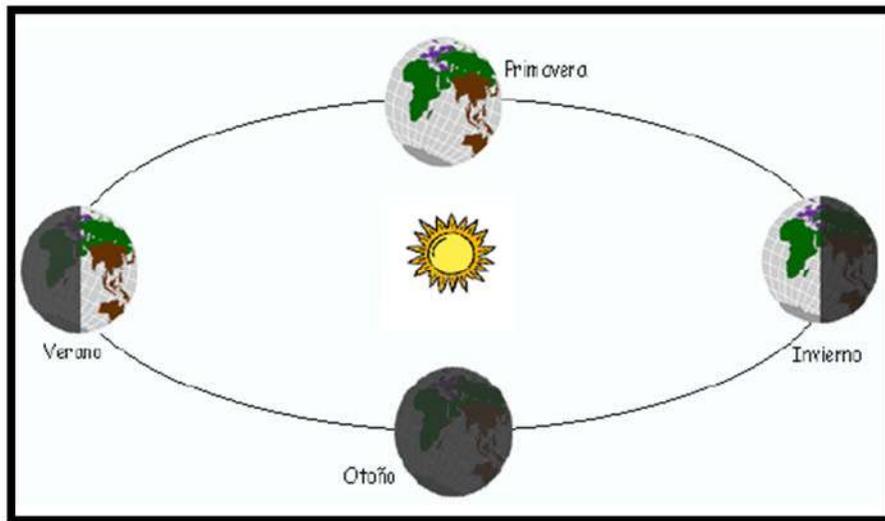


Figura. 3.1. La posición de la tierra a lo largo del año. Fuente; Introducción al Estudio de la Radiación Solar. Notas para el 6to. Curso Taller de Tecnologías Solares. UNAM.

“A lo largo del día y bajo condiciones atmosféricas iguales, la irradiancia recibida en un captador varía a cada instante, presentando valores mínimos en el amanecer y atardecer, y

adquiriendo valores máximos al mediodía; es decir, se espera que a las 10:00 A.M. el valor de la irradiancia sea diferente y menor al que se obtiene a la 1:00 P.M” (Arango, 2001).

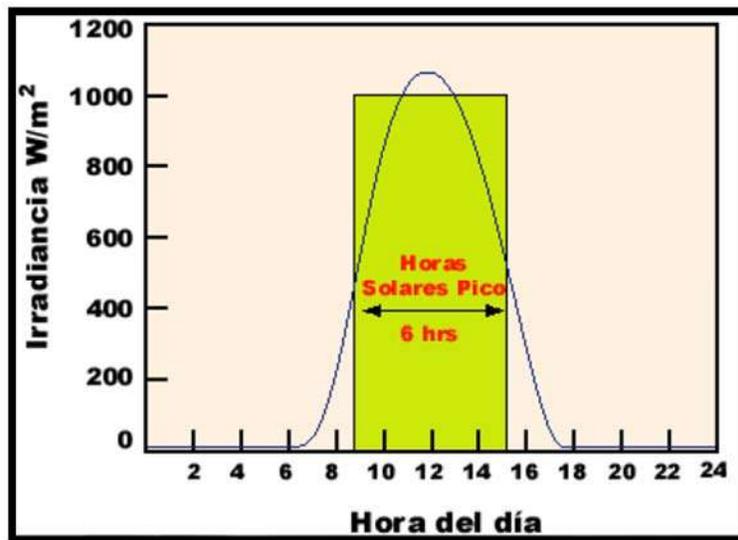


Figura. 3.2. Irradiancia y horas del día durante un día soleado. Fuente; Guía para el desarrollo de proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica” Volumen 1. Libro de Consulta. Fideicomiso de Riesgo Compartido, Sandia National Laboratories y Southwest Technology Development Institute.

Un instrumento básico muy utilizado para poder medir la radiación solar es el piranómetro, este instrumento no distingue la radiación directa o la radiación difusa, por lo tanto el mide solamente la radiación global que involucra a los dos tipos de radiaciones. Hay diferentes tipos de piranómetros unos que son basados en termopilas y otros que son basados en celdas solares.

Los piranómetros de termopilas son muy precisos pero su inconveniente es que su precio es muy elevado. En cambio los piranómetros basados en celdas solares son más económicos y tienen buen funcionamiento aunque su desventaja es que no son tan precisos como los que funcionan con termopilas.

En México existen estaciones encargadas de medir la radiación que llega a nuestro país, el impulsor de medir estas radiaciones fue el Dr. Ladislao Gorczyński quien fue el encargado de dar inicio a estas mediciones en nuestro país. A través de los años varias instituciones

han sido las encargadas de continuar con estas mediciones y de distribuir estaciones en todo el país.

En base a esos datos muchos investigadores han realizado mapas de la radiación en México, pero debido a mucha falta de información y que cada uno realiza los mapas por medio de métodos diferentes en esos mapas se puede notar una notable diferencia en las cantidades de radiación.

“Para poder medir la radiación solar en México se han empleado varios métodos, por ejemplo, se emplean relaciones empíricas para estimar la radiación global a partir de las horas de insolación, porcentajes de posible insolación o nubosidad. Otra alternativa sería la estimación para un lugar particular mediante datos existentes de otras localidades con latitud, Topografía y climas semejantes al deseado. Al emplear estos datos de insolación total, se estima su aproximación con un error dentro de un  $\pm 10$  por ciento” (Cabrera 2003).

### **3.1.2.- Efecto de la radiación solar**

La mayoría de las fuentes de energía usadas por los seres humanos son gracias a procesos donde la radiación solar aporta un porcentaje para poder aprovechar esas energías.

“El intercambio de energía entre el Sol y la Tierra presenta un estado de balance térmico, lo cual quiere decir que las cantidades globales de energía que ésta última recibe tienden a ser equivalentes a las que emite. Si ese balance térmico se rompiera, dando lugar a un desequilibrio prolongado, la Tierra se enfriaría o calentaría paulatinamente hasta volverse inhabitable” (Safe Creative, 2015).

La radiación solar tiene efectos positivos así como negativos en el ser humano como en los ecosistemas, uno de los efectos negativos a los que está asociado es a las radiaciones químicas artificiales.

La radiación solar en el ser humano causa efectos positivos dentro, de los cuales cabe mencionar la vitamina D esta es una vitamina necesaria para la formación y el buen estado de los huesos, también la radiación solar funciona como antidepresivo esto es algo cotidiano y comprobable ya que en los días nublados nos sentimos sin energías o de mal humor al contrario cuando es un día soleado. La radiación solar siempre y cuando sea tomado con moderación tiene estos beneficios dermatológicos entre otros más.

Cuando se hace un uso excesivo de la radiación solar puede traer complicaciones para nuestra salud. Uno de los daños para la piel de un uso excesivo de la radiación solar son las quemaduras, el envejecimiento de la piel, así como también disminuye las defensas del sistema inmunitario en la zona donde ha recibido demasiado radiación solar y también en las demás parte del cuerpo, un efecto grave en la salud del ser humano es que puede ocasionar cáncer en la piel.

### **3.1.3.- Arreglo fotovoltaico**

Cuando se propone utilizar como fuente la radiación solar para la producción de energía eléctrica, primeramente se tiene que idealizar el tipo de sistema que se alimentara. Se debe tener claro cuál será el rango del voltaje y amperaje que se tendrá que alimentar, para poder cubrir adecuadamente las necesidades de energía eléctrica.

Regularmente cuando queremos instalar módulos fotovoltaicos se tiende a recurrir a realizar arreglos fotovoltaicos, esto debido a que un módulo solar no basta para producir la cantidad de energía eléctrica que se requiere. Estos arreglos dependerán de las necesidades de voltaje o amperaje que se necesite, pero siempre se debe de tener claro que para poder realizar estos arreglos los paneles deben de tener características iguales ya que de lo contrario puede ocasionar problemas al conectarlos. Al hacer un arreglo fotovoltaico podemos hacer dos combinaciones en serie o en paralelo.

El tipo de arreglo que elegiremos dependerá de nuestra demanda de corriente y voltaje, cabe mencionar que cuando se requiere una gran cantidad de corriente y voltaje se pueden realizar mezclas en serie y paralelo.

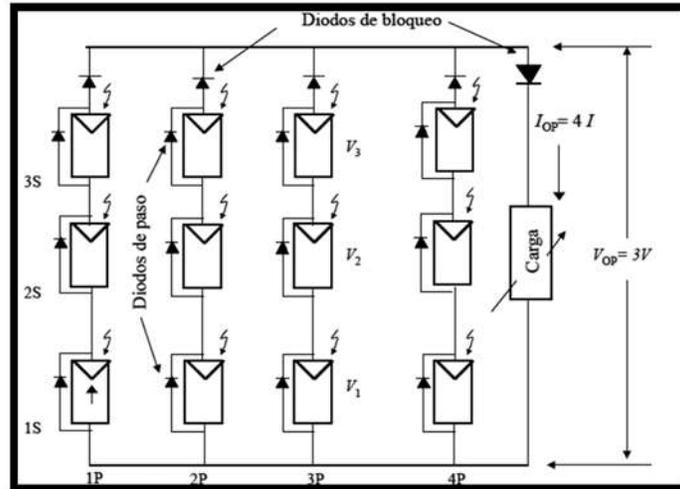


Figura. 3.3. Arreglo de un sistema fotovoltaico conectado en serie y en paralelo. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

Comúnmente las bombas que se utilizan en el diseño para el bombeo fotovoltaico utilizan, “valores de voltaje de operación menores de 17 volt pueden ser alimentados con un solo módulo; valores mayores de 22 volt y menores de 34 volt se alimentan con dos módulos; y así sucesivamente” (Sánchez, 2010).

Cuando nos vemos en la necesidad de hacer un arreglo fotovoltaico siempre se deben colocar diodos, cuya función es limitar el paso de la corriente en un solo sentido con la finalidad de proteger a los instrumentos eléctricos. En los sistemas fotovoltaicos es recomendable colocar diodos de bloqueo y diodos de paso.

Diodos de bloqueo; se utilizan cuando se tienen módulos conectados a un acumulador con el propósito que la energía del acumulador no se regrese cuando en algún módulo se produce sombra parcial.

Diodos de paso; protegen individualmente a cada módulo cuando tiene alguna sombra parcial, deben ser utilizados en arreglos conectados en serie.

### 3.1.3.1.- Incremento del voltaje

Cuando nos vemos en la necesidad de tener un voltaje mayor al que produce cada módulo por separado llegamos a la necesidad de conectar los módulos en serie, al conectar los módulos en serie se hará un incremento en el voltaje mientras que la corriente seguirá

constante, esto se debe ya que el voltaje de salida está compuesto por la suma de todos los módulos y se conformara un panel solar.

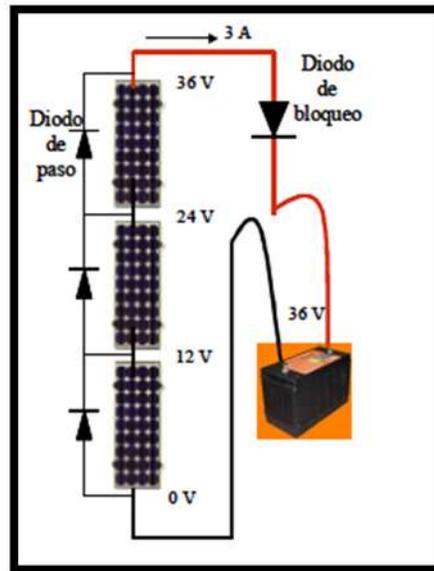


Figura. 3.4. Conexión de 3 módulos en serie. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.1.3.2.- Incremento de la corriente

Cuando nos vemos en la necesidad de tener una corriente mayor a la que produce cada módulo por separado llegamos a la necesidad de conectar los módulos en paralelo, al conectar los módulos en paralelo se hará un incremento en la corriente mientras que el voltaje seguirá constante, esto se debe a que la corriente de salida es la suma de cada unidad conectada en paralelo y se conformara un arreglo fotovoltaico.

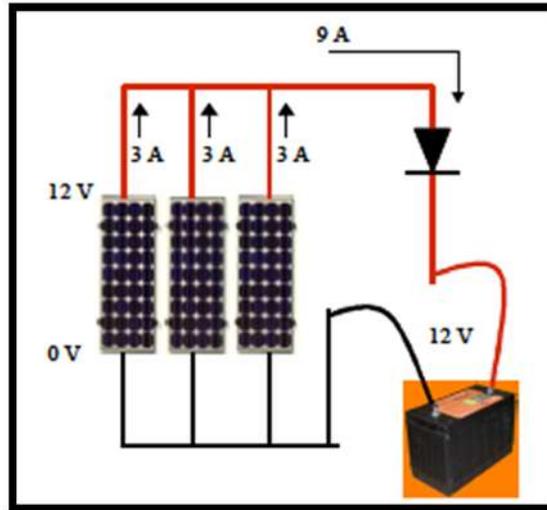


Figura. 3.5. Conexión de módulos conectados en paralelo. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.1.4.- Decremento de la energía

Como en todo proceso de obtención de energía eléctrica es importante conocer los motivos por los cuales puede haber un decremento en la producción de energía, ya que teniendo en cuenta algunos de los motivos por los cuales puede haber una disminución en el proceso de generación pueden evitarse y obtener mejores resultados.

Debemos de tener claro cuáles pueden ser unas posibles limitantes para que un módulo desempeñe su funcionamiento al 100%, ya que conociendo sus posibles fallas garantizaremos que el modulo produzca la cantidad de kW para las cuales fue diseñado siempre y cuando las factores meteorológicos sean los correctos.

A continuación se describen algunos de los posibles factores puede causar un decremento de la energía.

- Por no cumplimiento de la potencia nominal; esto se refiere a que en ocasiones el módulo no cumple con la potencia con la cual el proveedor lo vende, este puede ser un error en su fabricación en el que puede ser un factor para causar un decremento en la producción de energía al realizar un arreglo fotovoltaico.
- Polvo y suciedad; el polvo y la suciedad es algo inevitable de evitar debido a que los módulos se encuentran situados en patios, en las azoteas, cuando es para un uso rural en lugares donde no se cuenta con pavimentos. Debido a esto a los módulos se

les generara en la superficie capas de polvo que interfieran con su funcionamiento, otro factor que pudiera causar un decremento en la producción es por el excremento de las aves.

- Inclinación; la inclinación puede causar un decremento en la producción del módulo debido a que si no se coloca a una inclinación adecuada, si no se cumple que la radiación solar sea siempre perpendicular a los módulos será un motivo para que haya un decremento en la producción de los módulos.
- Sombras parciales; los módulos comúnmente se utilizan en zonas rurales y poco en zonas urbanas, un motivo por el cual pueda ser un decremento en la producción del módulo pueden ser las nubes que al paso del día estas eviten que la radiación solar de completamente en los módulos, en los lugares urbanos las construcciones que sean más altas que el módulo pueden ser un motivo de un decremento en la eficiencia del módulo.

### 3.2.- Celdas fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas son las encargadas de transformar la radiación solar en energía eléctrica pero en una cantidad muy pequeña, este fenómeno físico es llamado efecto fotovoltaico y se puede realizar en materiales gaseosos, líquidos y sólidos, especialmente en los sólidos y materiales semiconductores es donde este fenómeno produce una mejor eficiencia.

“Una celda solar es un dispositivo semiconductor optoelectrónico que convierte la luz en electricidad” (Sánchez, 2010).

Actualmente se han encontrado diversos tipos de materiales semiconductores con los cuales se produce un mejor rendimiento en la conversión de radiación solar a energía eléctrica, pero lamentablemente esto ha sido desarrollado exclusivamente en áreas de investigación y no se ha podido llevar al mercado este tipo de celdas que tienen un mayor porcentaje de conversión.

“Cuando en un dispositivo se observa una diferencia de voltaje debido a la absorción de la luz solar, se dice que se está llevando a cabo el Efecto Fotovoltaico (FV). Bajo estas condiciones, si se le conecta una carga, se producirá una corriente eléctrica que será capaz de realizar un trabajo en ella. La corriente producida es proporcional al flujo luminoso recibido en el dispositivo. A la unidad mínima en donde se lleva a cabo el efecto fotovoltaico se le llama celda solar. En una celda solar el efecto fotovoltaico se presenta como la generación de voltaje en sus terminales cuando está bajo iluminación” (Arango, 2001).

### **3.2.1.- Componentes de las celdas fotovoltaicas**

Existen celdas fotovoltaicas de diferentes materiales, los más comunes en el mercado son las celdas de las cuales están basadas en silicio en sus diferentes formas las cuales son las siguientes:

Silicio Monocristalino; las características de las celdas fotovoltaicas hechas de silicio monocristalino es que están compuestas de un solo cristal de silicio puro. Estas celdas tienen una muy buena productividad y sus años de estudio ha llevado a que varios proveedores garanticen estas celdas por un largo de tiempo de vida útil.

Silicio Policristalino; las características de las celdas fotovoltaicas hechas de silicio policristalino es que están compuestas de varios cristales de silicio. Estas celdas tienen una buena productividad aunque su rendimiento es poco menor a comparación de las celdas de silicio monocristalino, a diferencia de las celdas de silicio monocristalino en el costo estas son más económicas y los proveedores también garantizan un periodo de tiempo largo, aunque un poco menor a comparación de las celdas de monocristalino.

Aparte de las celdas que se mencionaron anteriormente se han desarrollado celdas de lámina delgada que sus precios en el mercado suelen ser menores que las anteriores a continuación se mencionan algunas:

Silicio Amorfo; las característica de las celdas fotovoltaicas hechas de silicio amorfo no tienen una estructura atómica geométrica a comparación de los otros dos tipos de celdas.

Teluro de Cadmio; estas celdas tienen una muy buena eficiencia en laboratorio, pero en las celdas comerciales llega ser hasta la mitad de conversión que dan en laboratorio.

Arseniuro de galio; estas celdas tienen una muy buena eficiencia tanto en el área de investigación como las que se encuentran en el mercado que llega ser hasta del 20% de conversión.

Este tipo de celdas de lámina delgada ha cambiado rápidamente en los últimos años, su eficiencia y tiempo de vida es menor que las celdas de silicio monocristalino y policristalino, en este tipo de celdas se espera que aumente considerablemente su rendimiento en los próximos años.

Tabla 3.1. Materiales en la fabricación de celdas fotovoltaicas y su porcentaje de eficiencia en la conversión. Fuente; Tesis de Maestría en ciencias “Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaicos” Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Ingeniería Electrónica.

| Tipo de tecnología                                  | Descripción  | Eficiencia máxima obtenida (%) |
|---|--|--------------------------------|
| <i>Diseño en Homounión</i>                          |  |                                |
| Si (cristalino)                                     | Silicio monocristalino   | 24.7 ± 0.5                     |
| Si (policristalino)                                 | Silicio policristalino   | 20.3 ± 0.5                     |
| Si (TFT)  | Película delgada de silicio (soportada)  | 16.6 ± 0.4                     |
| Si (TFM)  | Película delgada de silicio (submodular)   | 10.4 ± 0.3                     |
| Si (amorfo)   | Silicio amorfo   | 9.5 ± 0.3                      |
| Si (nanocristalino)                                 | Silicio nanocristalino   | 10.1 ± 0.2                     |
| GaAs (cristalino)                                   | Arseniuro de galio monocristalino  | 25.9 ± 0.8                     |
| GaAs (TF)   | Película delgada de arseniuro de galio   | 24.5 ± 0.5                     |
| GaAs (policristalino)                               | Arseniuro de galio policristalino  | 18.2 ± 0.5                     |
| InP (cristalino)                                    | Fosfato de Indio monocristalino  | 21.9 ± 0.7                     |
| <i>Diseño en Heterounión (Calcogenuras amorfas)</i> |  |                                |
| CIGS (celda)  | CuInGaSe <sub>2</sub> en celda   | 19.2 ± 0.6                     |
| CIGS (submódulo)                                    | CuInGaSe <sub>2</sub> submodular   | 16.6 ± 0.4                     |
| CdTe (celda)  | Telurio de cadmio en celda   | 16.5 ± 0.5                     |
| <i>Diseño de unión múltiple</i>                     |  |                                |
| GaInP/GaAs/Ge                                       | Fosfato de indio-galio, arseniuro de galio, germanio                                 | 32.0 ± 1.5                     |
| GaInP/GaAs  | Fosfato de indio-galio, arseniuro de galio   | 30.3                           |
| GaAs/CIS (TF)                                       | Película delgada de arseniuro de galio, CuInSe <sub>2</sub>                          | 25.8 ± 1.3                     |
| a-Si/μc-Si (TM)                                     | Submódulo delgado de silicio amorfo hidrogenado, silicio microcristalino hidrogenado | 11.7 ± 0.4                     |

### 3.2.2.- Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos son un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí para generar energía eléctrica a través de la radiación solar y poder generar una potencia deseada para satisfacer una instalación eléctrica. Las celdas fotovoltaicas producen muy poca corriente individualmente por eso se recurre a la necesidad de conectarlas en serie y en paralelo, además de producir poca corriente son muy frágiles por ese motivo se deben de proteger contra posibles golpes con los que pudieran romperse así como también soportar las condiciones climatológicas de cada zona, por esta razón es la que celdas se encapsulan y así es que se forma lo que se llama módulo fotovoltaico.

Comúnmente los módulos están conformados por 33 o 36 celdas fotovoltaicas, estos módulos son de potencia pequeña donde no se requiere una generación de electricidad muy grande, aunque en el mercado actual existe una cantidad muy variable de módulos conformados por mas celdas fotovoltaicas.

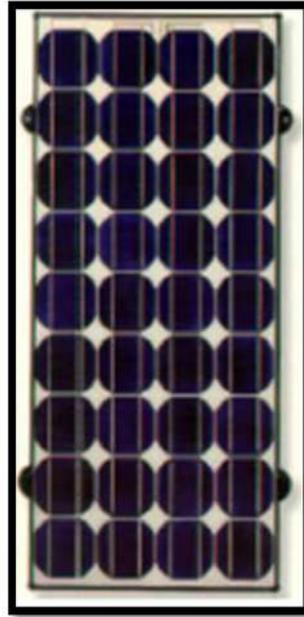


Figura. 3.6. Módulo de silicio de compuesto de 36 celdas fotovoltaicas. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

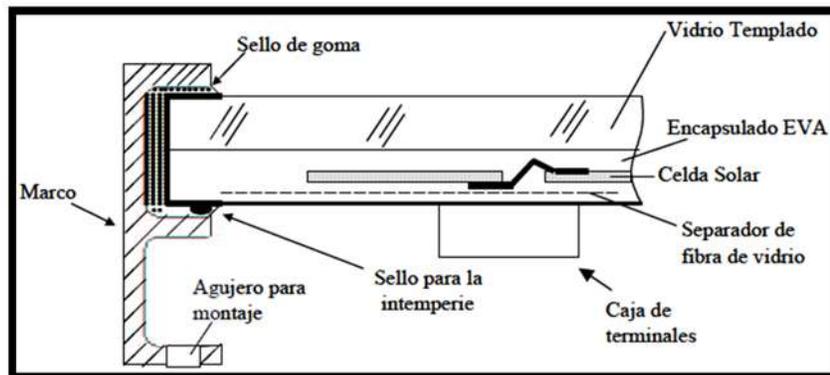


Figura. 3.7. Corte transversal de un módulo fotovoltaico y sus componentes principales. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.2.2.1.- Parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos

“El comportamiento eléctrico de los módulos está dado por las curvas de corriente contra voltaje (curva I vs V) o potencia contra voltaje (curva P vs V) que los caracteriza. La curva de potencia se genera multiplicando la corriente y el voltaje en cada punto de la curva I vs V” (Sánchez, 2010).

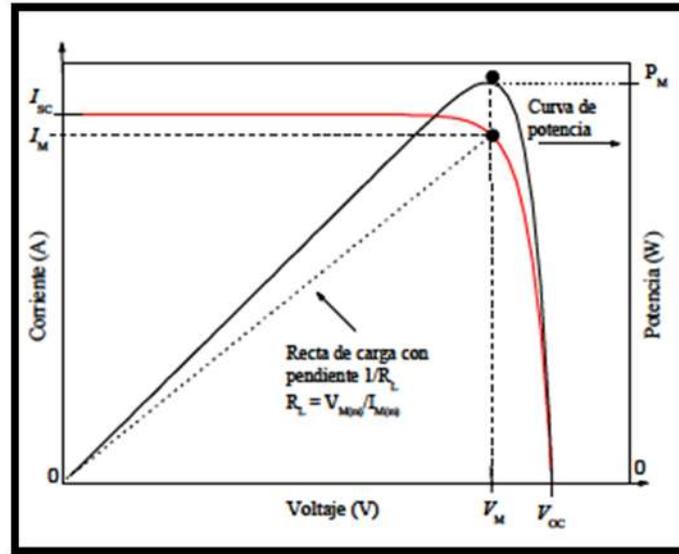


Figura. 3.8. Gráfica de parámetros eléctricos en un módulo fotovoltaico. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

En la gráfica anterior se observan los parámetros por los cuales se puede medir el interpretar de los módulos fotovoltaicos.

Corriente a corto circuito ( $I_{sc}$ ); este es el valor máximo de corriente que puede producir un módulo fotovoltaico, esta corriente es posible de medir cuando se conecta a la celda fotovoltaica un circuito exterior y que su resistencia será nula.

Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ); este es el valor máximo de voltaje que puede producir un módulo fotovoltaico, este voltaje es posible de medir cuando no existe algún circuito conectado a la celda fotovoltaica.

En la gráfica se observa la curva de potencia contra voltaje que es la curva de color negro, esa curva representa la potencia máxima “PM” del módulo, la potencia máxima es la representación de la generación o potencia pico a la que puede trabajar el módulo, es decir el proveedor garantiza que el módulo dará una potencia máxima bajo condiciones de irradiancia establecidos, entonces es así como conociendo el “PM” del módulo podemos conocer su eficiencia.

“La potencia pico queda definida por una pareja de valores de corriente y voltaje,  $I_M$  y  $V_M$ , los que definen una resistencia de carga  $R_L$ . Cuando una carga eléctrica con resistencia  $R_L$

se conecta al módulo, la transferencia de energía del módulo a la carga es máxima, y se dice que  $I_M$  y  $V_M$  corresponden a la corriente y voltaje de operación de la carga eléctrica. Sin embargo, en aplicaciones reales no siempre sucede que la resistencia de la carga eléctrica es  $R_L$ . En este caso se tienen un desacoplamiento en la curva de potencia y la transferencia no es máxima, el módulo opera lejos del punto de máxima potencia y la potencia entregada se reduce significativamente; en consecuencia se tendrán pérdidas de energía” (Sánchez, 2010).

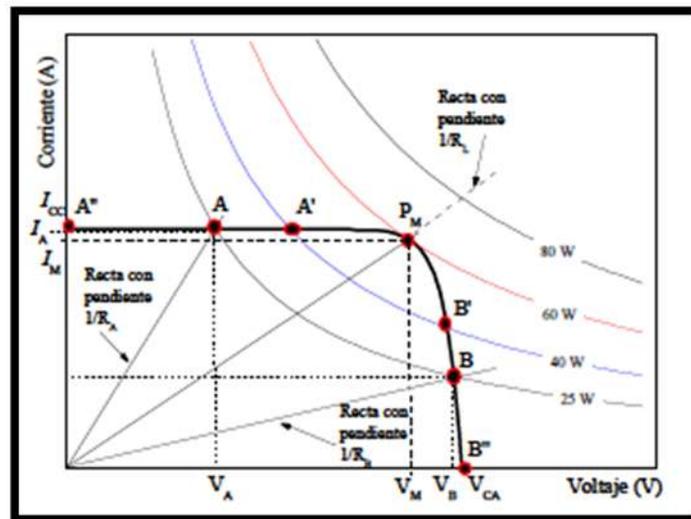


Figura. 3.9. Gráfica de curvas de igual potencia cortando a la curva I contra V en un módulo fotovoltaico. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

En la gráfica anterior se pueden observar varias curvas de igual potencia que intersectan a la curva I contra V en dos puntos diferentes, se observa que por cada curva de potencia se tendrán dos voltajes diferentes una mayor al otro.

Dependiendo de las necesidades podemos trabajar con un voltaje mayor o menor siempre tomando en cuenta que trabajando ya sea con un voltaje alto o menor la potencia seguirá siendo igual. “A mayor voltaje se requiere de menos corriente para satisfacer la potencia, y a menor corriente, menor es la potencia disipada en los cables eléctricos de conducción. Lo inverso sucede cuando el acoplamiento se realiza con menor voltaje. De aquí que se preferirá que las cargas operen al mayor voltaje posible. Sin embargo, estarán fuera del punto de operación de la máxima potencia de generación y la eficiencia en el acoplamiento será menor que aquella que se lograría trabajando en el punto PM” (Sánchez, 2010).

### 3.2.2.2.- Certificación de los módulos fotovoltaicos

La potencia máxima a la que trabajan los módulos fotovoltaicos que se encuentran en el mercado varían entre 25 y 300 Watts, los módulos más comunes son los de 30 y 36 celdas conectadas en serie, los módulos de 30 celdas generan 15 volts y los de 36 generan 17.5 volts.

El proveedor debe de proporcionar las capacidades del módulo fotovoltaico en una placa en la parte trasera del módulo, a esta placa junto a la información que contiene se le denomina valores de placa, en esa misma placa se debe de incorporar la información de las pruebas de laboratorio donde se garantice que ha acreditado las pruebas de uso y de seguridad.

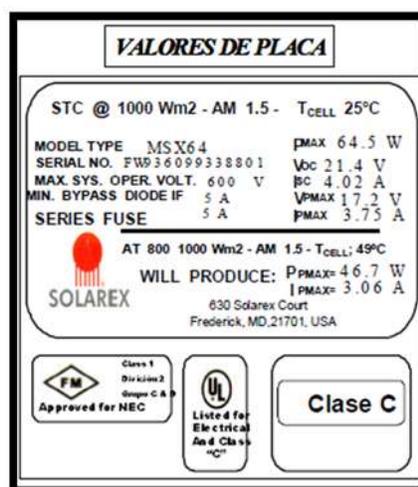


Figura. 3.10. Ejemplo de un valor de placa de un módulo fotovoltaico. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.2.3.- Efecto de la radiación solar y la temperatura sobre el módulo fotovoltaico

Las variaciones de la radiación solar sobre el módulo fotovoltaico ocasionan variaciones eléctricas en el módulo, el módulo está compuesto por una cantidad determinada de celdas fotovoltaicas que están conectadas en serie o en paralelo. El efecto de estas variaciones dependerá de la intensidad de la irradiancia, dependiendo la cantidad de irradiancia que al módulo le esté dando así mismo será la cantidad de corriente que aumente o disminuya.

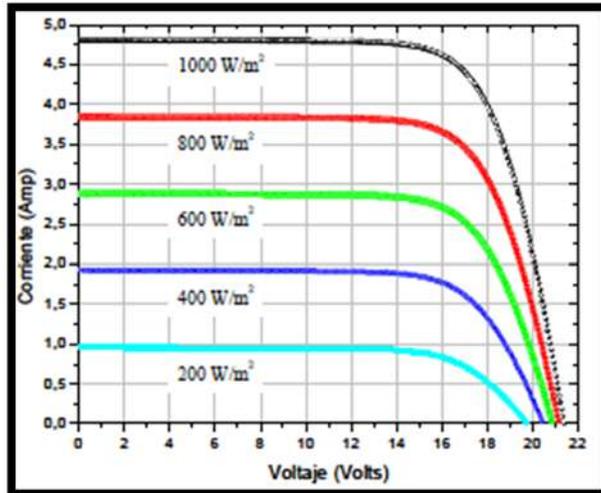


Figura. 3.11. Variación de la irradiancia en un módulo fotovoltaico. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

En la gráfica anterior podemos observar como el voltaje tiene una pequeña variación a las diferentes radiaciones, mientras que la corriente se incrementa o decrece considerablemente.

Entendiendo que cuando tengamos las celdas fotovoltaicas de un módulo conectadas en serie su corriente será igual en cada celda y la irradiancia para cada celda es la misma cantidad. Podremos realizar mediante algunas operaciones algebraicas lo que se conoce como normalización, la normalización es uno de los procesos más utilizados en campo para revisar que el módulo este cumpliendo con los valores de placa que lleva el módulo en su parte trasera.

La temperatura tiene un efecto en el módulo fotovoltaico haciendo disminuir o aumentar su funcionamiento, a diferentes temperaturas el módulo tendrá diferentes rendimientos.

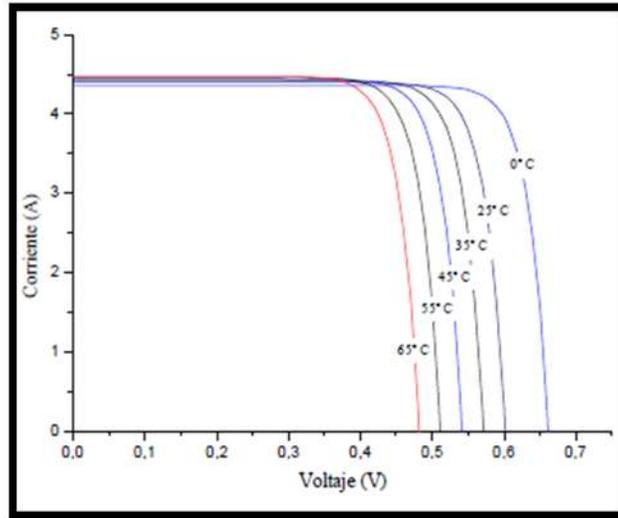


Figura. 3.12. Variación de la irradiancia en un módulo fotovoltaico. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

En la gráfica anterior se observa cómo se comporta el módulo fotovoltaico a diferentes temperaturas, mientras que la corriente tiene una variación muy pequeña el voltaje al contrario tiene variaciones considerables a cada temperatura diferente. Estas variaciones en el voltaje se reflejan en el decremento de la potencia que puede generar el módulo.

“La temperatura que puede alcanzar la celda solar, cuando está en operación en un módulo ( a la que se le llamará temperatura de operación), depende de la irradiancia, temperatura ambiente, velocidad de viento y del tipo de encapsulamiento, a través del cual se disipa el calor” (Sánchez, 2010).

### 3.2.4.- Conversión de la energía solar

Para que se lleve a cabo el efecto fotovoltaico se debe realizar una absorción de la luz solar, mediante este proceso la luz solar se lleva a los electrones de los átomos del material del cual está constituida la celda fotovoltaica. “La materia está constituida por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de una carga eléctrica positiva y los electrones, con carga eléctrica negativa que compensa la del núcleo, formando de esta manera un conjunto eléctricamente neutro. Los electrones más externos se conocen como electrones de valencia” (Sánchez, 2010).

El silicio es uno de los materiales más desarrollados en la fabricación de las celdas fotovoltaicas debido a que es un material semiconductor, es decir es un material que tiene

pocas cargas libres dentro de él, otros de los factores por los que se utiliza el silicio es debido a que la energía que liga los electrones de valencia al núcleo es muy similar a los fotones por los cuales está compuesta la radiación solar.

La celda fotovoltaica de silicio se les puede introducir cantidades pequeñas de elementos químicos mediante un proceso llamado difusión, esto lleva a que reduzca su resistividad ocasionando que se divida en dos zonas de diferente carga.

La celda está compuesta de dos partes semiconductores que son de las encargadas para que se lleve a cabo la conversión de la radiación solar a energía eléctrica el tipo “N” y “P”.

Tipo N; cuando se crea un exceso de cargas negativas en el interior del semiconductor se le denomina semiconductor tipo N. Esto se debe a que la sustancia difusa que cede fácilmente electrones.

Tipo P; este caso se genera cuando la sustancia difusa atrapa a los electrones, por lo tanto los átomos que quedan libremente y están cargados positivamente. Entonces en esta zona quedan dominando las cargas positivas y al semiconductor se le denomina semiconductor tipo P.

El tipo N y P no trabajan por separado entre ellos dos se genera una unión dentro del mismo material, debido a esta unión se generan dos zonas diferentes dentro del material una positiva y negativa, a la zona que queda intermedia entre las dos se le denomina transición.

Cuando la radiación solar llega a la celda fotovoltaica esta es absorbida por el material semiconductor produciendo un desequilibrio dentro de él generando electrones y huecos, estos dos tienen que ser separados para poder utilizar su energía, a estos electrones y huecos se les llaman portadores fotogenerados y son separados por un campo eléctrico, esta separación ocasiona un envío de electrones fotogenerados al tipo N y los huecos fotogenerados al tipo P, esto ocasiona que exista una diferencia de potenciales en la parte superior e inferior. La acumulación de energía entre la parte superior e inferior dará como resultado un voltaje.

Si al semiconductor se le conectan dos cables se notara que existe un voltaje entre ellos mismos, entonces si se conecta a un instrumento eléctrico la corriente circulara en el circuito formado por la celda fotovoltaica.

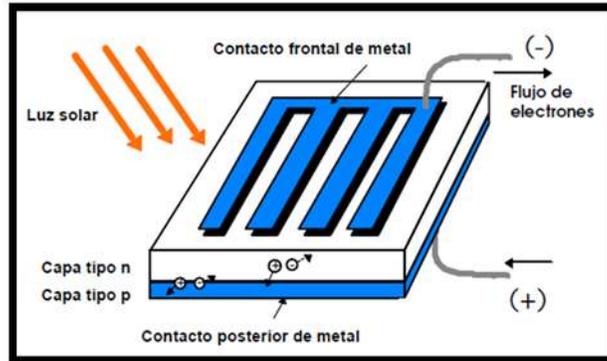


Figura. 3.13. Funcionamiento de una celda fotovoltaica. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.2.5.- Orientación adecuada del módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos se deben de colocar en estructuras que sean capaces de orientar hacia los rayos del sol perpendicularmente, esto se debe a que la mayor radiación que recibirá el módulo fotovoltaico será cuando este se encuentre perpendicularmente a la radiación. Una estructura que sea capaz de dar seguimiento al sol durante el día y el transcurso del año dará una mayor eficiencia, esto debido al movimiento de la tierra a lo largo del año por eso una estructura que sea capaz de seguir al sol captara siempre los rayos perpendicularmente, al contrario a una estructura que sea fija tendrá una eficiencia menor debido a que los rayos del sol darán perpendicularmente solamente durante un periodo de tiempo.

El tipo de estructura que se utilice para dar la inclinación y orientación adecuada al módulo dependerá de la zona donde se pretende colocar el módulo, esto debido a que un sistema de estructura que cuente con motores encargados de dar seguimiento al sol incrementa su costo y si este se coloca en zonas donde hay días completamente nublados su eficiencia aumenta muy poco, en ese caso es mejor colocar una estructura fija donde su costo no se incremente y su eficiencia sea buena.

Ya colocado el modulo en una estructura fija un factor muy importante es la inclinación así como su orientación de la estructura, “debido a la declinación solar, el módulo debe estar orientado hacia el Sur geográfico (o verdadero). Ahora, si se desea que el módulo genere la máxima energía promedio al año, el ángulo de inclinación,  $\beta$ , del módulo o arreglo, provisto por la estructura, debe ser igual al valor de la latitud del lugar” (Sánchez, 2010)

Habrán meses en los que se necesite un consumo mayor de agua por lo que se necesitará una cantidad mayor de generación eléctrica a lo que generalmente produce el módulo, teniendo en cuenta esa restricción el ángulo  $\beta$  debe de ser de un valor donde los rayos del sol sean perpendicularmente al módulo durante ese mes crítico.

### **3.3.- Equipo de bombeo**

Las bombas son equipos especiales para la traslación mediante el consumo de energía eléctrica, las bombas convencionales están diseñadas para dar un uso continuo mientras estén siendo alimentadas por energía eléctrica.

“El principio fundamental del bombeo solar es bombear un caudal instantáneo relativamente bajo, ininterrumpidamente, por el mayor número de horas diarias que la locación permita. Este método contrasta con el tradicional, donde las bombas son accionadas por motores de alta potencia, los que bombean agua por un corto periodo de tiempo” (Gasquet, 2004).

Para el caso de bombeo fotovoltaico se han creado bombas especiales las cuales funcionen con la potencia generada por los módulos fotovoltaicos, estas bombas son especiales debido a que la cantidad de potencia que producen los módulos no es constante a lo largo del día, debido a la posición del sol y a las condiciones climatológicas, las bombas recibirán cierta cantidad de potencia y están diseñadas a funcionar con una máxima cantidad de potencia o una mínima, así como detener su funcionamiento cuando no haya potencia generada por los módulos.

### 3.3.1.- Bombas centrífugas

Este tipo de bombas cuentan con un impulsor que utilizando la fuerza centrífuga arrastran el agua y la expulsan a una gran velocidad. Este tipo de bombas tiene dos derivaciones las bombas pueden ser centrífugas superficiales y centrífugas sumergibles, este tipo de bombas pueden transportar el agua hasta distancias grandes esto depende de la cantidad de impulsores que cuente.

#### 3.3.1.1.- Bombas superficiales

Este tipo de bombas son muy prácticas ya que su instalación es muy fácil ya que se instalan al nivel del piso, este tipo de bombas funcionan bien para profundidades superficiales cuando la profundidad se incrementa no se recomienda usar este tipo de bombas. Una de las ventajas de usar bombas superficiales es que cuando se les requiere dar mantenimiento es muy práctico y rápido.



Figura. 3.14. Bomba centrífuga superficial. Fuente; Sistemas Fotovoltaicos Iluminación y Bombeo, Curso de Actualización Energía Fotovoltaica. Asociación Nacional de Energía Solar.

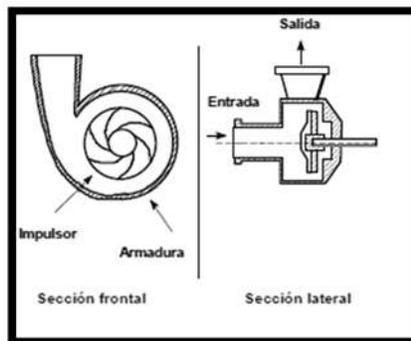


Figura. 3.15. Bomba centrífuga superficial. Fuente; Sistemas Fotovoltaicos Iluminación y Bombeo, Curso de Actualización Energía Fotovoltaica. Asociación Nacional de Energía Solar.

### 3.3.1.2.- Bombas sumergibles

Las bombas sumergibles se derivan en dos tipos de bombas que tienen directamente el motor acoplado a los impulsores, esto quiere decir que la bomba se compone de una sola parte que se sumerge, el otro tipo de bomba sumergible está compuesta de dos partes separadas donde el motor queda en la superficie y los impulsores quedan completamente sumergido estos se unen con una flecha.

Las bombas sumergibles son también conocidas como de paso múltiple o de etapas, esto debido a que están compuestas de varios impulsores.

Las bombas sumergibles tienen que estar bien selladas ya que dentro de ellas contienen un aceite especial para su lubricación, estas bombas no pueden trabajar en seco por que sufrirían un calentamiento provocando un calentamiento y dejarían de funcionar. Algunas bombas suelen utilizar el agua como lubricante.

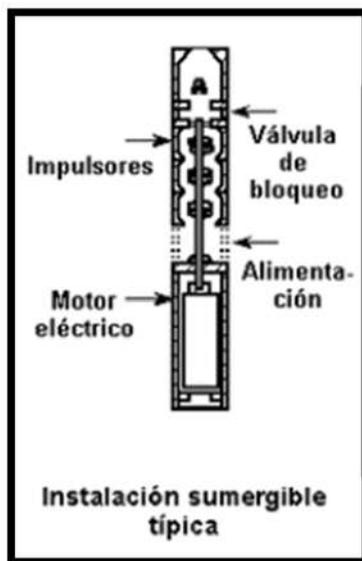


Figura. 3.16. Bomba sumergible. Fuente; Sistemas Fotovoltaicos Iluminación y Bombeo, Curso de Actualización Energía Fotovoltaica. Asociación Nacional de Energía Solar.



Figura. 3.17. Corte de una Bomba sumergible. Fuente; Sistemas Fotovoltaicos Iluminación y Bombeo, Curso de Actualización Energía Fotovoltaica. Asociación Nacional de Energía Solar.

### 3.3.2.- Bombas volumétricas

Este tipo de bombas suelen utilizar un cilindro y un pistón para poder ser capaces de transportar el agua, o bien suelen estar compuestas de un pistón con diafragma esto varea del modelo de la bomba.

Este tipo de bombas volumétricas tienen la característica de poder bombear agua desde profundidades muy altas, y su caudal de extracción es pequeño la ventaja de estas bombas es que en el sistema de bombeo fotovoltaico no se requiere un caudal grande si no que este sea constante a lo largo del día.

#### 3.3.2.1.- Bombas de cilindro

Este tipo de bombas son muy usadas en el bombeo mecánico, donde gracias a una fuerza aplicada ya sea el viento, animal o humana, el pistón baja y entra agua y al subir hace que el agua valla subiendo hacia la superficie. Cuando estas bombas trabajan con energía eléctrica necesitan un controlador esto debido a que las bombas no requieren toda la corriente generada por el modulo y es necesario un controlador que administre la cantidad necesaria para la bomba y a provechar adecuadamente la corriente generada por el módulo.

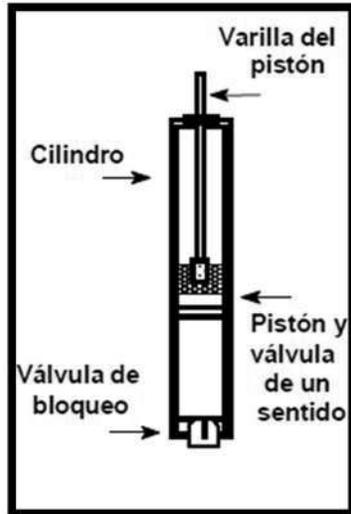


Figura. 3.18. Bomba volumétrica de cilindro. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.3.2.2.- Bombas de diafragma

Este tipo de bombas funcionan por medios de diafragmas que son los encargados de conducir el agua, estos materiales de los cuales son flexibles y resistentes. Este tipo de bombas de diafragma son muy económicas a comparación de otro tipo de bombas, una de las cosas que se necesita saber cuándo se quiere adquirir un tipo de bombas de diafragma, es que los diafragmas de los cuales está compuesta la bomba a los 3 años aproximadamente de uso se descomponen y necesitan ser remplazados. Sin embargo los fabricantes al saber de esta falla de este tipo de bombas venden los repuestos de los juegos de diafragma y tienen la ventaja que se venden a un precio razonable.

Las bombas de diafragma también suelen ser de dos tipos sumergibles y no sumergibles.

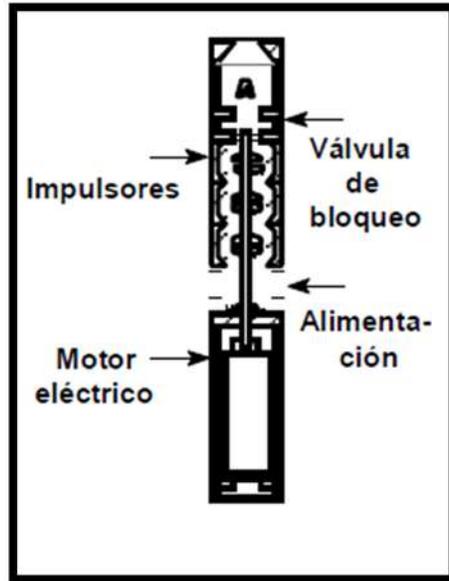


Figura. 3.19. Bomba de diafragma sumergible. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.



Figura. 3.20. Bomba de diafragma no sumergible. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

### 3.3.3.- Almacenamiento del agua

Los sistemas fotovoltaicos no son capaces de bombear agua mientras no les llegue la radiación solar, la necesidad del consumo para humanos, o animales, no es exclusivamente a lo largo del día este puede ser también durante la noche, y en los días nublados no serán capaces de distribuir el agua. Por eso es recomendable contar con tanques donde se pueda guardar el agua que es bombeada por los módulos fotovoltaicos.

Existen baterías especiales las cuales son capaces de almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos y promover de energía eléctrica en los días nublados o por las noches, las baterías fotovoltaicas no son muy recomendables en los diseños de sistemas de bombeo fotovoltaico debido a que su precio es muy elevado y estas después de varios años se ven en la necesidad de ser remplazadas, siendo este otro costo adicional después de unos años de haber instalado el sistema fotovoltaico.

Por eso para la distribución del agua en los días donde no se cuente con radiación solar es más recomendable construir un tanque de almacenamiento, donde se disponga con una cierta cantidad de agua para un cierto de días máximo que no se cuente con la extracción del agua. Esta alternativa es mucho más económica ya que el tanque no requiere mantenimiento y su tiempo de vida útil es mucho mayor que el de las baterías.

#### **3.3.4.- Tuberías**

Las tuberías son una parte fundamental del bombeo ya que por ellas se extrae el agua y se conduce hacia los lugares donde es requerida. Los diámetros requeridos para las tuberías se calcularan con las pérdidas de carga y las pérdidas que ocasionan las tuberías, conociendo las pérdidas los diámetros se podrán calcular mediante tablas o monogramas, esto podrá ser posible conociendo el gasto y el tipo de material que se utilizara.

“Se recomienda que el diámetro de la tubería y accesorios sea superior a un valor tal que las pérdidas hidráulicas no superen el 10% de la altura hidráulica de bombeo, preferentemente un 2%” (Arija, 2010).

## 4.- DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

### 4.1.- Diseño hidráulico de un sistema de bombeo

Para realizar el dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico primeramente debemos de conocer los fenómenos hidráulicos que ocurren en la tubería.

Para entender cuál será el comportamiento hidráulico de un pozo se debe analizar cuál será su comportamiento con la extracción del agua, ya que al extraer el agua se presentaran dos componentes la carga estática y la carga dinámica para llevar acabo el dimensionamiento hidráulico, se requiere obtener la carga dinámica total y el volumen diario que se tendrá que suministrar. Donde la carga dinámica total es la suma de la carga estática y la carga dinámica.

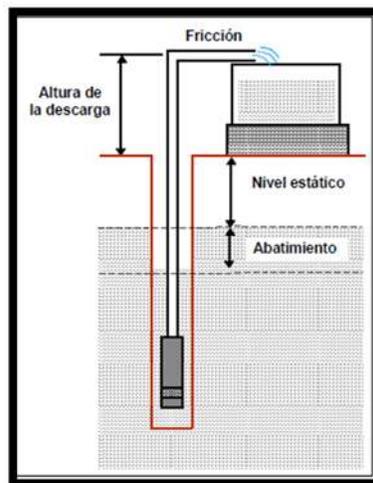


Figura. 4.1. Componentes hidráulicos de un sistema de bombeo. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

Comprendiendo cuales son las componentes de un sistema de bombeo para un pozo de agua también comprenderemos como funciona en un sistema hidráulico para una casa habitación. Donde el agua se tiene que bombear desde la cisterna y subirla hasta una cierta altura al tinaco.

#### **4.1.1.- Carga estática**

La carga estática se obtiene mediante mediciones directas en campo donde se mide la distancia vertical que tiene que subir el agua hasta llegar a su tanque de almacenamiento. En la imagen anterior se observa las partes por las cuales está compuesta para el caso de un pozo de agua, las cuales son el abatimiento, nivel estático y la altura de descarga.

Para el caso de una casa habitación se consideraría el abatimiento que se presenta en la cisterna, y la altura de descarga que es la altura hasta donde se encuentre el tinaco.

#### **4.1.2.- Carga dinámica**

La carga dinámica se obtiene mediante las mediciones de todas las tuberías también se debe de incluir las distancias horizontales, la carga dinámica se presenta debido a la presión del agua sobre las tuberías debido a la rugosidad de las tuberías que tendrán una resistencia para que el agua circule libremente, también se deben entender que las válvulas, conexiones causaran una resistencia al agua. El tipo de tubería que se utilice afectara a la carga dinámica ya que mientras más rugoso sea el tubo este presentara una mayor resistencia al paso del agua, también se debe tener en cuenta el diámetro de la tubería ya que si es muy pequeño será mayor la resistencia que producirá la tubería.

La carga dinámica se puede obtener de diferentes formas como es por métodos matemáticos o por medio de tablas, a continuación se describen algunas formas como se puede calcular la carga dinámica:

Valor por omisión; el valor por omisión se refiere a que la carga dinámica se puede calcular considerando el 2 % del total de la longitud de la tubería, esta forma se considera convencional y muy práctica, debido a que en el bombeo fotovoltaico los caudales que se bombean son bajos y las tuberías son de diámetros grandes.

Tablas de fricción; las tablas de fricción para calcular la carga dinámica son algo precisas debido a que estas las proporciona el proveedor de la tubería, por lo tanto es un valor más exacto a la rugosidad de la tubería. Teniendo las tablas que otorga el proveedor se necesita conocer el caudal, diámetro y el tipo de tubería que se colocara, y teniendo estos datos se podrá obtener la carga dinámica de una forma un poco más exacta.

Fórmula de Manning; la fórmula de Manning es un proceso matemático con el cual se puede conocer la carga dinámica, esta fórmula cuenta con pocas variables y que son fáciles de obtener debido a esto la fórmula es muy práctica y se puede realizar con cualquier calculadora. La fórmula se expresa a continuación;

$$HF = K \times L \times Q^2$$

Dónde:

L; es la longitud total que tendrá que recorrer el agua por las tuberías, sus unidades son (m).

Q; es el gasto que se tiene que extraer por la tubería, sus unidades son (m<sup>3</sup>/s).

K; es una constante empírica que se obtiene mediante una tabla, sus unidades son (m<sup>3</sup>/s)<sup>-2</sup>.

A continuación se muestra la tabla con la cual se obtiene el valor de K.

Tabla. 4.1. Valores de K usado en la fórmula de Manning. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

| MATERIAL    | DIÁMETRO EN PULGADAS |           |         |        |        |
|-------------|----------------------|-----------|---------|--------|--------|
|             | 0.5                  | 0.75      | 1       | 1.5    | 2      |
| PVC         | 9,544,491            | 1,261,034 | 291,815 | 31,282 | 7,236  |
| Galvanizado | 19,909,642           | 2,631,046 | 608,849 | 65,263 | 15,097 |

#### 4.2.- Determinación de la cantidad de módulos solares

El dimensionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico consiste en determinar la cantidad adecuada de módulos fotovoltaicos y la bomba correcta para que funcione de la mejor manera el sistema de bombeo, es importante tener en cuenta que siempre en el diseño fotovoltaico debe de ser un balance entre la máxima eficiencia y cuidando que sea a un costo mínimo.

En el dimensionamiento se determina cual será la potencia pico que necesitaran producir los módulos para cumplir con las necesidades de donde se tenga deseado instalar un sistema fotovoltaico, “Dado que los sistemas fotovoltaicos son caros, se deberá de instalar la potencia óptima para generar la energía requerida por las cargas eléctricas. Esto establece un criterio energético llamado el “balance de energía”. El criterio de balance de energía se puede escribir mediante la expresión siguiente; ENERGÍA GENERADA IGUAL A LA ENERGÍA CONSUMIDA” (Sánchez, 2009).

Para poder hacer un dimensionamiento adecuado es necesario conocer varios factores que intervienen en la eficiencia de los módulos, a continuación se mencionan algunos de los factores que se deben conocer para un buen dimensionamiento:

Factores geográficos; estos factores tienen su influencia en la radiación solar, ya que estos factores pueden contribuir con una buena eficiencia o disminuir la radiación solar y disminuir la eficiencia de los módulos.

Factores energéticos; estos factores tienen influencia en el consumo necesario para las necesidades de las cuales se requiere la energía eléctrica, que pueden ser para una localidad pequeña donde no se cuenta con una red de energía eléctrica o para una casa habitación en una zona urbana.

Factores tecnológicos; estos factores se refieren al conocimiento sobre los instrumentos que se utilizan para producir la energía eléctrica y darle un buen acondicionamiento, esto se refiere a poder utilizar instrumentos que ayuden a los módulos a dar una buena eficiencia, como puede ser el caso de seguidores automáticos, controladores de carga, etc.

El dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos se realiza mediante procesos matemáticos donde se analizan las cantidades de energía que debe suministrar el módulo a una cierta hora que será la base para el diseño.

“La potencia pico del generador fotovoltaico se determinará teniendo en cuenta la radiación total diaria incidente sobre la superficie de los módulos, y el rendimiento global de la conversión fotovoltaica en el que se incluye las pérdidas por conexionado, dispersión de parámetros, efecto de la temperatura, acumulación de suciedad en la superficie de los módulos, etc.” (Orbegozo, 2010)

#### 4.2.1.- Criterio de A-h

Este método es un criterio que se utiliza para el dimensionamiento de la cantidad de módulos fotovoltaicos que necesitara un sistema fotovoltaico, este criterio de A-h se recomienda su aplicación cuando los módulos fotovoltaicos tienen un voltaje nominal a 48 V en corriente directa. Donde se considera que el voltaje de la carga y el voltaje máximo el voltaje nominal que conforma un sistema fotovoltaico son el voltaje nominal.

Los módulos fotovoltaicos de 36 celdas fotovoltaicas han sido desarrollados especialmente para poder abastecer especialmente acumuladores de 12 volts de corriente directa, al conectar los módulos con los acumuladores quiere decir que se estará suministrando una corriente muy cercana al punto de potencia máxima que el proveedor garantiza, siempre y cuando este en las condiciones adecuadas para que esto sea posible.

De lo anterior escrito podemos llegar a establecer una ecuación matemática donde:

“Número de módulos en serie  $N_s$  está dado por;  $N_s = VN(S) / 12$ , donde  $VN(S)$  es el voltaje nominal del sistema” (Sánchez, 2010).

“Número de módulos en paralelo  $MP$  está dado por;  $MP = EC F_s / (HP IM hW hcc hI hcB)$ . En la expresión anterior,  $EC$  se debe expresar en A-h al voltaje nominal del sistema,  $F_s$  es el factor de sobredimensionamiento (1.05%), e  $IM$  es la corriente del módulo seleccionado en el punto de máxima potencia bajo STC” (Sánchez, 2010).

Es importante tener claro que no es muy recomendable conectar la corriente directa que producen los módulos con la corriente alterna, al menos que fuera muy necesario.

Con este criterio podemos determinar un número de módulos conectados ya sea en serie o bien en paralelo dependiendo de las necesidades de corriente y voltaje que necesite producir el sistema fotovoltaico.

#### 4.2.2.- Criterio de watt-hora

Este criterio se utiliza cuando el sistema produce más de 48 volts nominales y no se conoce con exactitud cuál es la cantidad de corriente que se tendrá que generar, como no conocemos la cantidad de corriente es que por este criterio solamente se realiza la expresión

matemática para módulos conectados en paralelo ya que de esa forma incrementaremos la corriente.

“Tomando en consideración lo anterior, el número de módulos en paralelo, MP, estará dado por  $MP = EC F_s / HP PP hW hcc hI hB$  donde PP es la potencia pico del módulo bajo condiciones estándares de prueba” (Sánchez, 2010).

### 4.3.- Selección del tipo de bomba

La selección del tipo de bomba que se valla necesitar en el sistema fotovoltaico es un proceso de selección muy importante, debido a que si se elige una bomba la cual no cumpla con las necesidades de bombeo que se requiera y su costo es alto este sistema dejara de ser viable. Es importante tener claro las necesidades de bombeo que se requiera así como la altura que se requiera subir el agua del pozo hasta su tanque de almacenamiento.

Dependiendo del gasto que se necesite bombear y la altura es necesario idealizar un tipo de bomba que sea la más correcta que cumpla con estas necesidades y que su costo sea el menor.

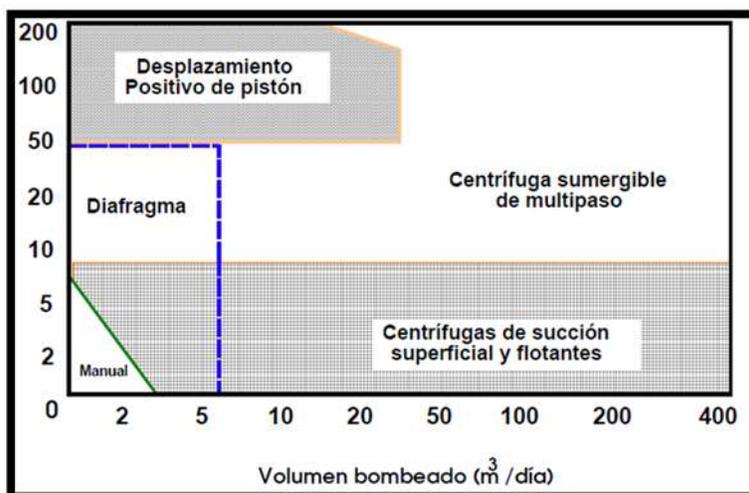


Figura. 4.2. Selección de bomba. Fuente; Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos. Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

Para poder tener una idea un poco más exacta del tipo de bomba que debemos de elegir nos podemos basar en la gráfica anterior, donde conociendo el volumen de bombeo y la altura podemos elegir un tipo de bomba, ya conociendo el tipo de bomba es más claro poder elegir un modelo económico y que cumpla con las necesidades para cual se proyecta.

## **5.- ASPECTOS ECONÓMICOS DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO**

### **5.1.- Estimación del sistema de bombeo fotovoltaico**

Determinar si un sistema de bombeo fotovoltaico puede ser conveniente para el sistema de bombeo es una decisión compleja debido a que un sistema de bombeo fotovoltaico es más caro que un sistema convencional. Se debe tener en cuenta que un sistema de bombeo fotovoltaico es más grande la inversión económica a realizar pero su costo a largo plazo lo compensará.

Para realizar una comparación entre un sistema convencional y un sistema fotovoltaico es necesario comparar costos de inversión del sistema fotovoltaico con diferentes proveedores de módulos y las bombas espaciales para este sistema.

“Por su alto costo inicial, los sistemas solares generalmente no son competitivos en lugares con servicio de electricidad convencional. Cuando no hay acceso a la red eléctrica, los sistemas solares y los de combustión interna son seguramente las alternativas más viables. Si existe un buen recurso solar en el lugar del proyecto (al menos 3.0 horas pico) y cuando se requiere un ciclo hidráulico menor que 1,500 m<sup>4</sup> por día, los sistemas solares podrían resultar más económicos a largo plazo que los sistemas de combustión interna. Aunque los sistemas de combustión interna generalmente cuestan menos inicialmente, su costo a largo plazo es elevado si se toma en consideración los gastos de combustible, mantenimiento y reparaciones” (Arango, 2001).

Para poder generar una estimación sobre la cantidad económica que se tiene que invertir en un sistema de bombeo fotovoltaico se puede recurrir a tablas donde conociendo la carga dinámica total y un aproximado de la radiación solar que hay en la zona, se puede hacer una estimación aproximada del costo del sistema fotovoltaico que se necesita.

Tabla 5.1. Estimación de módulos para bombeo. Fuente; Guia para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica, Volumen I, Santia National Laboratories, Southwest Technology Development Institute, Fideicomiso de Riesgo Compartido.

| Insolacion (Horas Solares Pico)       |        |        |        |        |        | Costo Aproximado del Sistema (*)<br>(Dólares Estadunidenses) |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 3                                     | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |  |           |           |           |           |           |           |           |
| 20,000                                | 26,700 | 33,300 | 40,000 | 46,700 | 53,300 | \$8,300  | \$9,600   | \$11,400  | \$13,600  | \$16,300  | \$16,500  | **        | **        |
| 13,500                                | 18,000 | 22,500 | 27,000 | 31,500 | 36,000 | \$8,200  | \$8,900   | \$9,300   | \$12,400  | \$13,400  | \$13,500  | \$17,200  | **        |
| 10,000                                | 13,300 | 16,700 | 20,000 | 23,300 | 26,700 | \$7,000  | \$8,400   | \$8,300   | \$10,300  | \$10,600  | \$12,400  | \$16,500  | \$17,800  |
| 6,500                                 | 8,700  | 10,800 | 13,000 | 15,200 | 17,300 | \$6,700  | \$7,000   | \$8,100   | \$8,800   | \$9,800   | \$11,600  | \$13,500  | \$16,400  |
| 5,000                                 | 6,700  | 8,400  | 10,000 | 11,700 | 13,300 | \$6,500  | \$6,700   | \$7,100   | \$8,100   | \$8,700   | \$10,500  | \$12,800  | \$14,500  |
| 4,000                                 | 5,300  | 6,600  | 8,000  | 9,300  | 10,700 | \$6,100  | \$6,300   | \$6,800   | \$7,900   | \$8,000   | \$9,400   | \$11,800  | \$12,700  |
| 2,500                                 | 3,300  | 4,200  | 5,000  | 5,800  | 6,700  | \$3,600  | \$3,700   | \$5,200   | \$6,500   | \$7,200   | \$8,700   | \$10,500  | \$11,300  |
| 2,000                                 | 2,700  | 3,400  | 4,000  | 4,800  | 5,400  | \$2,800  | \$3,300   | \$4,300   | \$5,600   | \$6,500   | \$8,500   | \$10,300  | \$10,800  |
| 1,500                                 | 2,000  | 2,500  | 3,000  | 3,500  | 4,000  | \$2,600  | \$2,800   | \$3,900   | \$4,400   | \$4,700   | \$5,500   | \$7,000   | \$9,800   |
| 1,000                                 | 1,300  | 1,700  | 2,000  | 2,300  | 2,700  | \$2,100  | \$2,400   | \$3,200   | \$3,500   | \$3,600   | \$4,100   | \$5,000   | \$6,200   |
| 500                                   | 700    | 800    | 1,000  | 1,200  | 1,300  | \$1,600  | \$1,800   | \$2,300   | \$2,500   | \$2,600   | \$3,000   | \$3,400   | \$3,300   |
| <b>Rendimiento<br/>(litros / día)</b> |        |        |        |        |        | <b>5</b>   | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>20</b> | <b>30</b> | <b>40</b> | <b>50</b> | <b>60</b> |
|                                       |        |        |        |        |        | <b>Carga Dinámica Total (Metros)</b>                         |           |           |           |           |           |           |           |

Con la tabla anterior es fácil poder generar una estimación aproximada del costo de un módulo fotovoltaico, conociendo factores básicos como son la hora pico, el gasto necesario y la carga dinámica total, así es posible generar una estimación del costo en dólares del módulo fotovoltaico. Es importante tener claro que en la tabla se incluye la mano de obra de la instalación y los impuestos, pero no se incluye el costo de la bomba. Es importante tener en cuenta que los precios son del año 2001, por lo tanto están desactualizados ya que los costos de los módulos fotovoltaicos han disminuido considerablemente casi hasta una tercera parte por eso si se hace uso de la tabla anterior se recomienda tener en cuenta que no será el precio actual por lo tanto será un costo menor al que está reflejado en la tabla.

## 5.2.- Costo del ciclo de vida útil de un sistema de bombeo fotovoltaico

Después de conocer cuál sería el gasto aproximado del sistema de bombeo fotovoltaico es importante conocer cuál es el costo de su mantenimiento a lo largo de su vida útil, el ciclo de vida útil del sistema se puede calcular con un método matemático muy simple donde se calcula el CCVU.

“El CCVU es el "valor presente" del costo de inversión, los gastos de refacciones, operación y mantenimiento, transporte al sitio y el combustible para operar el sistema. Se entiende por valor presente el cálculo de gasto que se realizaría en el futuro y que aplicando las fórmulas para este efecto se estima cuánto dinero se requiere “tener” para sufragar este gasto” (Arango, 2001).

$$CCVU = CI + Rvp + OyMvp + Tvp$$

Con la formula anterior se puede calcular el CCVU de una forma muy práctica, a continuación se describen las variables por las que está compuesta:

CI (Capital de inversión inicial); el capital de inversión inicial es el costo que se requiere para adquirir el sistema de bombeo fotovoltaico este se divide en varias partes como son, el diseño del sistema, las partes por las cuales está sistema está conformado (módulos, bombas, estructura, etc.), y el costo del técnico encargado de la instalación.

Rvp (Refacciones); las refacciones son el costo necesario por las piezas que puedan descomponer y tengan que ser remplazadas por partes nuevas en el transcurso de su vida útil.

OyMvp (Operación y Mantenimiento); la operación y el mantenimiento son el costo necesario para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema fotovoltaico, dentro de este costo se considera al operador encargado de dar el mantenimiento al sistema fotovoltaico y garantizar su adecuado funcionamiento.

Tvp (Transporte); el transporte es el costo necesario para llevar el sistema fotovoltaico hasta el sitio donde se instalara, dentro de este costo es considerado el combustible necesario para su traslado.

Tabla 5.2. Años de vida útil del equipo de bombeo fotovoltaico; Guía para el Desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica, Volumen I, Santa National Laboratories, Southwest Technology Development Institute, Fideicomiso de Riesgo Compartido.

| Componente                          | Vida útil (años) | Mantenimiento                    |
|-------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| Arreglo FV y estructuras            | 20+              | Ninguno                          |
| Controlador de potencia FV          | 10+              | Ninguno                          |
| Motor/bomba centrífuga sumergible   | 7-10             | Ninguno o limpiar los impulsores |
| Bomba centrífuga superficial        | 7-10             | Ninguno                          |
| Motor/bomba de diafragma sumergible | 3-5              | cambio de diafragmas cada 5 años |

## 6.- CONCLUSIONES

El sol es un recurso que se encuentra a diario en la vida del ser humano y lo podemos considerar inagotable por eso es importante conocer los beneficios que traen utilizar energías que dependan de él, ya que por más que lo utilicemos el continuara ahí para seguir siendo utilizado a diferencia de otras energías que dependen de la extinción de recursos naturales para poder generar energía.

La energía fotovoltaica es una alternativa completamente segura para satisfacer las necesidades de bombeo de agua ya sea de una zona rural o hasta en la zona urbana, la energía fotovoltaica tiene muchas ventajas a los métodos tradicionales con los cuales se suministra la energía eléctrica, tiene un costo menor de mantenimiento, son más amigables con el medio ambiente, etc.

El bombeo fotovoltaico es muy competitivo en la actualidad ya que en el mercado existen un sinfín de proveedores y modelos de módulos, con los cuales se puede elegir dependiendo las necesidades que tengamos que cumplir. Los sistemas fotovoltaicos cuentan con un respaldo de años de investigación con los cuales se puede realizar la comparación con los métodos comunes que se genera la electricidad y se observara muchas de las ventajas de los sistemas fotovoltaicos, y sus costos de adquisición han reducido considerablemente al pasar los años.

Los objetivos que tenía este trabajo fueron alcanzados satisfactoriamente ya que durante el trabajo se hace una descripción amplia de cómo es que trabaja un sistema de bombeo fotovoltaico y todas las componentes por las que está compuesto y alguna de las ventajas que puede tener utilizar el bombeo fotovoltaico. Por eso es importante tener en cuenta el bombeo fotovoltaico ya que este reducirá el daño al medio ambiente y cumplirá con las necesidades que tengamos.

## 7.- REFERENCIAS.

Arango 2001. José M. Arango, Robert Foster, Marcela Ascencio, Shannon Graham, Roger Barrientos, Charles Hanley, Cristina Briones, Octavio Montufar, Lisa Büttner, Jorge Ríos, Omar Carrillo, Vern Risser, Gabriela Cisneros, Jaime Rochín, Alma Cota, Arturo Romero-Paredes, Ron Donaghe, Michael Ross, Abraham Ellis, Chris Rovero, Luis Estrada, Aarón Sánchez, Alberto Fernández, John Strachan. “Guía para el desarrollo de proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica” Volumen 1, Libro de consulta. Santia National Laboratories, Fideicomiso de Riesgo Compartido, Southwest Technology Development Institute. [http://solar.nmsu.edu/wp\\_guide/Images/guide1.pdf](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/Images/guide1.pdf)

Arija 2010. Arija González D. “Prototipo de Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Proyectos de Cooperación al Desarrollo con Tecnologías Apropriadas” Proyecto Fin de Carrera I.T.I. Industrial Especialidad Electricidad. Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. <http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20David%20Arija%20Gonzalez.pdf?sequence=1>

Cabrera 2003. Cabrera P.I., & Fermín M.R. “Celdas Fotovoltaicas para Energizar un Sistema de Bombeo.” Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Energía, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI11325.pdf>

Gasquet 2004. Gasquet L. Hector. “Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica Manual Teórico y Práctico Sobre los Sistemas Fotovoltaicos” SOLARTRONIC. [https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/204826/mod\\_resource/content/0/Material\\_curso/SistemasFV.pdf](https://campusvirtual.univalle.edu.co/moodle/pluginfile.php/204826/mod_resource/content/0/Material_curso/SistemasFV.pdf)

Jiménez 2007. Jiménez R.M. “Energía Solar: Estado en México.” Programa de la CONAE, Secretaria de Energía. [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/taller\\_ener\\_ren\\_08.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/taller_ener_ren_08.pdf)

Orbegozo 2010. Orbegozo Carlos, Arivilca Roberto. “Energía Solar Fotovoltaica” Manual Técnico para Instalaciones Domiciliarias. Green Energy Consultoría y Servicios SRL. [http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual\\_ES\\_Fotovoltaica.pdf](http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual_ES_Fotovoltaica.pdf)

Ortiz 2014. Ortiz Moreno J.A., & Masera Cerutti O.R., & Gutiérrez Fuentes A.F. “La ecotecnología en México.” Unidad de ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM. Campus Morelia

Riveros 2010. Riveros R. D., Arancibia B. C. “Introducción al Estudio de la Radiación Solar.” Curso de Tecnologías Solares. UNAM.

Safe Creative 2015. “Radiación solar en la tierra” Dirección web; <http://www.sol-arq.com/index.php/radiacion-solar/radiacion-tierra>. Fecha de consulta 7 de noviembre del 2015.

Sánchez 2009. Sánchez J.A., Ortega C. J., Martínez E.D., Sánchez P.M. “Sistemas Fotovoltaicos Iluminación y Bombeo” Curso de Actualización Energía Fotovoltaica. Asociación Nacional de Energía Solar. <http://www.anes.org/anes/formularios/Descargas/SistemasFV.pdf>

Sánchez 2010. Sánchez J. A. “Tecnologías y Sistemas Fotovoltaicos.” Departamento de Materiales Solares, Centro de Investigación en Energía, UNAM.