

SEP

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

ING. ELÉCTRICA

INFORME FINAL DE PROYECTO DE RESIDENCIA  
PROFESIONAL

**Instalación, Capacitación y Mantenimiento de Sistemas  
Fotovoltaicos en 2 comunidades (el Tuzal y Villa del Rio).**

ELABORADO POR

**VÁZQUEZ HERNÁNDEZ JESÚS EMILIANO**

**11270556**

ASESOR

Dr. RUBÉN HERRERA GALICIA

ASESOR EXTERNO

Dr. NEIN FARRERA VAZQUEZ



**Tuxtla Gutiérrez Chis. (11 de Diciembre del 2015).**

<b>Capítulo I</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Estado del Arte</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Justificación</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4 Objetivos</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4.1 Objetivo Especifico</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4.2 Objetivos Particulares</b> .....	<b>7</b>
<b>1.5 Metodología</b> .....	<b>8</b>
<b>Capitulo II</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Caracterización del Área</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Área en que se Participo</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Antecedentes de la Institución</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Misión y Visión</b> .....	<b>10</b>
<b>2.2 Descripción del área donde se desarrolló el Proyecto</b> .....	<b>11</b>
<b>Capitulo III</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Fundamento Teórico</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Que es un Sistema Fotovoltaico Autónomo</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3 Cableado</b> .....	<b>26</b>
<b>3.4 Protecciones</b> .....	<b>26</b>
<b>Capitulo IV</b> .....	<b>33</b>
<b>4. Desarrollo</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1 Dimensionamiento Fotovoltaico</b> .....	<b>33</b>

<b>4.2</b>	<b>Calculo de la demanda energética por vivienda.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Dimensionamiento del Sistema de Bombeo Solar .....</b>	<b>36</b>
<b>4.4</b>	<b>Dimensionado del Sistema de Refrigeración Fotovoltaico. ....</b>	<b>39</b>
<b>4.5</b>	<b>Implementación de los Sistemas Fotovoltaicos para Electrificación de Viviendas.....</b>	<b>45</b>
	<b>Sistemas Fotovoltaicos para una Vivienda Rural.- .....</b>	<b>45</b>
	<b>Sistema de Refrigeración Fotovoltaica.- .....</b>	<b>46</b>
	<b>Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico.-.....</b>	<b>48</b>
	<b>Capítulo V.....</b>	<b>50</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusión.....</b>	<b>50</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>50</b>
	<b>Anexo A.....</b>	<b>50</b>
	<b>Anexo B Reporte Fotográfico.....</b>	<b>70</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>75</b>

## Capítulo I

### 1. Introducción

La disponibilidad de energía en el planeta se ha convertido en un problema importante, dado que las sociedades, sin importar el nivel del desarrollo en el que se encuentren, se ven afectadas por la excesiva demanda que requieren para satisfacer sus necesidades y la dificultad de trasladarla a lugares tan remotos de nuestro país.

La energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la biomasa, son consideradas las fuentes de energía del futuro, ya que, a diferencia del petróleo, el carbón, el gas o el uranio, son prácticamente inagotables y amigables con el medio ambiente. La cantidad disponible a nivel mundial de energías renovables es suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la Tierra.

En una hora, el Sol transmite más energía a la Tierra que la que es consumida en un año. Esta es la razón por la que la energía solar será uno de los principales pilares para la producción de energía en el futuro. Junto al uso de la energía solar para producir calor, el Sol es también utilizado para generar energía eléctrica, a lo que también es conocido como energía solar (FV).

Los sistemas fotovoltaicos que no se conectan a la red eléctrica son conocidos como “sistemas off-grid”. Los módulos fotovoltaicos generan electricidad en forma de corriente directa (CD) que puede ser utilizada sin necesidad de almacenamiento temporal (por ejemplo en bombas de agua alimentadas con energía solar), sin embargo la mayoría de los sistemas off-grid cuentan con baterías que almacenan la energía generada por los módulos FV para su uso.

Los Sistemas Fotovoltaicos Aislados son usados frecuentemente en locaciones aisladas para producir electricidad en áreas inaccesibles para la red de potencia eléctrica y de esta forma mejorar las condiciones de salud, educación, comunicación y recreación de la población, al tiempo que favorece la agricultura y el abastecimiento de agua.

#### 1.1 Antecedentes

La energía eléctrica hoy en día es una necesidad para todas las personas. En Chiapas parte de la población no cuenta con este servicio por diversas razones, o por las características geográficas donde viven. Las razones culturales afectan y

varían desde que no quieren pagar por el servicio hasta por miedo a que se modifique el entorno de donde se construirá la línea de transmisión.

La demanda de energía es adquirida por las grandes ciudades, pero también existen pequeños lugares que necesitan del servicio de energía eléctrica. Estos lugares requieren una pequeña carga eléctrica pero son muchos los lugares que necesitan estos servicios, haciendo esto imposible de suministrar ya que es difícil el acceso para su distribución, lo que provoca elevados costos en infraestructura.

La creación de la línea de transmisión sería restringida o anulada por el impacto ambiental que causaría. La mayoría de los grupos ambientalistas lo toman como un ecicidio dificultando aún más la construcción de esta. Uno de los factores que provoca que no cuenten con energía eléctrica todas las comunidades en Chiapas es la falta de comunicación entre los ejidatarios y la empresa que suministra la energía.

Cada una de las comunidades cuentan con una persona encargada de ver por el bienestar de la comunidad, en muchos casos no siempre toman la mejor decisión y se complica aún más la aceptación de la obra de electrificación. En muchos casos el Gobierno cumple con el apoyo de equipo para satisfacer las necesidades energéticas de las comunidades el detalle que únicamente colocan los sistemas y posteriormente se retiran. Las personas de las comunidades no cuentan con la educación o estudio necesario para poder dar mantenimiento y esto ocasiona un problema a futuro.

Comisión federal de electricidad se hace ajena a esta problemática, ya que en Chiapas muchas comunidades que cuentan con energía eléctrica se niegan a pagar por el servicio provocando que CFE no otorgue nuevos proyectos de ampliación o construcción. Las comunidades se niegan a pagar por pertenecer a grupos étnicos o diferentes grupos sociales.

## 1.2 Estado del Arte

Özge Dimir Başak, Bekir Sami Sazak, Center for Innovation in Electrical and Energy Engineering. Presentaron un trabajo de investigación acerca del efecto en la evolución de eficiencia en un Sistema Fotovoltaico, a través de los años, dan un muestreo de nuevos materiales y técnicas de fabricación desarrolladas para aumentar la eficiencia de las células solares [1].

Michael Perdue, Ralph Gottschalg, Center for Renewable Energy Systems Technology (CREST), School of Electronic, Electrical and Systems Engineering, Loughborough University, Loughborough. Hablan acerca del rendimiento y

fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos dependiendo de la calidad de instalación, condiciones meteorológicas a las que son sometidos y problemas de diseño [2].

Dr. Pascual López, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Energías Renovables. Presento un trabajo de investigación acerca de la importancia e impacto ecológico, social y tecnológico que conlleva el instalar este tipo de tecnología, sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en las comunidades rurales [3].

IEEE Standards Coordinating Committee 2, IEEE Normas Comité de Coordinación 21, pilas de combustible, energía fotovoltaica, generación y almacenamiento de energía. Este artículo de revista publicada por la (IEEE) ofrece consideraciones y procedimientos de diseño para el almacenamiento, la ubicación, el montaje, la ventilación, montaje y mantenimiento de baterías secundarias de plomo-ácido para sistemas fotovoltaicos de energía. También se incluyen las precauciones de seguridad y las consideraciones de instrumentación [4].

Ali Askar Sher Mohamad, Dr. Jagadeesh Pasupuleti, Prof Ir. Dr. Abd Halim Shamsuddin, Dept of Electrical Power College of Engineering, Uniten Kajang, Selangor, Malaysia, Head, Center of Renewable Energy College of Engineering. Presentaron un trabajo acerca de la implementación de sistemas fotovoltaicos en Malaysia con fines únicamente de vigilancia para los investigadores que se encontraban realizando sus trabajos en las localidades cercanas [5].

S. Pingel, O. Frank, M. Winkler, S. Oaryan, T. Geipel, H. Hoehne and J. Berghold SOLON SE, College of Engineering Berlin, Germany. Estos investigadores presentan el estudio de las principales causas del deterioro en los sistemas fotovoltaicos a nivel celdas, central, panel con respecto al tiempo, factores climáticos, problemas de fabricación [6].

Hakan Terzioglu, Fatih Alpaslan Kazan, Electricity and Energy Department Selçuk University, Vocational School of Technical Sciences Selçuklu Turkey. Hablan acerca de la importancia que hoy en día tendrá la generación de energía con la ayuda de un fuente inagotable que es el sol y como contribuye con el medio ambiente [7].

Dra. Alejandra castro Gonzales, Universidad Autónoma de México. Se proponen tres diseños de sistemas aislados de generación de electricidad a partir de energías renovables, para alimentar las cargas del Módulo de Producción Acuícola del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT). En esta zona se tiene una irradiación promedio anual de 4.83 kWh/m<sup>2</sup> día y una rapidez de viento promedio de 4.2 m/s, contando con valores mayores a los 12m/s, medios a una altura de 10 metros [8].

### 1.3 Justificación

La energía eléctrica es un servicio indispensable y sobre todo importante para el desarrollo humano. Este proyecto tendrá un impacto de manera directa en la forma de vida de los habitantes, ya que beneficiará de manera significativa a toda la comunidad, al ser capaz de generar su propia energía. Con la instalación de sistemas fotovoltaicos cubrimos las necesidades básicas de cada una de las viviendas en esta zona.

Las energías renovables se presentan claramente como la alternativa para garantizar la satisfacción de las necesidades energéticas de la sociedad. Diversas fuentes de energías renovables, como son la hidráulica, geotérmica, eólica, biomasa, hidrógeno, termosolar y la energía solar fotovoltaica, han probado ser el único camino hacia el desarrollo sustentable.

En especial esta última ha mostrado una gran madurez tecnológica y enormes avances en la mejora de su eficiencia y reducción de costos, siendo una de las mejores alternativas para la satisfacción de las necesidades energéticas en aquellas comunidades de alta marginación. En México el principal modelo de obtención de energía es a través de combustibles fósiles.

Debido al alto impacto ambiental producido, la generación de energía se inclina cada vez más hacia la sustentabilidad que proteja a nuestro planeta, los sistemas fotovoltaicos son una mejor forma de convivir con el medio ambiente. Al promover la instalación de Sistemas Fotovoltaicos en Chiapas para las comunidades que cuentan con el recurso suficiente se genera una reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero, se evita la modificación del área, se produce energía limpia y renovable y el impacto visual es mínimo, por tratarse de una comunidad donde en muchas ocasiones suele ser el principal problema.

Se propone la instalación de centrales fotovoltaicas así como también proporcionar un curso sobre instalación y mantenimiento a dichos sistemas. Con este curso se pretende evitar a futuro que los habitantes de las comunidades se vean en la necesidad de depender únicamente de personas expertas en el tema y esperar a que lleguen a solucionar problemas que puedan surgir a través del funcionamiento de los Sistemas (FV).

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Especifico

Instalar, capacitar a personal técnico y realizar el mantenimiento a los Sistemas Fotovoltaicos en 2 comunidades del municipio de Cintalapa, Chiapas. (Tuzal y Villa del rio).

### 1.4.2 Objetivos Particulares

Dimensionar Sistemas Fotovoltaicos. Seleccionar cables conductores, aislantes y semiconductores para la instalación. Seleccionar elementos de protección para el sistema. Instalar Sistemas fotovoltaicos (Autónomos individuales, Centrales Autónomas, Bombeo Solar). Capacitar personas de la comunidad para realizar mantenimiento a futuro. Diseñar el Manual de Mantenimiento para la comunidad.

**Dimensionamiento Fotovoltaico.-** Se calculara el consumo de cada una de las viviendas y centrales a su vez para su correcto funcionamiento así como también el cálculo de baterías, inversor, regulador y módulos fotovoltaicos.

**Selección de Cableado.-** Tomando en cuenta el dimensionamiento procederemos a la selección de cableado necesario para la instalación de los diversos sistemas fotovoltaicos tomando en cuenta los parámetros: corriente, voltaje, distancia y caída de tensión.

**Selección de elementos de protección.-** Los elementos que se utilicen como protección (fusibles, interruptores en general y diodos) deben seleccionarse los adecuados para los valores de tensión y corriente de una instalación fotovoltaica.

**Instalación de Sistemas Fotovoltaicos.-** Conexión desde la central fotovoltaica a cada una de las viviendas que necesiten energía así como también la instalación individual de una mini central para suministrar agua para la comunidad.

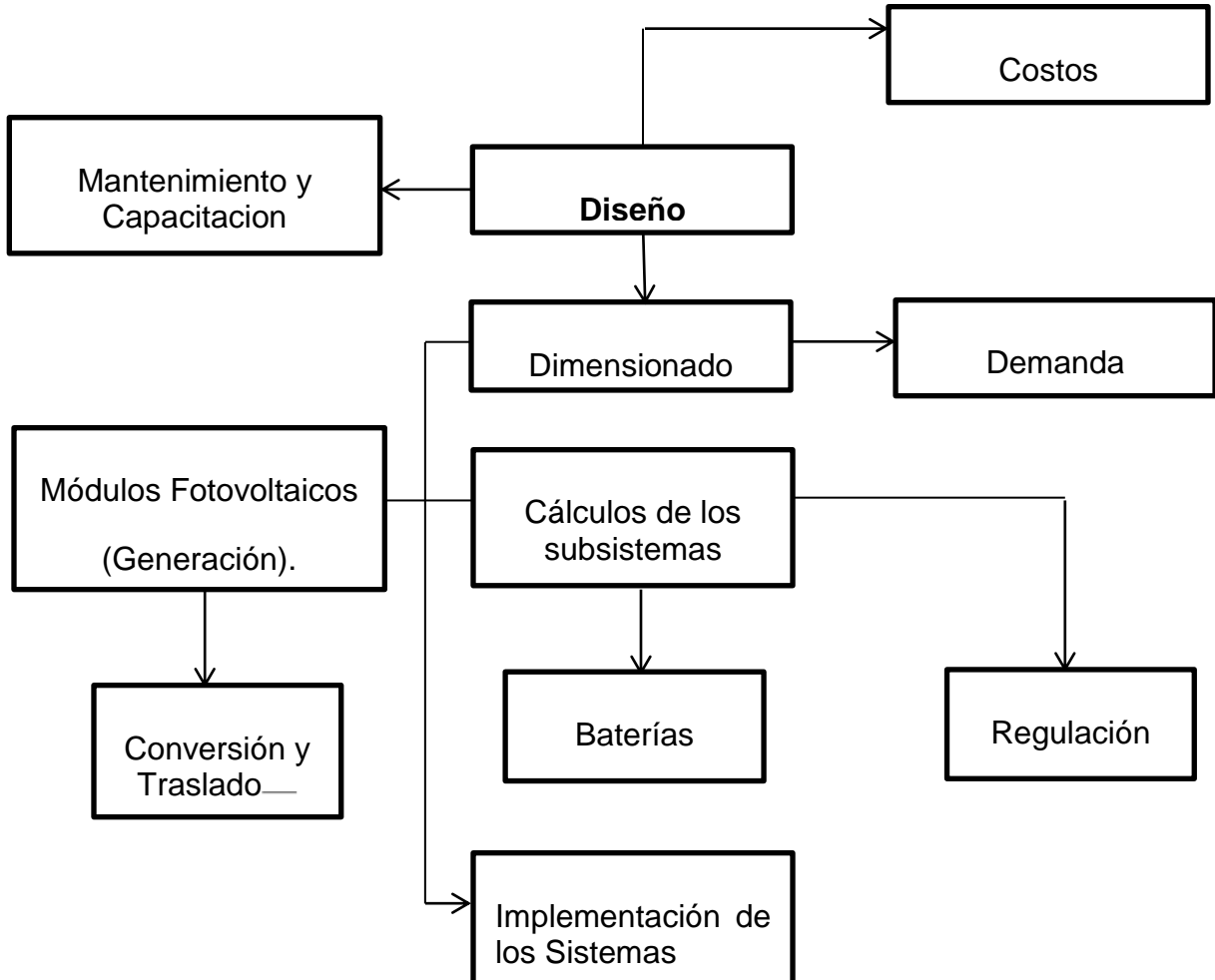
**Capacitación para realizar mantenimiento.-** Se realizara material didáctico para impartir el curso de capacitación de personal de la comunidad para poder realizar el mantenimiento a futuro llevado de la mano con la capacitación practica con los mismos sistemas instalados en las comunidades.

**Diseño del manual de mantenimiento.-** En esta parte se realizara un manual muy práctico para el uso de los habitantes de las comunidades el cual sea muy fácil de entender sin dejar de tomar en cuenta la seguridad que las personas tienen que tener durante el mantenimiento.



## 1.5 Metodología

Diagrama a bloques del Hardware



*Fig. 1.1 Diagrama a bloques del Hardware sistemas autónomos (FV).*

**Costos de un SFV.-** El costo de los Sistema FV es uno de los argumentos que utilizan sus detractores ya que, de manera global, éste parece alto. El análisis de costos constituye una parte importante del diseño de los SFV y no puede abordarse en base al costo inicial de la instalación, el cual generalmente, resulta superior, si se compara con otros recursos renovables.

**Determinación del consumo total.-** Se obtiene al multiplicar las horas al día de uso, de cada uno de los equipos eléctricos por la corriente que se necesita suministrarle para su operación. Se realiza la sumatoria, en función a los equipos eléctricos a alimentar con energía solar fotovoltaica y el número arrojado será nuestro consumo total.

**Implementación de los sistemas.-** Posterior al diseño de los sistemas fotovoltaicos se dará paso a las actividades de implementación de los equipos tecnológicos a las comunidades, se tomarán todas las precauciones necesarias para disminuir los riesgos y proporcionar el servicio requerido de forma fiable, duradera en el tiempo y con el menor mantenimiento posible.

**Dimensionado del Sistema Fotovoltaico.-** La importante del diseño de un sistema fotovoltaico, es el dimensionado, el cual se consideran dos parámetros fundamentales que se deben de tomar en cuenta, a la hora de la instalación del sistema. Uno de ellos es el recurso solar de la zona (radiación solar), del cual se dispone o que incide en el lugar que se pretende implementar, el segundo parámetro, es el recuento o la suma de las potencias, voltajes y corrientes, con los cuales operan los equipos eléctricos.

**Módulos fotovoltaicos.-** Son elementos de cualquier sistema fotovoltaico, su misión es captar la energía del sol incidente para generar un corriente eléctrica.

**Regulador.-** Es el equipo que se encarga de gestionar el consumo de los módulos FV, las baterías, y la carga que está evitando sobrecargas o descargas profundas, protegiendo así su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

**Baterías.-** Las baterías (o acumuladores) sirven para almacenar la energía que los paneles generan diariamente, y así poderla usar en horas donde la energía consumida es superior a la generada, como sucede en la noche. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico entrega.

**Inversor.-** Los convertidores o comúnmente llamados inversores son elementos que permiten adaptar las características generadas por un sistema fotovoltaico a la demanda total o parcial de las aplicaciones es decir encargado de convertir el voltaje generado por los paneles

**Carga.-** Es la energía que provee todo el sistema en conjunto a partir del proceso que lleva desde pasar por el regulador, baterías e inversor entregando corriente alterna para los aparatos y sobre todo iluminación de las viviendas. En muchos casos no es necesaria la conversión de corriente directa/corriente alterna pues muchos elementos funcionan con corriente directa.

**Mantenimiento y Capacitación.-** Para el mantenimiento y operación del SFV, es importante que los usuarios tengan en cuenta todo lo relacionado al mantenimiento preventivo para el buen desempeño del sistema. La capacitación a personal de las comunidades se realizara prácticamente mientras los habitantes de la comunidad observan el procedimiento que esto conlleva.

## Capítulo II

### 2. Caracterización del Área

#### 2.1 Área en que se Participo

En el área de investigación CIDTER (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables), Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas; se pretende formar profesionales cuidando los principios de desarrollo sustentable y que permitan contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones en desarrollo.

El CIDTER cuenta con infraestructura moderna y equipamiento de tercera generación para la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en áreas de fotovoltaica, eólica y biomasa, permitiendo aprovechar la radiación solar, el viento y los desechos agroindustriales entre otros para producir energías limpias con cero emisiones hacia la atmósfera.

#### 2.2 Antecedentes de la Institución

La Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), es una universidad pública localizada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez en el estado de Chiapas, México. Actualmente considerada, junto con el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, como la segunda casa de estudios del estado de Chiapas, cuenta con una ciudad universitaria, posgrados, el Centro de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático y también el Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica.

Su lema es Por la cultura de mi raza, y su actual Rector es el Ing. Roberto Domínguez Castellanos. Fue fundada el 15 de mayo de 1944, inicialmente como el Instituto de Ciencias y Artes de Chiapas (ICACH); cuyo primer director y fundador el Ing. Ángel Mario Corzo Gutiérrez. Posteriormente, en 1995 fue elevada al rango de Universidad por el Gobernador del estado Lic. Eduardo Robledo Rincón; y en 2000 obtuvo su autonomía.

#### 2.2 Misión y Visión

**Misión.-** Formar profesionales calificados en las áreas científicas, humanísticas y técnicas, conocedores de la diversidad cultural y ambiental de la región y del país, comprometidos con la mejora continua y el desarrollo sustentable. Con un enfoque educativo centrado en el aprendizaje, la universidad desarrolla la investigación, la

extensión y la difusión del conocimiento para mejorar la calidad de vida de la sociedad.

**Visión.-** La Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas está posicionada con un fuerte reconocimiento social en la región por la pertinencia de su oferta académica, sustentada en programas educativos reconocidos por su buena calidad, cuerpos académicos consolidados, que cultivan líneas de generación y aplicación del conocimiento, y que logran una fuerte vinculación con el sector social, basada en un permanente programa de mejora continua; asimismo, se reconoce por sus procesos administrativos y de apoyo académico certificados, por la actualización constante de su normatividad y por la infraestructura adecuada a sus necesidades.

## 2.2 Descripción del área donde se desarrolló el Proyecto

El proyecto se realizó en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Dentro de la universidad se cuenta con un centro de investigación (CITDER) donde realizaremos cálculos y pruebas con el material didáctico de cual dispone la universidad para nuestra preparación, posteriormente seguiremos con la preparación del curso de capacitación y mantenimiento para las comunidades. Se pretende realizar planos de cada una de las instalaciones individuales tanto como cada una de las centrales fotovoltaicas ubicadas en las 2 comunidades. Como también diagramas de un panorama general de la instalación eléctrica en conjunto, esto con la ayuda del software AutoCAD.

Se tiene agendadas próximas visitas a las comunidades, la primera para la realización de una evaluación de los sistemas de energías fotovoltaicos, el estado en que se encuentran, programar el próximo mantenimiento, obtención de datos para la realización del dimensionamiento de los diversos sistemas, evaluó del potencial solar, revisión de baterías y estructura.

En la segunda visita se realizara la capacitación a toda la comunidad para así seleccionar a un grupo de personas las cuales serán encargadas de realizar el mantenimiento a futuro. El “Tuzal” y “Villa del Rio” comunidades que se localizan en el Municipio de Cintalapa del Estado de Chiapas México y se encuentran ubicadas en las coordenadas GPS o Google Earth: Longitud (dec): 93.920000 y Latitud (dec): 16.744167. Localidades que se encuentran a una mediana altura de 650 metros sobre el nivel del mar.

## Capítulo III

### 3. Fundamento Teórico

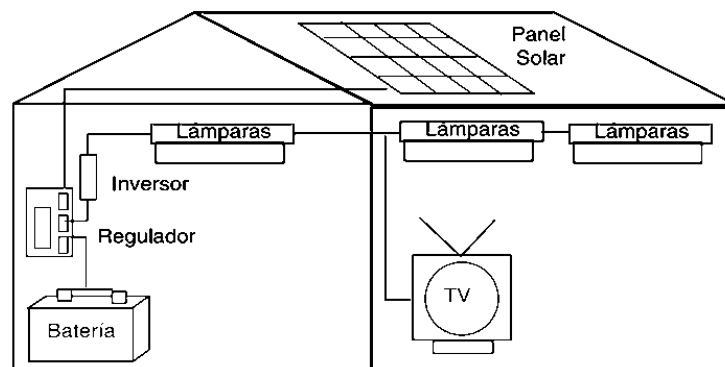
#### 3.1 Sistema Fotovoltaico Autónomo

Es un conjunto de equipos integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales: transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica, almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada, proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada, utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

En el orden mencionado con anterioridad, los componentes del sistema fotovoltaico encargados de realizar su respectiva función son: Módulo o Panel Fotovoltaico, Batería, Regulador de carga, Inversor o Convertidor y por último las cargas o comúnmente conocido como consumo energético.

En instalaciones fotovoltaicas autónomas es frecuente, además de los equipos mencionados anteriormente, el uso de fusibles para la protección del sistema. En instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y, adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. En el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.



**Fig.3.1** Esquema simple de un sistema fotovoltaico autónomo.

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

**Aplicaciones Autónomas.-** Pueden producir energía sin necesidad de ningún tipo de conexión con la red que suministra Comisión Federal de Electricidad, con la finalidad de dotar de este tipo de energía al lugar donde se encuentren ubicadas, una de sus ventajas más notables es que pueden ser instaladas en lugares remotos donde en muchas ocasiones es imposible contar con el servicio de energía eléctrica.

**Electrificación de zonas rurales y aisladas.-** Estas instalaciones, que se pueden realizar en cualquier lugar, están pensadas para países y regiones de bajo desarrollo y todas aquellas zonas que no existe acceso a la red eléctrica comercial (CFE), viviendas aisladas, de ocupación permanente o periódica, refugios de montaña.

**Señalización.-** Esto aplica para señales de tráfico Luminosas (semáforos o publicidad), formados por diodos LED, alimentados por un panel solar de pocos watts y un de dimensiones un poco pequeñas, con un batería para almacenar la energía producida durante el día por el panel solar.

**Bombeo de agua.-** Estas instalaciones están pensadas para lugares tales como rancherías, comunidades rurales, granjas entre otras. Se puede realizar casi en cualquier lugar. Su uso puede ser utilizado tanto para bombeo de agua potable como para riego en estos lugares.

### 3.2 Componentes de un Sistema Fotovoltaico

**El panel fotovoltaico.-** Los *módulos o paneles solares* son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico, y su misión es captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica. Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica ya que proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales.

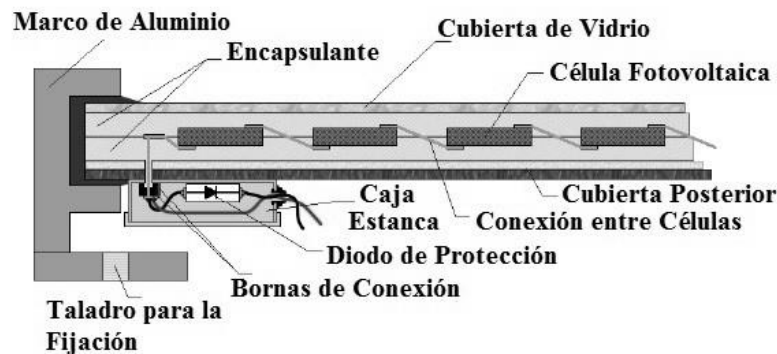
En el conjunto del panel FV, las celdas o células solares deben ser iguales. Están conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado.

**Estructura de los paneles solares.-** Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir cada panel solar fotovoltaico. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos en general, como el uso de una estructura de "sándwich", donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos.

Los paneles solares fotovoltaicos están formados por los siguientes elementos: cubierta frontal de material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctrica cubierta posterior, y marco metálico. Otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y sensores, eso dependiendo del usuario.

**El marco metálico.-** Tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno).

**El vidrio frontal.-** Es antirreflejante para optimizar la captación de los rayos solares y también para mantenerlos dentro del panel. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.



**Fig. 3.2** Elementos que conforman un panel fotovoltaico.

**Cubierta posterior.-** Sirve de protección y cerramiento al módulo, fundamentalmente contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad. Está formado por varias capas de un aislante eléctrico llamado Tediard que, al ser opacas y de color blanco, reflejan la luz que ha logrado pasar por las células, haciendo que vuelva a la parte frontal, donde puede ser reflejada e incidir de nuevo en las células.



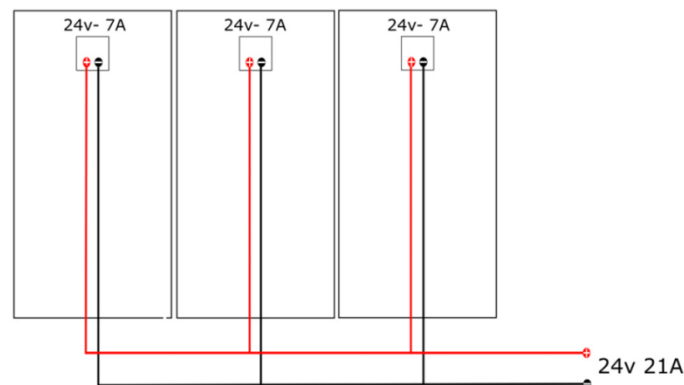
**Cajas de conexiones eléctricas.-** Se sitúan en la parte posterior del módulo. Deben ser a la vez accesibles y estancas, con un grado de protección adecuado, cableado protegido contra la humedad y los fenómenos atmosféricos, dado que se encuentran a la intemperie, y es fundamental que quede asegurada la conexión con otros módulos o con el conductor exterior: a las cajas de conexiones llegan los terminales positivo y negativo de la serie de celdas.

**Diodos de by-pass.-** La caja de conexiones contiene también unos (diodos de paso) que protegen individualmente a cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales, impidiendo que las células sombreadas actúen como receptores. Deben ser utilizados en disposiciones en las que los módulos están conectados en serie, colocándose paralelamente a los mismos.

El diodo se conecta con polaridad opuesta a las células, de manera que si éstas trabajan correctamente no pasa por él ninguna corriente. Si una tira en serie está sombreada de manera que invierta su polaridad, la polaridad del diodo cambiará, con lo que ofrece un camino más fácil para el paso de la corriente generada por el resto de los grupos de células.

**Conexión de los módulos.-** Como las células fotovoltaicas individuales tienen valores de tensión de unos 0,5 V y una corriente de unos dos amperios. Para obtener potencias utilizables para aparatos de mediana potencia, hay que unir un cierto número de células y obtener así la tensión y la corriente requeridas para su funcionamiento.

**Conexión en paralelo.-** Cuando conectamos los paneles en paralelo, lo que estamos haciendo es mantener fijo el voltaje y sumar la intensidad de los paneles. Siguiendo el mismo ejemplo de antes, si tenemos 3 paneles de 24V en paralelo, el total sigue siendo 24V y la intensidad es la suma de las intensidades de los paneles (si estimamos 7 amperios por panel pues 21 amperios en total).

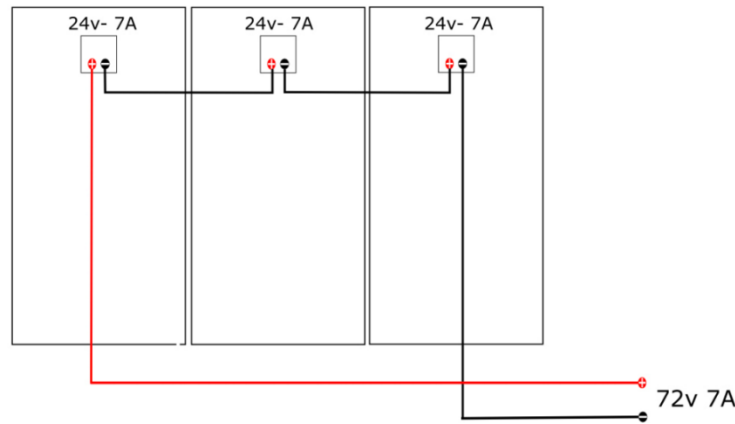


**Fig.3.3** Esquema básico de conexión módulos en paralelo.



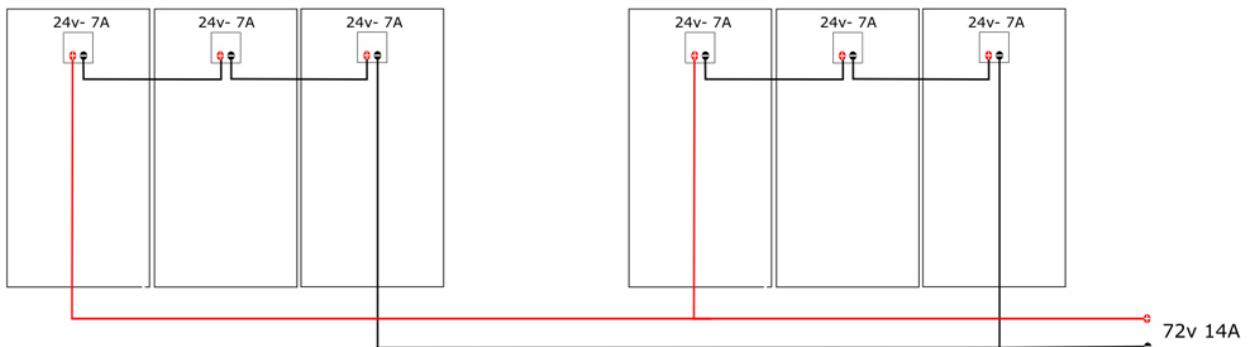
**Conexión en serie.**- Este tipo de conexión se basa en conectar el terminal positivo de un módulo con el negativo del siguiente, y así sucesivamente hasta completar la serie. Los terminales del grupo generador estarán en el terminal positivo del último *módulo conectado* y el negativo del primero. Cuando los paneles se conectan en serie la tensión resultante es la suma de la de todos los paneles.

Normalmente se hacen conexiones en paralelo para conseguir intensidades de 20 ó 25 A, en instalaciones autónomas de electrificación y/o bombeo, y superiores en instalaciones de conexión a la red de elevada potencia. Hay que recordar que el aumento de intensidad produce un aumento de pérdidas por efecto Joule (calentamiento de los conductores).



**Fig.3.4** Esquema básico de conexión módulos en serie.

**Conexión mixta.**- Para satisfacer diferentes necesidades de tensión y voltaje, los módulos pueden combinarse en agrupaciones serie-paralelo. Los paneles solares están diseñados para poder formar una estructura modular, es decir, para poder conectar varias unidades en un sistema y así poder formar a lo que se le llama conexiones mixtas.



**Fig.3.5** Esquema básico de conexión de módulos en forma mixta.

**Parámetros Eléctricos que definen a un módulo fotovoltaico.-** En muchas ocasiones hablamos de las *características eléctricas* de un módulo fotovoltaico, en unos casos para poder determinar las condiciones de trabajo de una instalación existente en otras para dimensionar el sistema que vamos a instalar. Los parámetros que definen el comportamiento de un módulo solar son los siguientes.

**Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ).**-Es la intensidad máxima de corriente que se puede obtener de un panel bajo unas determinadas condiciones. Correspondería a la medida, mediante un amperímetro de la corriente entre bornes del panel, sin ninguna otra resistencia adicional, esto es, provocando un cortocircuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.

**Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ).**-Es el voltaje máximo que se podría medir con un voltímetro sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto (resistencia entre bornes infinita). La tensión de circuito abierto de un módulo es la de cada una de sus células por el número de células conectadas en serie.

**Potencia máxima ( $P_{mp}$ ).**- En unas condiciones determinadas, la intensidad  $I$  tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e  $I_{sc}$ , correspondiéndole un voltaje  $V$  que tomará un valor entre 0 y  $V_{oc}$ . Dado que la potencia es el producto del voltaje y la intensidad, ésta será máxima únicamente para un cierto par de valores ( $I$ ,  $V$ ), en principios desconocidos.

Decimos que una placa solar trabaja en condiciones de potencia máxima cuando la resistencia del circuito externo es tal que determina unos valores de  $I_M$  y  $V_M$  tales que su producto sea máximo. Normalmente un módulo fotovoltaico no trabaja en condiciones de potencia máxima, ya que la resistencia exterior está fijada por las características propias del circuito, aunque existe la posibilidad de utilizar dispositivos electrónicos conocidos como “seguidores del punto de máxima potencia”.



**Fig. 3.6** Placa de Especificaciones Eléctricas de un Módulo Fotovoltaico.

**Baterías.-** Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación. Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.

Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.

Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que puede producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.



**Fig. 3.7** Baterías Trojan de ciclo profundo de descarga para Sistemas Fotovoltaicos Autónomos.

**Características de las Baterías.-** Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas.

Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas. Esto debido a la estructura interna de las baterías ya que están diseñadas para larga duración es decir su descarga es mucho más lento que las baterías para automóviles.

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son: a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente, b) los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

**Capacidad de Descarga.-** La capacidad de la batería se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga.

Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene a una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas.

**Mantenimiento y vida útil.-** Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas 'baterías libre de mantenimiento', no lo necesitan. Se requiere de mantener en constante vigilancia a las baterías para saber cuándo es necesario darles mantenimiento.

Generalmente, la vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida. La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas son elementos bastante sensibles a la forma como se realizan los procesos de carga y descarga. Si se carga una batería más de lo necesario, o si se descarga más de lo debido, ésta se daña. Normalmente, procesos excesivos de carga o descarga tienen como consecuencia que la vida útil de la batería se acorte considerablemente.

Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería puede representar hasta un 15-30 % del costo total, es necesario disponer de un elemento adicional que proteja la batería de procesos inadecuados de carga y descarga, conocido como regulador o controlador de carga.

**Especificaciones Eléctricas.-** Las especificaciones eléctricas de una batería indican sus condiciones de trabajo a las cuales pueden ser sometidas, especialmente depende de cada fabricante y están diseñadas para cubrir necesidades específicas. Las principales características son: tensión, capacidad de descarga y profundidad de descarga.

**Tensión.-** La unidad de construcción básica de una batería de plomo-acido es la celda de 2 V. Dentro de una celda, la tensión de la batería depende de su estado de descarga: si está cargando o en circuito abierto. En general, la tensión de una celda varía entre 1.75 V y 2.5 V, siendo el promedio los 2 V de tensión que suele llamar nominal de la celda.

Cuando las celdas de 2 V se conectan en serie las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de 4, 6 y 12 V. Si las baterías están conectadas en paralelo las tensiones no cambian, pero se sumaran sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo de igual tensión y de la misma capacidad.

**Capacidad.-** Es la cantidad de energía que puede suministrar la batería en unas determinadas condiciones de trabajo. Se expresa amperios-hora (Ah). La capacidad de almacenaje de una batería depende de su velocidad de descarga. Teóricamente una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, o 50 A durante 4 horas.

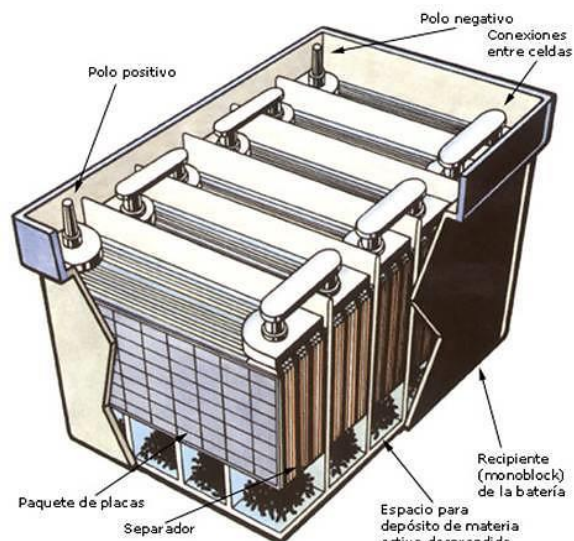


En general si la batería se descarga a un nivel más lento, su capacidad aumentara ligeramente, si el ritmo es más rápido la capacidad se reducirá. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía de la batería que entrega. Un tiempo de descarga típico es sistemas fotovoltaicos es de 100 h. También al igual que para paneles solares puede definirse el voltaje del circuito abierto y el voltaje en carga.

**Profundidad de descarga.-** Es la cantidad expresada en tanto por ciento, que representa el cociente entre la carga extraída y la capacidad nominal de la batería, es decir lo que se ha descargado de una batería en funcionamiento. Pueden ser descargas superficiales de un 20% o descargas profundas, que llegan al 80%. Para aplicaciones fotovoltaicas se fabrican baterías que soportan hasta descargas del 80% de capacidad sin llegar a dañarse.

La capacidad de descarga afecta la vida de las baterías, de forma que cuanto mayor es la profundidad de descarga, menor es el número de ciclos de carga de la batería pueda tener. Para todo tipo de baterías, si un acumulador llegar a quedar totalmente descargado puede llegar a dañarse seriamente y así perder gran parte de su capacidad de descarga.

Por lo general las baterías es el elemento más delicado de una instalación y la primera en ser remplazada. Las baterías deben permanecer en un lugar de una temperatura templada y bien ventilada, fuera del alcance de los niños y personas inexpertas, ya que pueden llegar incluso a causar envenenamiento o en el peor de los casos causar la muerte.



**Fig.3.8** Partes de una batería de ciclo profundo.

**Regulador de carga.-**El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

Los reguladores actuales introducen microcontroladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico.

Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado.

Teniendo en cuenta que la energía solar es variable y estacional, es importante tener un elemento que te permita controlar la relación que establecen la batería y sistema generador FV. Suponiendo que el consumo es fijo durante todos los días del año. Cuando se calcula el número de módulos solares necesarios, se hace tomando en cuenta como base la radiación invernal para asegurar el correcto funcionamiento en los peores casos.

El regulador o controlador de carga, es el equipo que se encarga de gestionar el consumo directo de las placas, baterías y la carga de estas evitando sobredescargas o descargas profundas, alargando su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores se instalan entre el sistema generador y las baterías, tomando de estas la energía para su funcionamiento.



Fig.3.9 Regulador o Controlador de carga para sistemas fotovoltaicos.

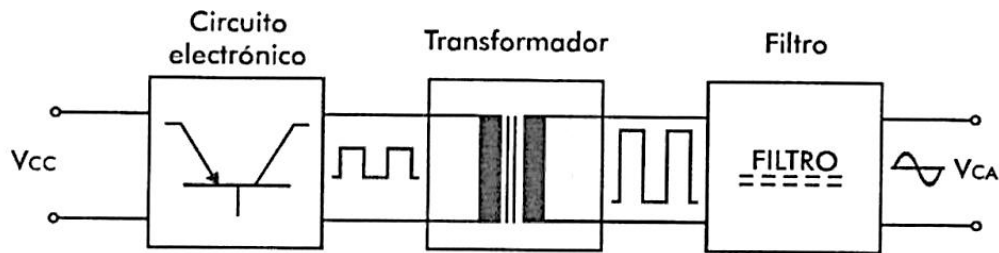
**Convertidores e inversores.-** En determinadas aplicaciones que trabajan con corriente continua, no es posible hacer coincidir las tensiones proporcionadas por el acumulador con la demanda por todos los elementos de consumo. En estos casos la mejor solución es un convertidor de tensión continua-continua (CC/CC). Se utiliza para una ocasión especial.

Mediante el uso de convertidores CC/CC, la descarga de la batería se consigue, para el equipo que usa el convertidor, una tensión totalmente estable que favorecerá el perfecto funcionamiento de este, sobre todo si se trata de algún equipo electrónico de precisión.

Los inversores de corriente son elementos que permiten acoplarse a las características de la corriente generada por el sistema fotovoltaico a la demanda total o parcial de las aplicaciones. Los convertidores continua-alterna, llamados inversores u onduladores, son dispositivos que convierten la corriente continua de una batería en corriente alterna.

Un inversor CC/CA consta de un circuito electrónico, realizado con transistores o tiristores, que trocea la corriente continua, alternándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser ya utilizada después de haberla hecho pasar por un transformador que la eleve de tensión, obteniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien, si se filtra, obtener una forma de onda sinusoidal igual a la de la red eléctrica.

Los inversores son convertidores CC/CA que permiten transformar la corriente continua de 12, 24, o 48 V que producen los paneles y almacena la batería, en corriente alterna de 127 o 220 V, como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la red eléctrica que suministra CFE. Esto permite usar los aparatos eléctricos convencionales diseñados para trabajar con este tipo de energía.



**Fig. 3.10** Esquema de un convertidor CC/ CA.

Un convertidor CC/CA consta con un circuito integrado electrónico realizado con transistores o tiristores, que corta la corriente continua, alterándola y creando una onda de forma cuadrada. Este tipo puede ser utilizada, después de haberla pasar por un transformador que eleve la tensión teniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada y obtener una forma de onda similar a la que suministra la red eléctrica.

**Especificaciones Eléctricas.-** Las tensiones nominales de entrada y salida del inversor, que se deben adaptar a la del sistema. El inversor debe ser capaz de



transformar distintas tensiones, ya que la tensión de entrada no corresponde a un valor fijo. La tensión de salida no debe ser superior a un 5% de la tensión nominal de la salida en inversores de onda senoidal ni a un 10% de los inversores de onda cuadrada.

*Potencia nominal de salida.*- Corresponde al régimen en funcionamiento continuo del circuito de salida del inversor. Oscila entre 100 Y 5.000 W. A veces, durante la puesta en marcha de determinados elementos de consumo, la potencia de salida es superior a la nominal durante un tiempo determinado, potencia de sobre descarga o potencia pico.

*Eficiencia.*- Es la relación entre la potencia eléctrica que entrega el inversor y el que consume el generador o las baterías. La eficiencia de un inversor no siempre es constante y depende del régimen de carga al que es sometido. Para régimen de carga próxima a la potencia nominal, la eficiencia es mayor que para régimen de carga bajos.

Al igual que sucede con la mayoría de las maquinas eléctricas, la eficiencia de los inversores varía en función de la potencia que suministra, de modo que la eficiencia nominal suministrada por el fabricante suele corresponder a la eficiencia máxima, correspondiente a un determinado nivel de carga. Algunos inversores operan con la eficiencia máxima cuando trabajan a un 50% y el 75% de la potencia nominal.

Los inversores de casi- onda senoidal o senoidal-modificada suele siempre tener mayor rendimiento que los de onda senoidal-pura. De todas formas, no debe entenderse como un principio inamovible, pues cada uno de los fabricantes están mejorando cada día continuamente los diseños con correcciones para los nuevos inversores que salen al mercado.



Fig.3.11 Inversor de CC/CA.

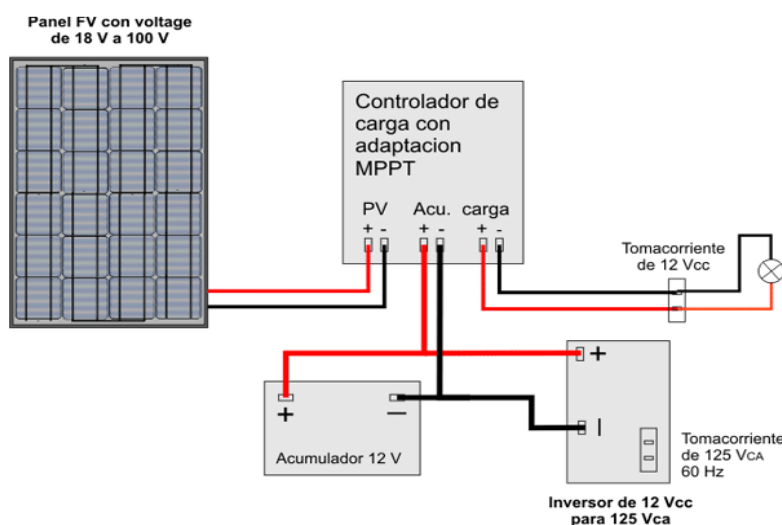
**Capacidad de sobre descarga y de protección.-** Es la capacidad de suministrar una potencia superior a la nominal y el tiempo que esta situación puede mantenerse. Es muy útil en instalaciones donde hay motores, ya que en el momento del arranque se multiplica la potencia necesaria para el funcionamiento nominal, aunque no más de dos segundos.

En el momento de poner en marcha la mayoría de los motores (bomba, compresor, maquina), este consume un pico de corriente que puede llegar a ser hasta de cinco veces la intensidad nominal y que, por regla general, es de aproximadamente tres veces, lo que conlleva a un esfuerzo mucho mayor a que por lo general están sometidos los paneles fotovoltaicos.

**Características de los inversores.-** Los inversores que se utilicen en instalaciones fotovoltaicas autónomas deben cumplir una serie de requisitos: Deberán tener una eficiencia alta, pues de forma contraria se tendrá que aumentar mayormente el número de paneles fotovoltaicos para así poder cumplir con la alimentación de la carga.

No todos los inversores que son vendidos en el mercado cumplen con todas las características mencionadas con anterioridad. Sin embargo, es cada vez mucho más sencillo ver equipos específicamente diseñados para cubrir cada una de las necesidades del usuario. Estar adecuadamente protegidos contra cortos circuitos y sobrecargas.

Incorporar rearme y desconexiones automáticas cuando los inversores no estén empleando ningún equipo de corriente alterna. Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 200% de su potencia máxima. Cumplir con todos los requisitos que conllevan para instalaciones eléctricas de 220 V, CA establece la empresa que suministra la energía convencional.



**Fig.3.12** Esquema de conexión del inversor.

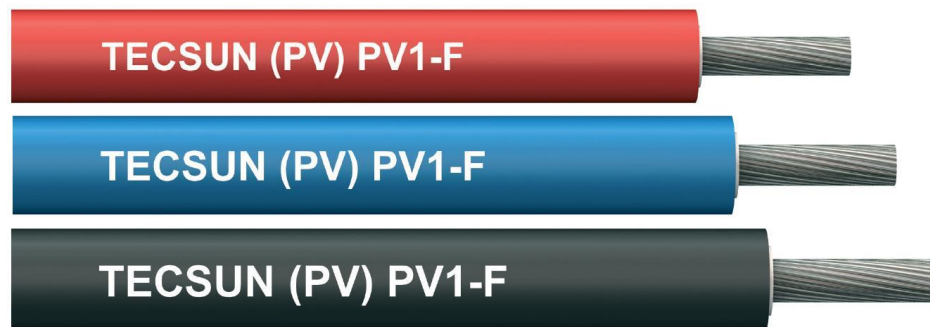
### 3.3 Cableado

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas, se dan voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas, por tanto, incluso pequeñas caídas de tensión tienden a ser muy importantes y pueden llegar a producir efectos muy negativos en la instalación fotovoltaica, en la corriente generada por el panel solar, sobre la regulación de carga de la batería, la vida útil de las lámparas o bombillos.

Por estos cables circula la corriente total del sistema, incluyendo las pérdidas. En las instalaciones fotovoltaicas se utilizan secciones de cableado superiores a las utilizadas en instalaciones convencionales debido a la utilización de bajas tensiones continuas y requerimientos de potencia de ciertas consideraciones, aunque los conductores a emplear tendrán la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y calentamientos.

Estos cables están siempre expuestos a condiciones ambientales muy extremos, calor, frío, humedad y rayos ultra violeta y en casos extremos ataques de roedores. Los positivos y negativos de la instalación se conducirán separados, protegidos y señalizados con sus respectivo código de colores, etiquetas de acuerdo a la norma vigente [NOM-001-SEDE-2005 - Secretaría de Energía](#).

Para realizar las conexiones deben utilizarse cajas de conexiones estancas y con grado de protección adecuado. El cableado debe de estar protegido contra la humedad, la radiación ultravioleta y otros fenómenos atmosféricos dado que se encuentran a la intemperie. Los conductores necesarios deben tener la sección adecuada para reducir la caída de tensión y calentamientos, además que soporten la intensidad máxima admisible en cada uno de los tramos.



**Fig.3.13** Cables diseñados especialmente para instalaciones fotovoltaicas.

### 3.4 Protecciones

Los sistemas fotovoltaicos autónomos debido a sus características de ubicación están expuestas en un grado significativamente mayor a los efectos provocados

por la caída de rayos, ya que en la mayoría de los casos se ubican en zonas con alta probabilidad de ocurrencia de este fenómeno. Los elementos que se utilicen como protección ya sean fusibles, fusibles, interruptores en general y diodos, deben ser adecuados para los valores de tensión y corriente instalaciones fotovoltaicas.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones deben de instalarse como complemento para las descargas de los picos de tensión originados por la caída del rayo en las cercanías de la instalación fotovoltaica y/o, para las sobretensiones originadas por el impacto directo sobre un dispositivo de protección principal que haya instalado; en este último caso se conocen como descargadores de corriente de rayo.

Es muy importante tener en cuenta que la selección de los descargadores de sobretensión y/o descargadores de corriente de rayo es diferente, así como su instalación. Estos dispositivos son capaces de garantizar la protección contra sobretensiones de origen atmosférico, y otras que se produzcan en la instalación. Pueden ser: diodos supresores, descargadores de arco, combinaciones de las anteriores.

Los diodos de bloqueo evitan que se disipe la potencia de los módulos o de la batería en situaciones de efecto eléctrico. Se colocan a la salida de cada grupo o de módulos fotovoltaicos. Los diodos de paso evitan los efectos del sombreado parcial al impedir que las células sombreadas actúen como receptores. Vienen incluidos por el propio fabricante en la caja de conexiones del módulo.



**Fig.3.13** Protector de sobretensión.

**Protección contra cortocircuitos.-** En el origen de todo circuito deberá colocarse un dispositivo de protección, de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en la instalación". No obstante se admite una protección

general contra cortocircuitos para varios circuitos derivados. Los dispositivos más empleados para la protección contra cortocircuitos son: Fusibles calibrados también llamados cortacircuitos, o Interruptores automáticos termo magnéticos.

**Protección contra sobrecargas.-** Entendemos por sobrecarga al exceso de intensidad en un circuito, debido a un defecto de aislamiento o bien, a una avería o demanda excesiva de carga de la máquina conectada a un motor eléctrico. Las sobrecargas deben de protegerse, ya que pueden dar lugar a la destrucción total de los aislamientos, de una red o de un motor conectado a ella. Una sobrecarga no protegida degenera siempre en un cortocircuito.

Si el conductor neutro tiene la misma sección que las fases, la protección contra sobrecargas se hará con un dispositivo que proteja solamente las fases, por el contrario si la sección del conductor neutro es inferior a la de las fases, el dispositivo de protección habrá de controlar también la corriente del neutro". Además debe de colocarse una protección para cada circuito derivado de otro principal. Los dispositivos utilizados son fusibles, interruptores termo magnéticos y relés térmicos.

**Interruptores o relés diferenciales.-** El interruptor diferencial es un elemento para protección de las personas contra los contactos indirectos. Se instala en el tablero eléctrico después del interruptor automático del circuito que se desea proteger, generalmente circuitos de enchufes, se le puede instalar después del interruptor automático general de la instalación si es que se desea instalar solo un protector diferencial, si es así se debe cautelar que la capacidad nominal del disyuntor.



**Fig. 3.14** Interruptor o relé diferencial.

### 3.5 Dimensionado del Sistema Fotovoltaico.

Lo importante del diseño de un sistema fotovoltaico, es el dimensionado, el cual se consideran dos parámetros fundamentales que se deben de tomar en cuenta, a la hora de la instalación del sistema. Uno de ellos es el recurso solar de la zona (radiación solar), del cual se dispone o que incide en el lugar que se pretende implementar, el segundo parámetro, es el recuento o la suma de las potencias, voltajes y corrientes, con los cuales operan los equipos eléctricos.

**Demanda Energética.-** El consumo energético se calcula en base a la potencia y la corriente de los equipos eléctricos, así como el tiempo de funcionamiento de los mismos, como se describen a continuación: Potencia nominal ( $P_n$ ), expresada en Watt, Tensión nominal de la instalación ( $T_n$ ), expresada en Volt, Corriente nominal ( $I_n$ ), expresada en Amper, Número de horas de funcionamiento al día ( $H_f$ ), Siendo ( $\Sigma$ ) la sumatoria de todos los consumos de los equipos a electrificar, como se muestra en la siguiente tabla.

Nombre y N° de Equipos	Potencia Nominal (W)	Horas de Uso	Consumo de corriente al día	Consumo de potencia al día

**Tabla. 3.1** Estimación de la demanda energética.

**Determinación de la corriente eléctrica.-** Comúnmente, los equipos eléctricos solo mencionan en sus etiquetas, la potencia a la cual opera y no la corriente, pero de la fórmula de potencia de una carga resistiva, podemos obtener este dato, sabiendo que:



$$W = V \cdot I$$

Donde, corriente (I), es igual a:

$$I = W / V \quad (ec.3.2)$$

Esta ecuación, nos servirá para la obtención subsecuente del consumo total (**Ct**).

**Determinación del consumo total.-** Se obtiene al multiplicar las horas al día de uso, de cada uno de los equipos eléctricos por la corriente que se necesita suministrarle para su operación. Se realiza la sumatoria, en función a los equipos eléctricos a alimentar con energía solar fotovoltaica y el número calculado será nuestro consumo total.

**Calculo de Paneles Fotovoltaicos.-** Para saber el número de módulos totales (Ntm), necesitamos determinar los módulos tanto en serie como en paralelo. Para el cálculo del número de módulos en serie (Nms), se divide el valor de la tensión nominal de la instalación (Tns), por la tensión nominal del módulo especificado (Tnm) en los datos que nos proporciona el fabricante.

$$Nms = Tns / Tnm \quad (ec.3.3)$$

Para el cálculo del número de módulos en paralelo (Nmp), se toma en cuenta el consumo total calculado, anteriormente en Ah/día, (I diseño) dividido entre la corriente máxima de cada módulo (Inm, este dato, es proporcionado en la etiqueta de cada módulo, varia conforme la potencia de cada uno) multiplicado por las horas solar pico del lugar (Hsp), dando como resultado el número entero próximo, donde el número total de módulos será, la multiplicación de estos dos datos.

$$Nmp = ID / (I \text{ máx.} \cdot Hsp), \text{ Donde finalmente: } Ntm = 1.2 (Nms \cdot Nmp) \quad (ec.3.4)$$

Donde, 1.2 es un coeficiente de seguridad que tiene en cuenta las pérdidas de eficiencia del módulo debido a la incidencia del polvo, perdida en conexiones.

**Calculo de Baterías.-** Es el componente que nos garantiza la energía eléctrica para los días de poca radiación. Esta acumulación se hace en forma electroquímica, por medio de las llamadas baterías de acumulación. Para conocer la cantidad de baterías, que conformaran el sistema, necesitamos saber lo siguiente:

MPD: Máxima capacidad de descarga, porcentaje que se le debe de extraer a la batería durante sus días de autonomía, este valor esta dado generalmente por el fabricante y que para batería de Pb-ácido está entre 50 y 70%.

DA: Días de autonomía, definido como la cantidad de días que el sistema es capaz de funcionar satisfactoriamente, en ausencia de radiación solar. Ello, se determina en función del estudio de las características meteorológicas del lugar, así como la importancia del objetivo a electrificar.

MCR: Mínima capacidad requerida o régimen de descarga medio, definido como la cantidad mínima de amperes que se necesita para el funcionamiento del sistema. Se calcula, multiplicando el consumo total en Ah/día, multiplicado por los días de autonomía, esto dividido entre la MPD.

$$M.C.R = \frac{(ID)(Da)}{(Maxima\ capacidad\ de\ Descarga\ de\ la\ Bateria)} \quad (ec. 3.5)$$

Para el cálculo del número de baterías conectadas en serie (Nbs), se determina como el cociente entre el voltaje nominal de las cargas del consumo y el voltaje nominal de la batería (Tnb).

$$Nbs = \frac{Tns}{Tnb} \quad (ec. 3.6)$$

Para la determinación del número de baterías en paralelo (Nbp), se divide la mínima capacidad requerida (MCR) entre la capacidad que proporciona cada batería (Cb).

$$Nbp = \frac{Minima\ carga\ requerida}{Capacidad\ de\ la\ Bateria} \quad (ec. 3.7)$$

Para el número total de baterías, simplemente es la multiplicación de los resultados de las baterías en paralelo y las baterías en serie:

$$Ntb = Bp * Bs \quad (ec. 3.8)$$

**Regulador de Carga de Batería.-** Este componente juega un papel muy importante en los Sistemas Fotovoltaicos, pues su función principal, es la de controlar el proceso de carga-descarga de una batería de acumulación. Con el fin de proteger este costoso elemento, contra sobre descargas así como sobrecargas aumentando así su vida útil de la misma.

Para la selección del Regulador de Carga de Batería (RCB), se consideran los siguientes factores: Voltaje nominal de operación:

La tensión de operación del SFV, baterías, (12 y 24 V regularmente).



Máxima corriente del arreglo: Corriente pico que alcanza el arreglo o en su defecto el modulo fotovoltaico, la cual pasara por el RCB, hacia la o las baterías.

Indicadores e instrumentación: Presencia o no de elementos de indicaciones luminosas, como LEDS, acústicas como alarmas, indicadores tanto de corriente y voltaje de operación.

Tipos de zona donde se utilizara, por los factores climáticos y la presencia de micro fauna.

Teniendo en cuenta, los aspectos antes mencionados, se podrá hacer la selección adecuada del RCB.

**Inversor.-** La conversión de CD/CA puede realizarse con dispositivos llamados convertidores o inversores. El tipo de inversor más común utilizado en los SFV, es el inversor autónomo, que no está conectado a la red, sino trabaja bajo consumo y frecuencia propia, determinada internamente por el fabricante.

Para el cálculo de la potencia del inversor, se debe tomar en cuenta:

La potencia de operación de cada uno de los equipos ( $P_n$ ).

La potencia pico del elemento de mayor consumo dentro del sistema  $P_{p\text{ mayor}}$ .

$$P_{inv} = 1.2 (\sum_{i=1}^n P_{ni} - P_{p\text{ mayor}}) \quad (\text{ec. 3.9})$$

El coeficiente 1.2 tiene en cuenta las pérdidas que ocurren en los inversores y prevé de cualquier aumento de potencia no previsto en el sistema.

**Mantenimiento y Capacitación del SFV.-** Para el mantenimiento y operación del SFV, es importante que los usuarios tengan en cuenta todo lo relacionado al mantenimiento preventivo para el buen desempeño del sistema.

Se recomienda realizar los siguientes trabajos:

Limpiar los paneles siempre que se observe suciedad, Mantener el exterior de las baterías seco, Mantener todas las conexiones eléctricas apretadas, Mantener los tornillos y tuercas apretados, Mantener todo el sistema limpio, Apagar los equipos consumidores cuando no se requieran, Mantener el área del módulo libre de sombras.

**Capacitación.-** Se realizara material didáctico para impartir el curso de capacitación de personal de la comunidad para poder realizar el mantenimiento a futuro llevado de la mano con la capacitación practica con los mismos sistemas instalados en las comunidades.

## Capítulo IV

### 4. Desarrollo

#### 4.1 Dimensionamiento Fotovoltaico

Dimensionar un sistema fotovoltaico significa calcular el número de sus componentes, para cumplir unos u otros objetivos determinados que dependen de la aplicación concreta. Si se trata de un sistema fotovoltaico autónomo su objetivo será asegurar la disponibilidad de energía eléctrica durante el máximo tiempo posible.

Un sistema autónomo debe generar energía eléctrica y acumularla en baterías para ser utilizada en el momento en que se requiera. Es un sistema más complejo que el conectado a la red. En el dimensionado, como en todo problema de diseño, hay infinitas soluciones. Y siempre es una solución de compromiso entre diversos factores técnicos, económicos y sociales.

Cuando se diseña un sistema fotovoltaico autónomo necesariamente para una aplicación particular, el primer paso consiste en una determinación detallada de las necesidades energéticas del usuario. Con algunas excepciones, los sistemas fotovoltaicos suponen una forma relativamente cara de obtención de energía eléctrica.

Para obtener el máximo beneficio de la electricidad fotovoltaica, al mínimo costo es vital examinar que necesidades energéticas son necesarias, cuáles de estas necesidades son prioritarias, que consumo eléctrico es necesario y como se puede minimizar el consumo energético mediante la selección de los aparatos más eficientes que sea posible.

Los usuarios normalmente poseen una clara percepción de sus necesidades y aspiraciones. No obstante, en aquellos sistemas de uso comunitario, donde se ven afectadas grupos de personas, es más complejo y mucho más difícil establecer las necesidades energéticas. Las experiencias aprendidas en numerosas aplicaciones realizadas es que un fallo en la identificación de las necesidades energéticas ha conducido a una insatisfacción del usuario y al fallo general del sistema.

El procedimiento básico de cálculo del dimensionado de este tipo de instalaciones puede dividirse en tres pasos: Primero, hay que estimar la demanda energética del usuario por vivienda, segundo, la aportación del sistema fotovoltaico, tercero, a partir de los datos anteriores hay que establecer la potencia de generación de nuestro sistema FV.

## 4.2 Cálculo de la demanda energética por vivienda

Los datos de consumo se obtienen a partir de especificaciones de potencia eléctrica de los aparatos de corriente alterna y continua que se pretenden alimentar y las horas de funcionamiento diarias. En este caso se toma de base el consumo de una vivienda de la comunidad como base para el dimensionamiento de la demanda energética.

El sistema en principio deberá satisfacer la demanda de los siguientes componentes tomando como referencia la vivienda con más elementos dentro de ella ya que es una zona rural. Utilizando las ecuaciones (3.1) y (3.2), se determinó la corriente de consumo para cada equipo, así como la potencia total en Wh/día y los resultados ubicados según de la tabla 3.1.

Nombre y n° de equipos	Potencia nominal (W)	Horas de uso	Consumo de A/h al día	Consumo en Watts al día
Tv (1)	70	6	3.5	420 W
DVD (1)	25	4	1.25	100 W
Mini Estéreo (1)	75	6	2.5	450 W
Licadora (1)	500	30 min.	0.346	250 W
Foco (2)	40	6	2.00	480 W
Foco (1)	13	3	0.325	39 W
Foco (1)	13	3	0.325	39 W
Foco (1)	13	3	0.325	39 W
			<b>Σ 10.571</b>	<b>Σ 1,817</b>

Tabla 4.1 Dimensionado Fotovoltaico.

Aplicando la ecuación (3.3), calculamos la mínima Carga Requerida:

$$M.C.R = \frac{(ID)(Da)}{\text{(Maxima capacidad de Descarga de la Bateria)}}$$

$$M.C.R = \frac{(10.571 \text{ Ah/día})(5)}{(0.7)} = \frac{52.855}{0.7} = 75.50 \text{ Ah} \quad (\text{ec.4.1})$$

Aplicando la ecuación (3.4), determinamos el número de baterías en serie:

$$Nbs = \frac{Tns}{Tnb} = \frac{12}{6} = 2 \quad (\text{ec.4.2})$$

Aplicando la ecuación (3.5), determinamos el número de baterías en paralelo:

$$Nbp = \frac{\text{Minima carga requerida}}{\text{Capacidad de la Bateria}}$$

$$Nbp = \frac{75.50 \text{ Ah}}{225 \text{ Ah}} = 0.335 = 1 \quad (\text{ec.4.3})$$

Aplicando la ecuación (3.6), determinamos el número total de baterías:

$$Ntb = Bp * Bs$$

$$Ntb = 2 * 1 = 2 \quad (\text{ec.4.4})$$

El cálculo del número de módulo en serie se obtiene del cociente entre el voltaje nominal del sistema y el voltaje nominal del módulo, según la ecuación:

$$Nms = Tns / Tns$$

$$Nms = 12/12 = 1 \quad (\text{ec.4.5})$$

El cálculo del número de módulo en paralelo se obtiene como el cociente entre la corriente de diseño y la corriente del módulo en el punto de máxima potencia en condiciones estándar de medida.

$$Nmp = \frac{10.571 \text{ Ah/día}}{7.63 \text{ Ah} * 5 \text{ Hsp.}} = 0.3 \quad Ntm = 1 \quad (\text{ec.4.6})$$

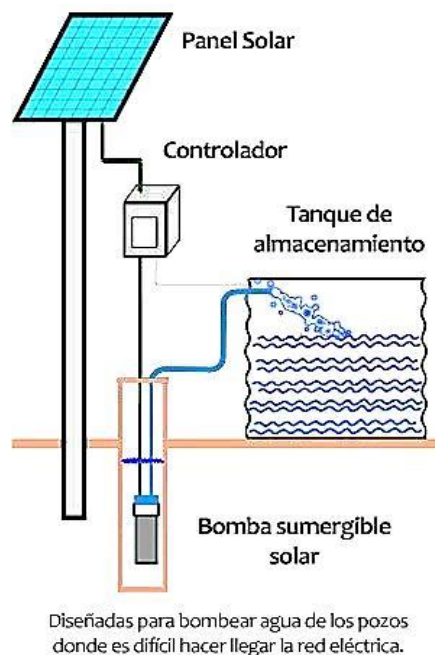
Se seleccionó un regulador de carga de batería de 10 Amperes, 12 V con regulación por alta y por baja; así como un inversor de 800 W, 12 V de entrada, 120 V de salida, el cableado de 10 mm; para la línea central y 12 mm; para los consumidores, el cable desde el panel al interior de la vivienda fueron con protección a la intemperie.

El procedimiento de dimensionamiento fotovoltaico que se siguió con anterioridad es únicamente para una vivienda, cabe mencionar que el tipo de sistema instalado en la comunidad es centralizada es decir, por medio de una 3 centrales fotovoltaicas de 2.5 kW/h cada una de ellas alimentan a 8 viviendas con el mismo consumo o menor al calculado. El sobredimensionamiento por central tiene un fin el cual es abastecer el consumo de los habitantes pensando a futuro en un posible incremento de población por consecuencia de los sistemas instalados en las comunidades.

### 4.3 Dimensionamiento del Sistema de Bombeo Solar

El agua es un recurso abundante en nuestro país y evidentemente en nuestro estado, aunque la cantidad de agua dulce es más que suficiente para satisfacer las necesidades de toda la población, su distribución es muy irregular. Con la implementación de este sistema se garantizó no solo el suministro de agua potable en la población, sino también el agua para el cultivo y riego de sus cosechas.

El sistema de Bombeo solar de agua para aplicaciones agrícolas y domesticas está conformado por módulos fotovoltaicos, bomba (Sumergible y/o Centrifuga), cables especiales para la instalación y protecciones para la instalación (sujetadores, tornillos, tuercas, pijas, taquetes, omegas y otros), tuberías de PVC para la extracción y conducción del agua.



**Fig. 4.1** Esquema general del sistema de bombeo fotovoltaico.

El consumo energético se calculó en base a la potencia y más importante la corriente de la bomba, así como el tiempo de funcionamiento. Además del conocimiento de la carga dinámica total (compuesta por la suma de la carga estática y la carga por fricción) Potencia nominal ( $P_n$ ), expresada en Watt, Tensión nominal de la instalación ( $T_n$ ), expresada en Volt, Corriente nominal ( $I_n$ ), expresada en Amper, Número de horas de funcionamiento al día ( $H_f$ ), Carga Dinámica Total (CDT).

Para el cálculo de la CDT, se consideró la extracción  $30m^3$  del pozo que tiene un espejo de agua de 1 m de profundidad, bajo un régimen de bombeo de 1L/s, la profundidad de abatimiento es de 1m. El agua se envía a una cisterna ubicada a una altura de 200 m; y se consideró 2 codos en toda la tubería de 1" y media.

En base a los datos anteriores se determinó el tiempo de operación de la bomba (T):

$$T = \frac{V}{Rb} = \frac{30m^3}{\frac{1L}{s}} = 30,000 \frac{l}{s} = \frac{30,000}{3600} = T = 8.3 \text{ hrs.} \quad (\text{ec.4.7})$$

Este dato coincide con los tiempos que aproximadamente debe funcionar la bomba. Aunque cabe mencionar que este tipo de bombas trabajan el tiempo en que exista radiación solar, cuentan con un sensor que detecta también la presencia de agua que le sirve como protección y no trabajar en vacío ya que se puede producir un corto circuito.

Cálculo de la carga estática (CE): Es la suma del nivel estático más el abatimiento más la altura de descarga.

$$CE = 1 + 1 + 200 = 202m. \quad (\text{ec.4.8})$$

Cálculo de la carga por fricción (CF): Se estima teniendo en cuenta la longitud del recorrido por la tubería, gasto máximo de agua durante el proceso de bombeo, así como el diámetro y tipo de tubería. Teniendo en cuenta lo anterior la CF es de aproximadamente 3m.

$$CDT = CE + CF = 205m \quad (\text{ec.4.9})$$

Tomando en cuenta los cálculos anteriores y la eficiencia del sistema se considera la utilización de una (Bomba Sumergible Grundfos SQFlex). Pueden ser alimentados directamente por módulos solares o turbinas eólicas. También se pueden alimentar desde un inversor, un generador, una batería, la red de suministro eléctrico, o cualquier combinación de estas fuentes.

Prácticamente cualquier fuente de energía, de 30 a 300 VCD y 90 a 240 VCA se puede utilizar para hacer funcionar la bomba. Los modelos 3, 6 y 11 se ajustan a pozos de 3 pulgadas de diámetro. La gama de motores SQFlex 3" incluye solo dos tamaños de motor, MSF 3 con entrada de potencia máxima ( $P_1$ ) de 900 W.



Las bombas SQFlex pueden operar a partir de arreglos solares tan pequeños como 130W. Sin embargo, el voltaje debe ser mayor a 30 VCD lo cual puede alcanzarse con 3 módulos de 12 volts ó 2 módulos de 24 volts nominales conectados en serie. Debido a su arranque lento y bajo torque estas bombas pueden utilizarse con tubería de polietileno en rollos en lugar de PVC rígido o acero galvanizado.

El sistema consta de los siguientes componentes: Bomba sumergible SQF, Caja de protecciones, Suministro de energía: paneles solares.



**Fig. 4.2** Bomba Grundfos SQflex Bomba de rotor helicoidal MSF 3 versión estándar fabricada en acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301.

Para saber el número de módulos totales, necesitamos determinar los módulos tanto en serie como en paralelo.

Para el cálculo del número de módulos en serie ( $N_{ms}$ ), se divide el valor de la tensión nominal de la instalación ( $T_n$ ), por la tensión nominal del módulo especificado en los datos que nos proporciona el fabricante. Teniendo en cuenta que la bomba seleccionada puede funcionar en un rango entre 30-300 V, se eligió la tensión nominal de 140 V en CD, implicando la siguiente cantidad de módulos en serie.

$$NMS \text{ (Número de Módulos en Serie)} = \frac{T_{ns}}{T_{nm}} = \frac{(140 \text{ V})}{(31.73)} = 4.41 \approx 4 \quad (\text{ec.4.10})$$

Para el cálculo del número de módulos en paralelo ( $N_{mp}$ ), se toma en cuenta el consumo total calculado, anteriormente en Ah/día, dividido entre la corriente máxima de cada módulo (este dato, es proporcionado en la etiqueta de cada módulo, varía conforme la potencia de cada uno) multiplicado por las horas solar pico del lugar.

Tomando como resultado, el entero próximo. Si el consumo de corriente de la bomba teniendo en cuenta su potencia de 1000 W y el voltaje de operación de 140 V, entonces se puede calcular el Nmp de la manera siguiente:

$$NMP \text{ (Número de Módulos en Paralelo)} = \frac{7.8}{6} = 1.3 \approx 1 \quad (\text{ec.4.11})$$

El número total de módulos será, la multiplicación de estos dos datos, es decir:

$$NTM \text{ (Número Total de Módulos)} = NMS * NMP = 4 * 1 = 4 \quad (\text{ec.4.12})$$

#### 4.4 Dimensionado del Sistema de Refrigeración Fotovoltaico.

Tomando como referencia que el congelador realiza un consumo 40 Ah/día, que trabajaba a 12 V. Se tiene una demanda de corriente de 40 Ah/día, se tiene que sobredimensionar un 10% más para reponer posibles pérdidas, ya sea por el polvo que cubrirá al módulo, conducción en los cables y por la inclinación del módulo ya que en el año este varía el aprovechamiento de radiación solar.

Entonces consideramos 68.4 Ah/día como nuestro la intensidad de corriente de consumo del sistema:

KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULE			
MODEL KD135SX-UPU			
IRRADIANCE AND CELL TEMPERATURE	1000Wm <sup>-2</sup> AM 1.5 25° C	800Wm <sup>-2</sup> AM 1.5 45° C	MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE
	Pmax	135 W	
Vpmax	17.7 V	16 V	600 V
Ipmax	7.63 A	6.10 A	MASS
Voc	22.1 V		
Isc	8.37 A		
SERIAL NO. 112MYM2731		12.5 Kg	
<b>WARNING</b> ·Photovoltaic modules generate electricity when exposed to light. Hazardous Electricity can shock, burn or cause death. ·Do not touch terminals when exposed to light. ·When connected or disconnected to the output cable, upper surface should be shaded from light. ·Must comply with local safety standards prior to installation.			
LISTED 20PP PHOTOVOLTAIC MODULE	FIRE RATING CLASS C	Groups A, B, C, and D, T3C	SERIES FUSE 15A
	FIELD WIRING STRANDED COPPER ONLY 10~14AWG INSULATED FOR 90°C MIN.		
PHOTOVOLTAIC MODULE FOR USE IN HAZARDOUS LOCATIONS, CLASS 1 DIV.2			

P máx.: 135 W.

I Pmax.: 7.63 A.

Vpmax: 17.7 V.

Fig.4.3 Características de un Módulo Fotovoltaico.





Baterías de 12 V. y 700 A

Nombre Comercial	Aplicación (Ciclado profundo)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso Húmedo (Kg)	Tensión Nominal	(CCA) Amp	(CR) Min. @25A	Cap. 100 Hrs (AH)
CL-31T/S-190M	Solar	329	171	239	29.86	12V	700	190	115

Fig. 4.4 Características de las Baterías de Almacenamiento.

Tensión nominal de 12 V, el cual está en función a las condiciones de trabajo del refrigerador. Regulador de 20 Amperes y 12 V de entrada.

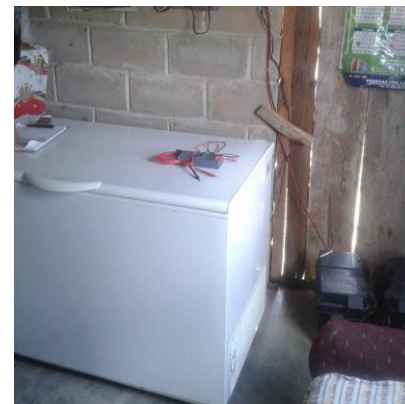


Fig.4.4 y 4.5 Características del Refrigerador solar comunitario.

Cálculo de los módulos:

Número total de módulos = (Numero de módulos en serie) (Numero de módulos en paralelo)

Número de módulos en serie = (Voltaje nominal del sistema) / (Voltaje máx. del módulo)

$$N_{ms} = 12V / 17.7 V = 0.7 \approx 1$$

$$(ec.4.13)$$

$$N_{ms} = 1$$

$$N_{mp} = \frac{\text{Intensidad de corriente del sistema}}{(\text{Intensidad máxima del módulo} * \text{Horas solar pico})} \quad (ec.4.14)$$

$$N_{mp} = \frac{50}{(7.63 * 5)} = 1.31 \approx 1 \quad (ec.4.15)$$

$$N_{tm} = 1 * 1 = 1$$

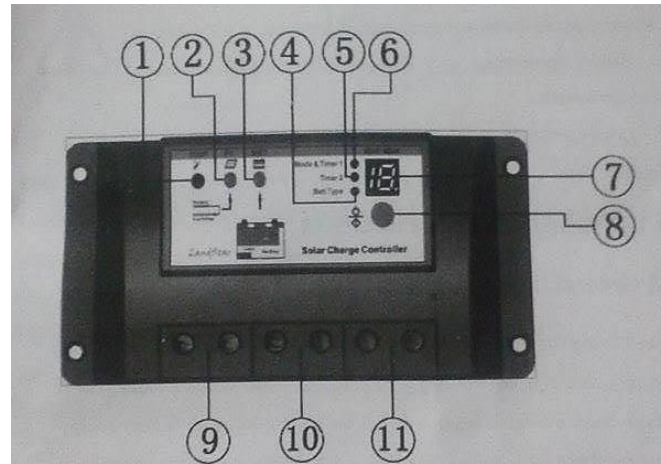
El regulador de carga instalado para el sistema de refrigeración solar funciona a 20 Amperes, se conecta al módulo de 135 W para hacer funcionar.



**Fig. 4.6** Características del regulador de carga LS1024R.

Tensión nominal del sistema: 12/24 VDC, Voltaje de entrada PV máximo: 50 V,  
Corriente de carga nominal / descarga: LS1024R 10A, LS1524R 15A,  
LS2024R 20A.

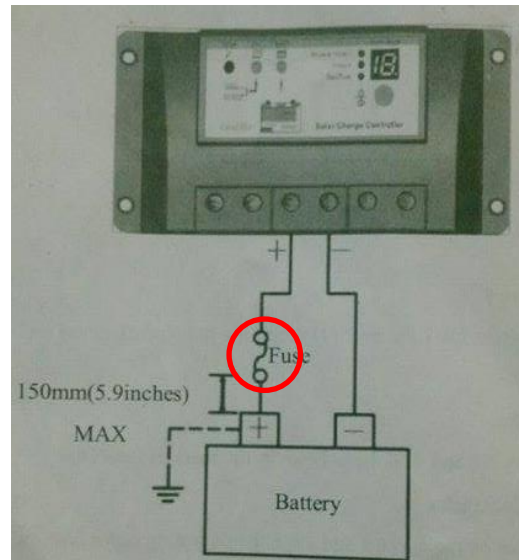
El controlador reconocerá la tensión nominal del sistema cuando el arranque. Si el voltaje de la batería es inferior a 18V, se reconoce el sistema de 12V. Si el voltaje de la batería es mayor que 18V, se reconocerá de sistema 24V.



**Fig.4.7** Características del producto en funcionamiento.

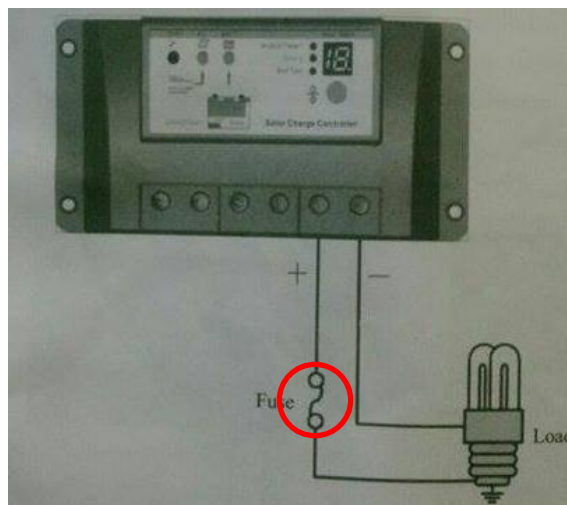
- 1.- **Sensor de Temperatura**, medir la temperatura ambiente y hacer que la compensación de temperatura para cargar y descargar.
- 2.- **Indicador de carga LED de estado**, Indicador LED que muestran el estado de carga y también indica cuando el voltaje de la batería es mayor que sobre voltaje de desconexión de tensión.
- 3.- **LED indicador de estado de Batería**, Un indicador LED que muestra el estado de la batería.
- 4.- **Indicador de ajuste del tipo de batería**, El indicador se encenderá cuando seleccione el tipo de batería.
- 5.- **Indicador 2 de ajuste del temporizador**, El indicador se encenderá cuando use el cronómetro 2.
- 6.- **Indicador 1 de ajuste del temporizador**, El indicador se encenderá cuando use el cronómetro 1.
- 7.- **Pantalla digital LED**, Muestra el modo de trabajo de carga y el estado.
- 8.- **botón de ajuste**, Ajuste el modo de trabajo de carga y seleccione el tipo de batería (en modo manual se utiliza para la carga de encendido / apagado).
- 9.- **Terminales del módulo solar**, Conecte los módulos solares.
- 10.- **Terminales de la batería**, conecte el positivo y negativo de la batería.
- 11.- **Terminales de la carga**, conecte la carga.

**Cableado de la Batería.-** Antes de conectar la batería, asegúrese de que tensión de la batería es mayor que 6V con el fin de poner en marcha el controlador. Si el sistema es de 24 V, asegurarse que el voltaje de la batería no es inferior a 18V. La tensión del sistema solo puede ser reconocida automáticamente cuando el controlador se ponga en marcha por primera vez.



**Fig.4.8** Conexión de las terminales de la Batería.

**Cableado de carga.-** La carga del controlador puede ser conectado a equipos eléctricos tales como luces, bombas, motores y otros. El controlador ofrece potencia para cargas a través de la tensión de la batería.

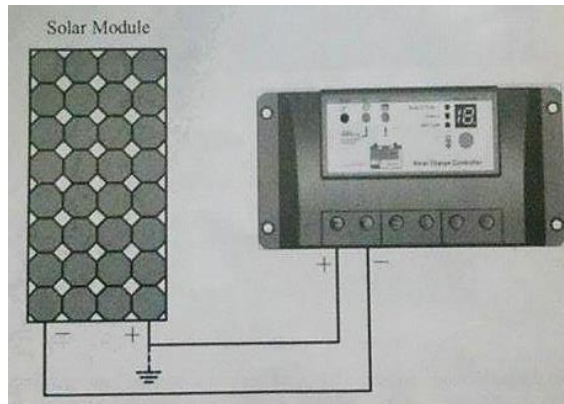


**Fig.4.9** Conexión de las terminales de Carga.

Conecte el positivo y negativo de las cargas al controlador terminales de carga como se muestra en la Figura 4.9. La terminal de carga puede existir tensión, conecte con cuidado para evitar cortocircuitos.

Un fusible en línea debe ser conectado en serie en el cable positivo o negativo de carga como se muestra en la Figura 4.9. No inserte un fusible en este momento. Confirme la conexión correcta y encienda la alimentación.

**Cableado de Módulos Solares.-** El controlador acepta 12V, 24V nominal del módulo solar fuera de la red. La tensión de trabajo del módulo solar debe ser igual o mayor que la tensión del sistema.



**Fig.4.10** Conexión de las terminales de los Módulos Solares.

$N_{tb}$  = Número en serie de baterías\*Numero en paralelo de baterías

$N_{bs}$  = Voltaje nominal del sistema / voltaje nominal de batería

$N_{bs} = 12V / 12 V = 1$

$$\text{Núm. de baterías en paralelo} = \frac{(\text{Consumo del sistema en Ah/día} * \text{días de Autonomía} * 100)}{\text{Capacidad de la batería en Ah} * \text{Max. Profundidad de descarga}} \quad (\text{ec.4.16})$$

$$= \frac{(50 * 3 * 100)}{(225 * 80)} = 0.83 \approx 1 \quad (\text{ec.4.17})$$

Las baterías se conectaron directamente al controlador para mantener constante la corriente y no fue necesario incrementar el voltaje ya que las especificaciones de la batería cubrían con la demanda del controlador.

$$T = 1 = 12 \quad (\text{ec.4.18})$$

$$VT=V1$$



$$V = 12 \text{ volt}$$

Se determinó este tipo de conexión debido a que los módulos producen un voltaje de 17.7 y una corriente de 7.63 Amperes y para lograr establecer equilibrio entre lo demandado por las baterías y lo producido por los módulos; los módulos se conectaron en paralelo para suministrar suficiente energía a las baterías y no se descarguen, ya que al ser de 225Ah, se les debe suministrar un 10% lo cual nos necesitaríamos 22.5 Ah pero con los módulos le fueron suministrando 15.8 Ah.

Estas conexiones se realizaron de tal forma que el refrigerador funcionara adecuadamente y tomando en cuenta las características eléctricas de entrada que se mencionaron con anterioridad.

#### **4.5 Implementación de los Sistemas Fotovoltaicos para Electrificación de Viviendas.**

**Sistemas Fotovoltaicos para una Vivienda Rural.-** Como resultado de la electrificación se montaron 3 centrales fotovoltaicas de 2.5 kWh cada una de ellas y otra central con una capacidad de 5.5 kWh, que cubrieron el 100 % todas las viviendas en ambas comunidades, distribuidos de la siguiente manera, para la Comunidad El Tuzal: 3 Centrales Solares FV de 2.5 kWh, 2 Sistemas de Bombeo de agua, 12 Luminarias de Exteriores, 1 Refrigerador Solar Comunitario, 2 Técnicos de la Comunidad Preparados.

Para la Comunidad Villa del rio: 1 Central Solar FV de 5.5 kWh, 15 Luminarias de Exteriores independientes, 2 Técnicos de la Comunidad Preparados.

Estos sistemas quedaron definidos por los siguientes componentes. 1 modulo fotovoltaico de 135 Watts, 4 Lámparas Ahorradoras de 13 Watts, 1 Regulador de carga de batería de 10 Amp., 12 Voltios, 1 Inversor de 800 Watts, 2 Baterías de 6 voltios, 225 Amperes, Kit de instalación (Cables, interruptores, contactos, apagadores.)

Los sistemas fueron diseñados para un trabajo diario de aproximadamente 6 horas a consumo máximo. Los paneles fotovoltaicos fueron instalados convenientemente sobre estructuras de aluminio y base de concreto con un ángulo de inclinación de aproximadamente 17° respecto a la horizontal y orientados hacia al sur.



Las medidas de seguridad implementadas garantizan el buen funcionamiento del sistema sin la afectación de fenómenos ambientales, tales como descargas eléctricas y altas corrientes de aire.



**Fig. 4.11** Implementación de los sistemas fotovoltaicos autónomos en la comunidad el Tuzal.

**Sistema de Refrigeración Fotovoltaica.-** Respecto a la refrigeración fotovoltaica se instalaron dos refrigeradores para uso común de la población, que quedaron ubicados en la casa ejidal de cada una de las respectivas comunidades, esto por acuerdo de toda la población beneficiada, el cual tiene como objetivo fundamental la conservación de alimentos para los desayunos escolares y medicamentos para uso humano que necesitan baja temperatura para su conservación.

Los componentes del sistema se definieron de la siguiente manera, dos módulos fotovoltaicos conectados en paralelo, un regulador de carga de batería de 20 A, cuatro baterías de 6V @ 225A conectadas en serie-paralelo, para alimentar un congelador con un consumo máximo diario de 17 Ah/día.



**Fig. 4.12** Sistema de refrigeración fotovoltaico-el Tuzal.



**Fig. 4.13** Sistema de Protecciones del Refrigerador Comunitario.



**Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico.-** Se instalaron 2 sistemas de bombeo en la comunidad El Tuzal y un sistema en la comunidad El resplandor, el uso de estos sistemas de bombeo servirá como un detonante para la actividad agropecuaria, ya que permitiría el riego de mayores áreas de cultivo y podría suministrar el agua para los animales entre otras actividades más.



**Fig. 4.13** *Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico.*

El sistema fotovoltaico quedo integrado por los siguientes elementos:

4 Módulos fotovoltaicos marca SOLAREVER policristalino de 250 W de potencia nominal, 31.73 V de tensión nominal y 7.88 A de intensidad de corriente nominal. 1 Bomba Grundfos SQFlex Bomba de rotor helicoidal MSF 3 versión estándar fabricada en acero inoxidable DIN W.-Nr. 1.4301. Abrazaderas, codos, adaptador de paso 1" a 1 ½".

Tuberías de PVC y manguera de 1.5 pulgadas de diámetro, Estructura de soporte PTR, Cables para conexión de uso rudo calibre 10, Manguera de 1"1/2 pulgadas de diámetro y conectores adaptables.

Como se puede observar en las figuras siguientes, durante todo el proceso se tuvo la participación activa de los miembros de la comunidad, alumnos participantes en el proyecto, profesores investigadores, lo cual es parte importante de la metodología implementada donde los usuarios ganan un alto pertenencia y apropiación de la tecnología como una garantía de sustentabilidad del proceso.



**Fig.4.14** *Instalación del Sistema de Bombeo Fotovoltaico –Cintalapa.*



**Fig.4.15** *Instalación de la Bomba Solar Fotovoltaica –Cintalapa.*

## Capítulo V

### 5. Conclusión

Realizar la instalación de los diversos sistemas fotovoltaicos en estas comunidades de alta marginación, te hace poder ver un panorama distinto sobre la falta de apoyo que las comunidades rurales sufren por parte del gobierno, la carencia de energía eléctrica frena enormemente el desarrollo en cuestión de salud, educación y sobre todo economía.

La implementación de energías renovables sin duda ofrece hoy en día importantes oportunidades para aplicaciones en lugares donde la energía convencional no llega, especialmente para zonas rurales donde comúnmente presentan altos niveles de marginación. La falta de energía en comunidades rurales aisladas constituye una situación crítica, ya que suele estar asociada con la ausencia de servicios básicos como telecomunicaciones, educación, servicios de salud y frecuentemente agua potable.

### Anexos

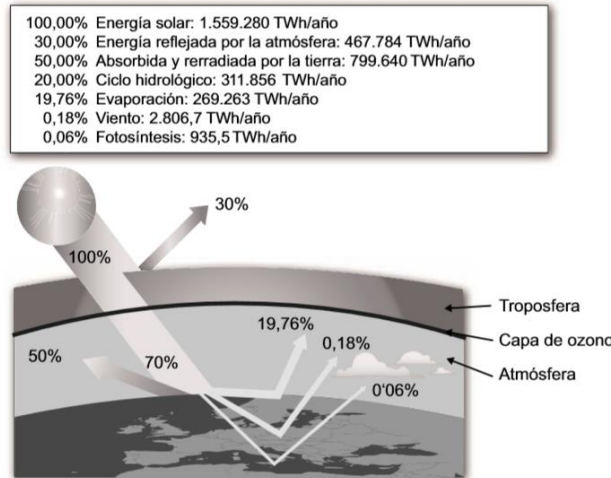
#### Anexo A

**Introducción a las Energías Renovables.-** El sol es la estrella más próxima a la Tierra. Tiene un radio de unos 700.000 km y una masa de  $2.10^{10} kg$  unas 330,000 veces a la de la Tierra. A su alrededor giran los planetas del sistemas solar, aunque el concentra el 99% de la masa del mismo. Su densidad es  $1,4. 10^3 km/m^3$ . La temperatura de su superficie ronda los 6.000 °C.

La energía que llega del Sol a la Tierra (una ínfima parte de la que éste irradia al espacio) da lugar a una serie de fenómenos sobre la atmósfera, el agua y la propia tierra, que finalmente conforman los diversos tipos de energías que los humanos podemos usar. Sobre la Tierra incide una energía solar de 1.559.280 TWh en un año, lo cual es aproximadamente 15.000 veces más que la consumida (en la actualidad) en todo el planeta en ese mismo período de tiempo.

De ella, el 30% se refleja al espacio y no llega a la superficie terrestre (467.784 TWh); el 50% se absorbe, calentando la superficie terrestre, siendo irradiada de nuevo al espacio (799.640 TWh). El 20% restante (311.856 TWh) alimenta el ciclo hidrológico, evaporando el agua (19,76%, equivalente a 296.263 TWh), origina los vientos (0,18%, equivalente a 2.800 TWh), una parte de este viento se transfiere a la superficie de las aguas formando las olas, y el resto, (0,06% equivalente a 935,5 TWh) alimenta los mecanismos de fotosíntesis del que en último extremo dependen todos los combustibles fósiles, los cuales constituyen una pequeñísima porción de este 0,06% y es la única energía solar incidente que queda retenida en la tierra temporalmente.





**Fig. Anexos A1** *Distribución de la energía solar incidente en la Tierra.*

**Radiación solar disponible.-** La energía contenida a través de los rayos del sol se calcula a partir de la fórmula de Planck,

$$E = h\nu \quad (\text{ec.A.1})$$

Dónde:

E= energía de los fotones.

H= constante de Planck, que equivale a  $6,625.10^{-34} Js$ .

V= frecuencia a la que oscilan los fotones de la frecuencia de las ondas de luz.

De esta fórmula se desprende que hay fotones que poseen gran cantidad de energía (como los rayos gama) y otros que son menos energéticos (los rayos infrarrojos, por ejemplo). Esto se traduce que hay fotones que ni siquiera pueden atravesar la atmosfera terrestre, mientras que otros cruzan los tejidos del cuerpo y chocan con los huesos (rayos X).

La energía que llega a la parte alta de la atmosfera terrestre es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda, formada por la radiación ultravioleta. Luz visible y radiación infrarroja. Estas constituyen el espectro solar terrestre.

La longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas se relacionan mediante la expresión:

$$(\lambda) \frac{c}{f} \quad (\text{ec.A.2})$$



Es importante para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientes de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a la velocidad de la luz, (c).

Tenemos, por tanto, que el sol emite constantemente cantidades enormes de energía, en forma de ondas. Un cálculo teórico basado en la ley de Planck (que nos permite calcular la intensidad de radiación emitida por un cuerpo negro a una determinada temperatura y longitud de onda,) permite afirmar que el flujo total de energía emitida por el sol en todo el rango de frecuencias equivale a  $3,8 \cdot 10^{23}$  (o sea, 3.800 millones de millones de kW).

De esa energía emitida por el sol, solo una pequeña parte es aprovechada cuando llega a la tierra, aunque esa cantidad es más que suficiente para abastecer la demanda mundial todo un año.

### 3.2 Solarimetría

**Constante solar.-** Para medir la cantidad de energía solar que llega al límite exterior que delimita la atmosfera, se establece una constante solar. Es la misma cantidad de energía que recibirá la superficie terrestre si no tuviese atmosfera.

La constante solar es una cantidad medible y calculable a través de procedimientos matemáticos. Ambos argumentos son válidos porque la irradiación solar que incide en la capa más exterior de la atmósfera terrestre ya ha sido cuantificada a través de instrumentos satelitales. El valor obtenido a través de las mediciones coincide perfectamente con los valores calculados.

Así mismo, la cantidad de radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra, sea en suelo firme o en los océanos, ha sido cuantificada a través de mediciones realizadas por instrumentos ajustados para detectar, exclusivamente, la radiación solar incidente a ras del suelo.

La constante solar nos sirve para establecer el valor correspondiente a la energía que incide perpendicularmente en  $1m^2$  de la exterior de la atmosfera. Se llama constante solar a la radiación solar (flujo o densidad de potencia de la radiación solar) almacenada fuera de la atmosfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares. Su valor es de  $1.353 W/m^2$ , y varía  $\pm 3\%$  durante el año por ser la órbita terrestre elíptica.

**Cálculo de la Constante Solar.-** Para calcular la constante solar, debemos conocer los siguientes datos:

Diámetro del Sol ( $\theta_{\odot}$ ) =  $1.391 \times 10^9$  m, Radio del Sol ( $R_{\odot}$ ) =  $6.955 \times 10^8$  m, Área de Superficie Total del Sol ( $A_{\odot}$ ) =  $6.079 \times 10^{18}$  m<sup>2</sup>, Diámetro de la Tierra ( $\theta_{\oplus}$ ) =  $1.27562 \times 10^7$  m, Radio de la Tierra ( $r_{\oplus}$ ) =  $6.3781 \times 10^6$  m, Área de Superficie Total Hemisférica de la Tierra ( $A_{\oplus \text{ hemis}}$ ) =  $3.834 \times 10^{14}$  m<sup>2</sup>, Radio de la Esfera Exterior ( $d_{OS}$ ) =  $1.496 \times 10^{11}$  m, Área de Superficie de la Esfera Exterior ( $A_{OS}$ ) =  $1.7975 \times 10^{23}$  m<sup>2</sup>, Temperatura de la Superficie del Sol ( $T_{\odot}$ ) = 5804.135 K.

**Cálculo de la Potencia Bolométrica desde el Área Total de la Superficie Solar como una Esfera.-** Bolométrica(o) significa total en todas las bandas del espectro. Para calcular la potencia Bolométrica desde el área total de la superficie solar como una esfera, recurrimos a la siguiente fórmula (Ecuación de Stefan-Boltzmann):

$$P_{\odot \text{ net}} = (\epsilon_{\odot}) (A) (\sigma)(T)^4 \quad (\text{ec.A.3})$$

En donde  $P_{\odot \text{ net}}$  es para la potencia bolométrica neta emitida por el Sol desde toda su superficie ( $4\pi R_{\odot}^2$ ),  $\epsilon_{\odot}$  es la emisividad total del Sol (0.9875), A es el área total de la superficie solar,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann ( $0.56697 \text{ (erg/s)/(m}^2 \text{ K}^4)$ ), y T es la temperatura de la superficie solar (5804.135 K).

El área total de la superficie del Sol es:

$$A_{\odot} = 4 * \pi * (R_{\odot})^2 = 4 * 3.141593 * (6.955 \times 10^8 \text{ m})^2 = 6.0786 \times 10^{18} \text{ m}^2. \quad (\text{ec.A.4})$$

Conocidos estos valores, procedamos a introducir dichas magnitudes en la ecuación:

$$P_{\odot \text{ net}} = (0.9875) (6.0786 \times 10^{18} \text{ m}^2) (0.56697 \text{ ((erg/s)/(m}^2 \text{ K}^4)) (5804.135 \text{ K})^4 = 3.86235 \times 10^{33} \text{ erg/s} \quad (\text{ec. A.5})$$

Para conocer el Flujo de Potencia del Sol desde su superficie, dividimos la cantidad de potencia Bolométrica entre el área total de la superficie solar:

$$f_{\odot} = (3.86235 \times 10^{33} \text{ erg/s}) / ((6.0786 \times 10^{18} \text{ m}^2) = 6.354 \times 10^{14} \text{ ((erg/s) / m}^2) \quad (\text{ec. A.6})$$

$6.354 \times 10^{14} \text{ ((erg/s) / m}^2)$  es el flujo de potencia solar emitida desde cada metro cuadrado de la superficie solar, hacia todas direcciones.

**Cálculo de la potencia solar neta recibida por la esfera exterior.-**La potencia neta recibida por la esfera exterior, en toda su superficie, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{\odot \text{ net}} = f_{\text{OS}} * A_{\text{OS}} \quad (\text{ec. A.7})$$

En donde  $P_{\text{O net}}$  es la potencia neta recibida por toda el área de superficie de la esfera exterior,  $f_{\text{OS}}$  es el flujo de potencia solar sobre cada metro cuadrado del área de superficie de la esfera exterior, y  $A_{\text{OS}}$  es el área total de la superficie de la esfera exterior formada por la proyección de la órbita de la Tierra.

Dado que no conocemos el valor de  $f_{\text{OS}}$ , procederemos a su cálculo mediante la siguiente fórmula:

$$f_{\text{OS}} = f_{\text{O}} * (R_{\text{O}}/d)^2 \quad (\text{ec. A.8})$$

En donde  $f_{\text{OS}}$  es el flujo de potencia solar recibida por la esfera exterior,  $f_{\text{O}}$  es el flujo de potencia emitida por el Sol desde su superficie ( $6.354 \times 10^{14}$  ((erg/s) / m<sup>2</sup>)),  $R_{\text{O}}$  es el radio solar en metros ( $6.955 \times 10^8$  m), y  $d$  es la distancia promedio a través de un año terrestre desde el Sol hasta la superficie de la esfera exterior ( $1.496 \times 10^{11}$  m).

**Masa de aire.-** La distribución espectral de la luz solar varía considerablemente con las condiciones climáticas y con la posición del Sol, es decir, la hora y el día. Por ello, hay que definir una serie de condiciones estándar que permitan calibrar con precisión el funcionamiento de una célula fotovoltaica, de un módulo o de un panel solar.

Para ello se introdujo el concepto de “Masa de aire”, que se relaciona con el modo en que la distribución espectral de potencia de la radiación solar resulta afectada por la distancia que los rayos solares tienen que recorrer a través de la atmosfera antes de llegar a un módulo o panel solar.

En el espacio, la radiación solar no interacciona con las moléculas de los gases componentes de la atmosfera terrestre, y la integral bajo la curva de distribución de energía frente a la longitud de onda, que varía entre 0,3 y 2,5  $\mu\text{m}$ , resulta ser la densidad de la radiación en ese punto, que vale, aproximadamente,  $1367 \text{ W/m}^2$ .

Este valor, denominado *constante solar* y denotada como  $G_0$  representa la *densidad de flujo radiante* (DFR) que incidirá sobre una superficie plana enfrentada perpendicularmente a los rayos solares por encima de la atmosfera, a una distancia de  $1,496 \cdot 10^8$  km del sol( es decir distancia media entre la Tierra y el Sol).

La densidad de flujo radiante que llega realmente al límite de la atmosfera varia respecto a  $G_0$  en menos de  $\pm 1,5\%$  debido a que se producen variaciones en la potencia irradiada por el Sol. También se producen cambios de entre  $\pm 4,5\%$  a lo

largo del año a causa de la variación de la Tierra con respecto al Sol producida por una ligera excentricidad de la trayectoria elíptica que describe la Tierra en su giro alrededor del Sol. La distribución espectral de potencia, característica de la radiación solar fuera de la atmosfera se le denomina AM 0 (Air Mass 0, o mejor llamado Masa de Aire 0).

La radiación solar llega a la superficie de la Tierra atenuada a causa de la absorción de fotones de longitudes de onda concretas por parte de los diversos componentes de la atmosfera, como oxígeno, ozono, vapor de agua, dióxido de carbono. Este efecto atenuador se incrementa a medida que recorren los rayos solares a través de la atmosfera.

A mediodía, el Sol se encuentra en posición perpendicular al punto geográfico considerado, y a la distancia que recorren los rayos luminosos es mínima e igual al espesor de la atmosfera. La distribución espectral de la potencia característica de la radiación solar que se observa a mediodía en un día claro, sin nubosidad, y a presión normal se denomina distribución AM 1.

Si los rayos llegan a la superficie formando un ángulo  $\theta$  con la trayectoria del haz de luz, cuando el Sol se encuentra en el zenit, la longitud de la nueva trayectoria, dividida por la longitud al mediodía, se denomina Masa de Aire.

Masa de Aire (AM) es la relación entre la longitud de la trayectoria de los rayos solares a través de la atmosfera, cuando el Sol forma un ángulo  $\theta$  con el zenit y la longitud de la trayectoria cuando está el zenit.

Viene dada por:  $AM = (\cos \theta)^{-1}$  (ec. A.9)

Para  $\theta = 48^\circ$ ,  $\cos 48^\circ = 0,669$  y  $(\cos 48^\circ)^{-1} = 1,5 = AM 1,5$ . (ec.A.10)

Por lo tanto, para AM 1,5 los rayos solares atraviesan un espesor de aire correspondiente a una atmosfera y media.

**Conductores, aislantes y semiconductores.-** La materia está compuesta por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes: el núcleo, dotado de carga eléctrica positivas y los electrones, que giran alrededor del núcleo en diferentes bandas de energía, con carga negativa que compensada a la del núcleo. Este conjunto se mantiene estable y es eléctricamente neutro.

A los electrones de la última capa se le ha dado el nombre de electrones de valencia y tienen la característica de poder relacionarse con otros similares, formando una red cristalina. En base al comportamiento de los electrones de esta última capa, se puede hacer una división de los materiales eléctricos en: conductores, semiconductores y aislantes.

Dado que el fenómeno fotovoltaico tiene lugar en un material semiconductor, es necesario entender que hace que un material sea un buen conductor, un buen aislante no conductor y por último, un semiconductor.

La corriente eléctrica es un movimiento de cargas eléctricas. Por definición es la cantidad de cargas que circulan por unidad de tiempo. Cuando los extremos de un material se aplican un voltaje, se crea un campo eléctrico dentro del mismo. Los electrones pertenecientes a la órbita exterior de un átomo de ese material, la más lejana del núcleo, estarán sometidos a una fuerza cuyo valor está dado por la expresión:

$$F = q \times E \quad (\text{ec.A.11})$$

Donde

$q$ = valor de carga, en columbios.

$E$ = valor del campo eléctrico, en V/m.

Pero, ¿Qué es lo que hace que un material sea o no sea buen conductor de la electricidad? La respuesta es, su estructura atómica.

En materiales conductores, como el cobre, el aluminio, el grafito, los electrones de la banda externa tienen mucha movilidad, y pasan de átomo a átomo aun a temperatura ambiente. Bajo la acción de un campo eléctrico (voltaje entre los extremos), la fuerza dada por la expresión anterior los pone en movimiento. El valor de la conductividad (inversa a la resistividad) es elevado en estos materiales.

**Componentes de la radiación solar.-** El Sol es una poderosa fuente de energía. Esa energía solar que nos llega a la tierra puede ser transformada en energía eléctrica en un proceso denominado efecto fotovoltaico en células o celdas solares que se montan en paneles. Según como llegue la luz solar a la superficie de la tierra, podemos clasificar la radiación en tres tipos diferentes: directa, dispersa o difusa y albedo.

La radiación solar directa es la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso. La radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. Esto explica que un área con sombra o pieza sin luz solar esté iluminada: le llega luz difusa o radiación difusa.

A la fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie se le conoce como albedo. Es una variable de un lugar a otro y de un instante a otro, por ejemplo, para un cuerpo negro su valor es igual a 0 pero para la nieve es de 0,9; para un suelo mojado es de 0,18.

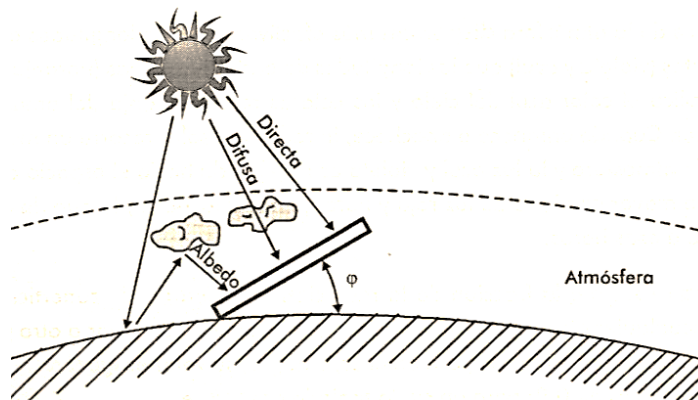
Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

De las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad mientras que en un día despejado con clima seco predomina, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total.

De la inclinación de la superficie en cuanto el plano horizontal: una superficie horizontal la máxima radiación dispersa si no hay alrededor objetos o una altura superior a la de la superficie. Al aumentar la inclinación de la superficie disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada.

La presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son más reflectantes, por ejemplo, la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve y disminuye en verano por el efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

$$I_{\text{total}} = I_{\text{Directa}} + I_{\text{Difusa}} + I_{\text{Albedo}} \quad (\text{ec.A.12})$$

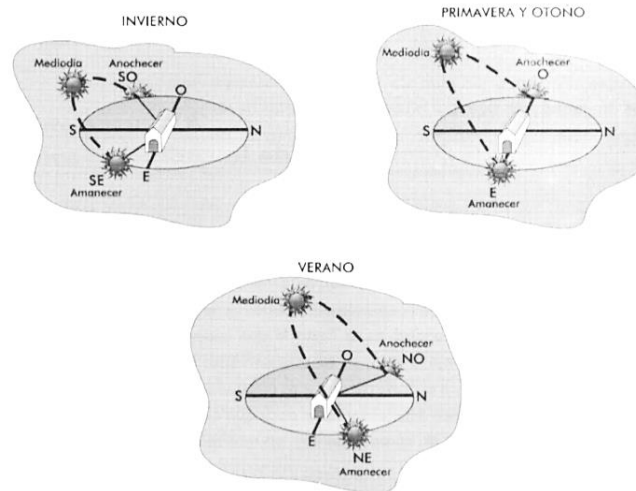


**Fig. Anexo A2** Clasificación de la luz solar incidente sobre una superficie.

**Trayectoria solar.-** La posición del Sol varía diariamente desde el amanecer hasta el atardecer. Si se observan las posiciones del sol al amanecer, mediodía y atardecer en cualquier lugar del hemisferio norte, se verá como el sol sale por el este, se desplaza en dirección al sur, y se pone por el oeste. En realidad es la Tierra la que cada día hace una rotación completa alrededor de su eje.



Las condiciones óptimas de operación implican la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol, con el fin de aprovechar al máximo la luz directa. Para aprovechar esa radiación la orientación de los paneles debe estar situada al sur en el hemisferio norte y en el hemisferio norte hacia el sur, es decir, siempre orientados hacia el ecuador.



**Fig. Anexo A3** Trayectoria solar en diferentes estaciones del año.

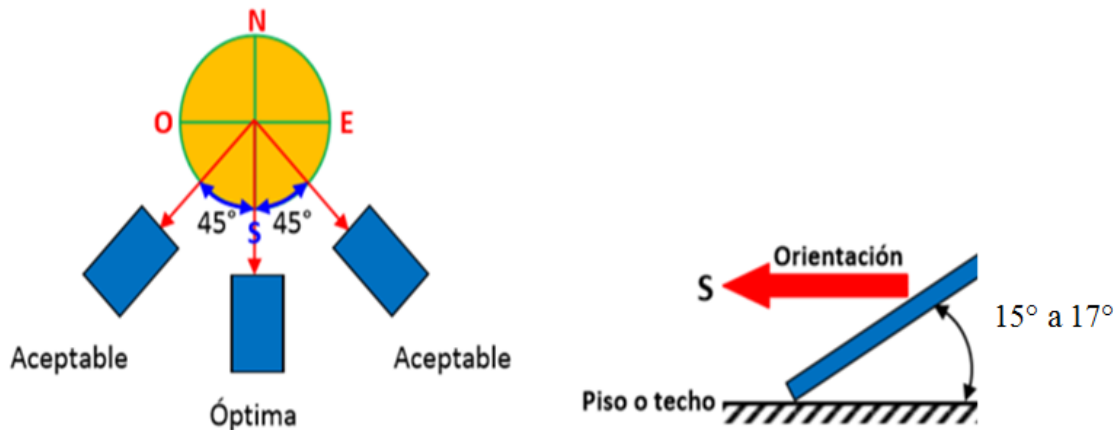
**Insolación.-** La insolación parámetro clave en el diseño de sistemas solares, también es distinta según la estación del año en que nos encontremos, el Sol no se encuentra a la misma altura sobre el horizonte en invierno que en verano, lo que esto significa que la inclinación de los paneles no debería ser fija si se quiere que en todo momento estén inclinados perpendicularmente al Sol.

En invierno el Sol no alcanzara el mismo ángulo que en verano. Idealmente, en verano los paneles solares deberían ser colocados en posición ligeramente más horizontal para aprovechar al máximo la luz solar. Pero si se mantuviesen en esa posición en invierno, los mismos paneles no estarían entonces en posición óptima para el sol de invierno.

**Inclinación eficiente.-** En nuestra latitud (Tuxtla Gutiérrez aproximadamente  $16.73^\circ$ ) la orientación óptima de los módulos fotovoltaicos es hacia el sur. Sin embargo lo que se deja de generar por estar orientados hacia el sureste o suroeste representa solo un 0,2 % por cada grado de desviación respecto al sur (en un entorno de  $\pm 25^\circ$  respecto al sur).

El territorio mexicano se encuentra en el hemisferio norte. En esta región la trayectoria aparente del sol durante la mayor parte del año, desde el amanecer hasta el atardecer se observa con orientación hacia el sur. La orientación e inclinación son aspectos determinantes en las instalaciones fotovoltaicas para la producción de energía eléctrica. Si se establece una orientación hacia el sur

geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción de energía.



**Fig. Anexo A4** Ángulo de inclinación y orientación óptima para máxima producción anual en invierno y verano.

La inclinación y orientación óptima de los módulos fotovoltaicos se define por la latitud del sitio donde se realizara el arreglo fotovoltaico. En el norte del país donde la demanda de energía eléctrica es mayor durante el verano, en cualquier caso, es recomendable una inclinación superior a los 15°, para permitir la máxima captación de los rayos del sol justo cuando suele ocurrir el pico de demanda.

En definitiva, asumiendo las pérdidas o lo que se deja de generar de hasta un 5 a 10% se tiene un margen muy amplio de posibilidades de orientación e inclinación y la facilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos en diferentes circunstancias. Pero siempre hay que procurar acercarse lo más posible a las condiciones óptimas de instalación: orientación hacia el sur correspondiente a la latitud para establecer la inclinación en lugar de instalación.

**Horas pico solar.-** Es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Corresponde al número de horas en las que cada metro cuadrado de la superficie captadora, obtiene de modo constante 1000 W de energía. Los módulos se caracterizan bajo condiciones determinadas tomadas como referencia y que se denominan *Condiciones Estándar de Medida*.

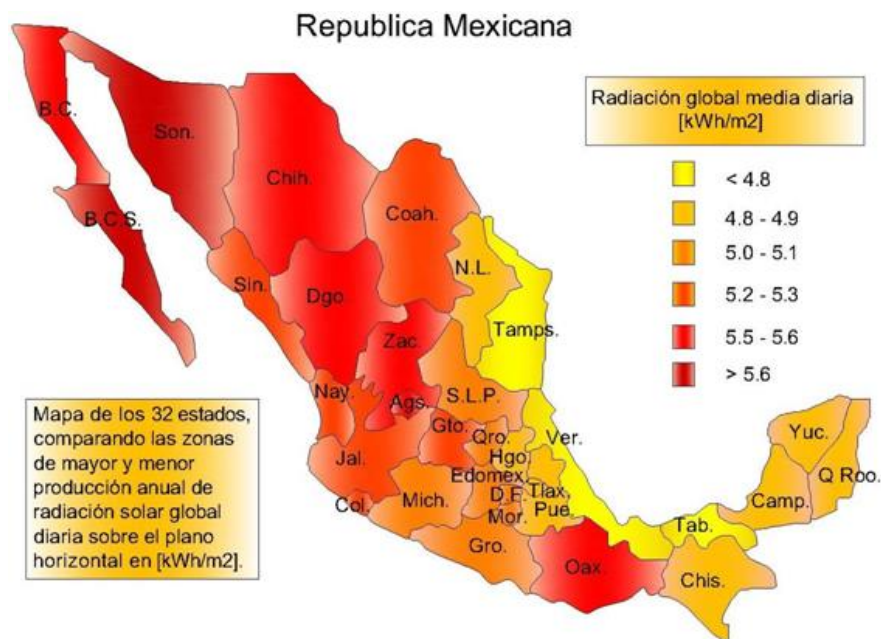
1  $\text{kW/m}^2$  de radiación solar, 25° C de temperatura de las células fotovoltaicas, Incidencia normal, La unidad métrica utilizada para su potencia es el Watt por metro cuadrado ( $\text{W/m}^2$ ). Para expresar la cantidad de energía recibida se usa kilowatt hora por metro cuadrado por día ( $\text{kWh/ m}^2/\text{d}$ ); eso es la cantidad de

energía (medida en kilowatthoras) que llega al área de un metro cuadrado en un solo día.

Si se quiere evaluar la energía solar que el panel fotovoltaico puede producir diariamente, habría que conocer cuantas horas diarias con una radiación de  $1.000 \text{ W/m}^2$  equivalen a la radiación total diaria, la correspondiente a la inclinación del panel fotovoltaico. Este concepto se denomina *Horas pico*.

La energía producida por los sistemas fotovoltaicos es el resultado de multiplicar su potencia nominal  $n^\circ$  de horas pico, dado que no todas las horas del sol son horas de intensidad consideradas como pico ( $1.000 \text{ W/m}^2$ ). El número de horas pico concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día entre  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Por lo regular en la república mexicana, la media de horas solares pico es de 4 a 5 aunque no siempre es preciso debido a varias condiciones principalmente climatológicas.

México está ubicado en el cinturón solar de la tierra. El país tiene una alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio; la zona norte es de las más soleadas del mundo. Con una irradiación media anual de aproximadamente  $5 \text{ kWh/m}^2$  por día, México es uno de los países a nivel mundial que presenta condiciones ideales para el aprovechamiento masivo de este tipo de energía. Sin embargo, este potencial no se ha aprovechado ampliamente.



Diseño ilustrativo. Elaboro: Ing. Manuel Muñoz Herrera. Datos: Servicio Metereologico Nacional

**Fig. Anexo A5** Radiación diaria promedio anual.

**Principio de conversión Fotovoltaica.-** Los semiconductores son utilizados en la fabricación de celdas solares porque la energía que liga los electrones de valencia

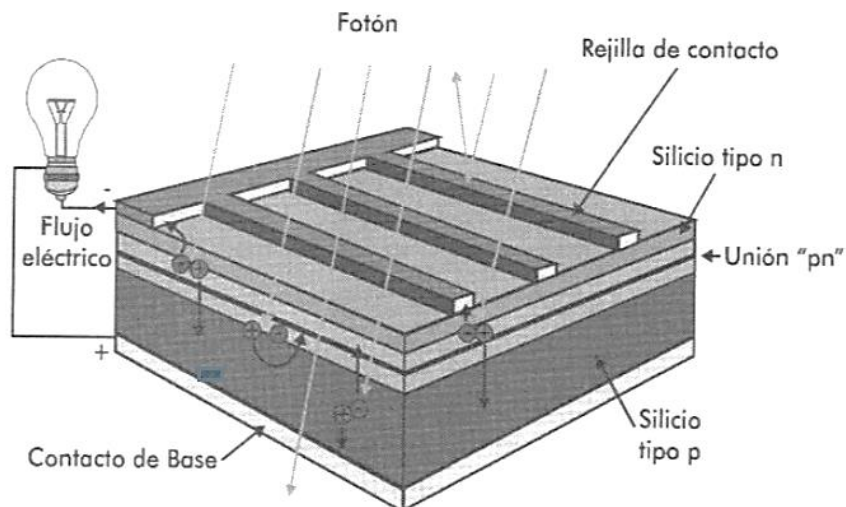
al núcleo es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor, sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria para poder desprender los enlaces y queden libres para circular por el material.

Por cada electrón que se libera, aparecerá un hueco. Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva. Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que existe fotogeneración de portadores de carga negativa y positiva, los cuales contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material.

Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben de ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores, generados por la energía de los fotones, viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión donde son separados por el efecto de campo eléctrico. Esta separación envía electrones fotogenerados a la capa n y huecos fotogenerados a la capa p, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas.

La acumulación de cargas en las superficies del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico que se puede expandir externamente. La unidad de medición es el voltio. Este voltaje fotogenerado es lo que se conoce como efecto fotovoltaico.

Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se llama una corriente fotogenerada o fotovoltaica.



**Fig. Anexo A6** Conversión fotovoltaica de la energía solar.

**Conceptos básicos de electricidad.-** El circuito eléctrico es parecido a un circuito hidráulico ya que puede considerarse como el camino que recorre la corriente (el

agua) desde un generador de tensión (también denominado como fuente) hacia un dispositivo consumidor o carga. La carga es todo aquello que consume energía para producir trabajo: la carga del circuito puede ser una lámpara, un motor, etc. (en el ejemplo de la ilustración la carga del circuito es una sierra que produce un trabajo).

La corriente, al igual que el agua, circula a través de unos canales o tuberías; son los cables conductores y por ellos fluyen los electrones hacia los elementos consumidores. En el circuito hidráulico, la diferencia de niveles creada por la fuente proporciona una presión (tensión en el circuito eléctrico) que provoca la circulación de un caudal de líquido (intensidad); la longitud y la sección del canal ofrecen un freno al paso del caudal (resistencia eléctrica al paso de los electrones).

De modo análogo en el circuito eléctrico, la corriente que fluye por un conductor depende de la tensión aplicada a sus extremos y la resistencia que oponga el material conductor; cuanto menor sea la resistencia mejor circulará la corriente.

**Voltaje eléctrico (V)** Se denomina voltaje eléctrico (o también Tensión eléctrica) a la fuerza potencial (atracción) que hay entre dos puntos cuando existe entre ellos diferencia en el número de electrones. En los polos de una batería hay una tensión eléctrica y la unidad que mide la tensión es el voltio (V).

**Corriente eléctrica (I)** Es la cantidad de electrones o intensidad con la que circulan por un conductor, cuando hay una tensión aplicada en sus extremos, se le denomina corriente eléctrica o intensidad. La unidad que mide la intensidad es el amperio (A).

**Resistencia eléctrica (R)** Los electrones que circulan por un conductor encuentran cierta dificultad a circular libremente ya que el propio conductor opone una pequeña resistencia; resistencia que depende de la longitud, la sección y el material con que está construido el conductor. La corriente fluirá mejor cuanto mayor sea la sección y menor la longitud. La unidad que mide la resistencia es el ohmio ( $\Omega$ ).

La potencia eléctrica, es aquella que se consume o genera en un instante dado, se especifica por el voltaje que obliga a los electrones a producir corriente eléctrica continua y se expresa como:

$$P = V \cdot I \quad (\text{ec.A.13})$$

La unidad de potencia eléctrica es el vatio (1 vatio= 1 voltio = 1 amperio). Y en cuanto a la energía eléctrica, E, es la potencia generada o consumida en un periodo de tiempo t y se define como:

$$E = P \cdot t \quad (\text{ec.A.14})$$



Si el tiempo de consumo está dado en horas, entonces las unidades para la energía producida serán: vatio-hora. La potencia se define como la energía o trabajo consumido o producido en un determinado tiempo. En los circuitos eléctricos la unidad de potencia es el vatio (W) y su definición está relacionada con la tensión aplicada y la intensidad que circula por un circuito: se dice que un vatio es la energía (trabajo) que libera un amperio en un circuito con una tensión de un voltio.

**La Célula Fotovoltaica.-** Las células fotovoltaicas son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, en un proceso en el que la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produciendo una diferencia del voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo que se pueda producir trabajo útil.

Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de  $cm^2$ . La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. Es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena dióxido de silicio  $SiO_2$ . En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips.

Aunque las células fotovoltaicas eficientes han estado disponibles desde mediados de los años 50, la investigación científica del efecto fotovoltaico comenzó en 1839, cuando el científico francés, Henri Becquerel descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas. El efecto fue observado primero en un material sólido (el metal selenio) en 1877. Este material fue utilizado durante muchos años para los fotómetros, que requerían de cantidades muy pequeñas de energía.

Una comprensión más profunda de los principios científicos, fue provista por Albert Einstein en 1905 y Schottky en 1930, la cual fue necesaria antes de que células fotovoltaicas eficientes pudieran ser confeccionadas. Una célula fotovoltaica de silicio que convertía el 6% de la luz solar que incidía sobre ella en electricidad fue desarrollada por Chapin, Pearson y Fuller en 1954, y esta es la clase de célula que fue utilizada en usos especializados tales como satélites orbitales a partir de 1958.

Las células fotovoltaicas de silicio disponibles comercialmente en la actualidad tienen una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar que cae sobre ellas de cerca del 18%, a una fracción del precio de hace treinta años. En la actualidad existen una gran variedad de métodos para la producción práctica de células fotovoltaicas de silicio (amorfas, monocristalinas o policristalinas), del mismo modo que para las células fotovoltaicas hechas de otros materiales (seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio).

**Estructura de la Celda.-** Las celdas solares de silicio pueden construirse de cristales monocristalinos, policristalinos y de silicio amorfo. La diferencia entre



ellos radica en la forma como están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina que es lo que hacen que tengan características diferentes entre sí.

Existe, además, una diferencia en base a la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalinos y policristalinos tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las celdas de silicio amorfo.

Las células de **silicio monocristalino** se obtienen a partir de un silicio muy puro, que se refunde en un crisol a una temperatura de unos  $1.400^{\circ}\text{C}$ , junto con una pequeña porción de boro. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un cristal germen de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados con la estructura del cristal. De esta forma después de unas 8 horas, se obtiene un cristal dopado con cierta carencia de electrones (tipo p) que posteriormente se cortan en forma de obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor.

Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Con este tratamiento químico se crea la unión p-n, es decir, un campo eléctrico por diferencia de electronegatividad entre la zona p y la zona n. Así se consigue que una de las zonas tenga deficiencia de electrones, la p y otro exceso de electrones, la n.

### Cristalización, método de Czochralsky

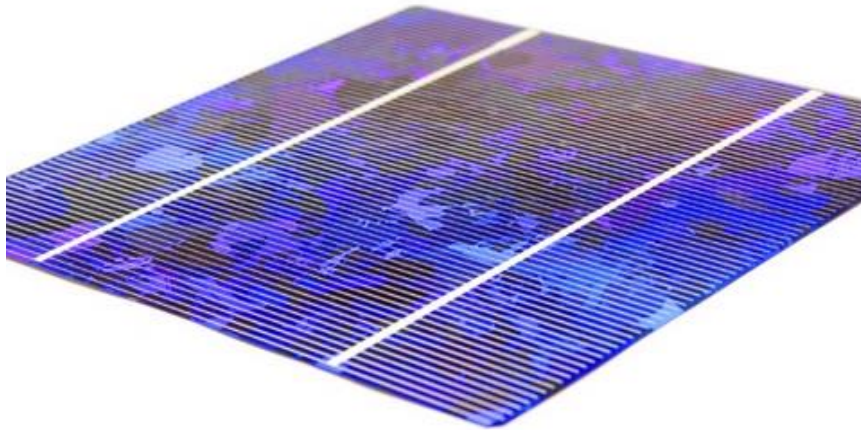


Fig. Anexo. A7 Método de obtención Czochralski.

Las células de **silicio policristalino** se obtienen de manera similar, salvo porque se parte de planchas policristalina, que son más baratas. Estas planchas son obtenidas a través de un modelo a partir de pasta formada por múltiples pequeños cristales de silicio, lo cual es fundida y vertida en un modelo donde se deja asentar lentamente, lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales.

Su composición es a través de pequeños cristales, esto hace que su color no sea uniforme, si no que presente varias tonalidades de azul. Esta forma de obtención hace que sean más baratas que las planchas de monocristalinas, pero no tan eficientes. El rendimiento más bajo es debido a las imperfecciones en la estructura cristalina llegando hasta el 12 o 14%.

Aunque su rendimiento es algo inferior a las monocristalinas, su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso. Tanto en este proceso como el anterior, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el cortado. La garantía del producto puede ser hasta de 20 a 25 años dependiendo mucho del fabricante.



**Fig. Anexo.A8** *Célula de silicio policristalino.*

El método de la fabricación determina, en gran parte, la forma geométrica de la célula FV. Las primeras versiones del silicio monocristalinos eran redondas, pues el cristal puro tenía una sección una parte circular. Las versiones actuales tienen forma cuadrada pero no del todo, ya que las esquinas de las células tienen un corte de 45°.

Las células de silicio policristalino son cuadradas por que el recipiente donde se vierte el semiconductor fundido tiene esta forma.

Las células fotovoltaicas de **silicio amorfo** son una de las tecnologías más mejoradas dentro de la tecnología fotovoltaica. El punto más importante que

podemos rescatar en ellas es el aprovechamiento que se hace del silicio durante su diseño. Con las placas monocristalinas, compuestas por un cristal entero, y policristalinas, compuestas por varios cristales pequeños, por lo general durante su confección se pierde casi la mitad del silicio en forma de polvo al cortar las placas, lo cual no ocurre con las células fotovoltaicas de silicio amorfo.

La nueva tecnología de silicio amorfo consiste en una tecnología de lámina delgada que es creada depositando silicio sobre un sustrato de vidrio de un gas reactivo, como por ejemplo puede ser el silano ( $\text{SiH}_4$ ). Podemos agrupar a las células fotovoltaicas de silicio amorfo dentro de las tecnologías de lámina delgada. Este tipo de célula solar es posible de ser aplicada como película a sustratos de bajo costo como el cristal o el plástico.

Lógicamente aquí será como si imprimiésemos los paneles solares, pudiendo adaptarlos a superficies económicas. Una de las principales consecuencias que se desprenden de esto es que los costos de los paneles solares tendrían que bajar. Lógicamente que un contenedor del panel que sea de plástico será mucho más barato que hacer un panel solar tradicional, sin embargo en la realidad los precios de las células fotovoltaicas de silicio amorfo realmente no se reducen mucho.



**Fig. Anexo.A9** *Célula de silicio amorfo.*

**Instrumentos de medición de la Radiación Solar:** La medida de la radiación solar terrestre es importante para el estudio de las condiciones climáticas y atmosféricas. Conociendo los valores de radiación a lo largo de un año en un área determinada, es posible saber si es factible la utilización de los sistemas fotovoltaicos, o como deben de aprovecharse en su máximo nivel posible.

La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad. La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones.

La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s Estas ondas electromagnéticas pueden tener diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético.

Las medidas de la radiación son importantes para: Estudiar las transformaciones de la energía en sistema Tierra-Atmósfera, Analizar las propiedades y distribución de la atmósfera, los elementos que la constituyen, tales como los aerosoles, el vapor de agua, el ozono, Estudiar la distribución y variaciones de la radiación incidente, reflejada y total.

**Referencia Radiométrica Mundial (WRR) y Grupo Mundial de Normalización (WSG):** En los últimos años, gracias al desarrollo experimentado por la radiometría absoluta, se ha mejorado enormemente la precisión de las medidas de la radiación. Por ello se ha definido una Referencia Radiométrica Mundial a partir de los resultados obtenidos con la realización de numerosas comparaciones de 15 pirheliómetros absolutos individuales.

La WRR se considera representativa de las unidades físicas de irradiancia total con una precisión superior a  $\pm 0.3\%$ . Fue adoptada por el congreso de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) en 1979 y se crea El Grupo Mundial de Normalización (WSG). Con objeto de garantizar la estabilidad a largo plazo de la nueva referencia, como WSG se utiliza por lo menos un grupo de cuatro pirheliómetros absolutos de distinto diseño.

**Medida de la radiación directa** La radiación solar directa se mide por medio de pirheliómetros. Merced al empleo de obturadores, solamente se mide la radiación procedente del sol y de una región anular del cielo muy próxima al astro. En los instrumentos modernos, esta última abarca un semiángulo de  $2.5^\circ$  aproximadamente a partir del centro del Sol.

Generalmente el sensor está dotado de un visor en el que un pequeño punto luminoso coincide con una marca situada en el centro del mismo cuando la superficie receptora se halla en posición exactamente perpendicular al haz solar directo Por lo que se precisa que todos los pirheliómetros vayan montados sobre un mecanismo que le permita un seguimiento muy preciso del Sol.



**Fig. Anexo A.10.** Pirheliómetro de primera clase Kipp-Zonen.

Lo normal es que se calibren con el WSG en el transcurso de las Comparaciones Pirheliométricas Internacionales que se organizan cada 5 años. Un sensor referenciado al WSG puede usarse como patrón primario para calibrar de nuevo, por comparación y usando el sol como fuente, pirheliómetros secundarios de primera y segunda clase.

**Medida de la radiación global y difusa.-** La radiación global se define como la radiación solar recibida de un ángulo sólido de  $2\pi$  estereorradianes sobre una superficie horizontal. La radiación global incluye la recibida directamente del disco solar y también la radiación celeste difusa dispersada al atravesar la atmósfera. El instrumento necesario para medir la radiación global es el piranómetro.

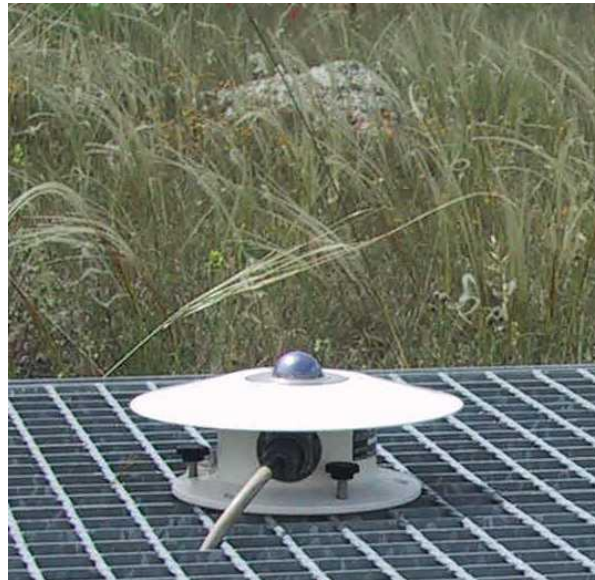
Este se utiliza a veces para medir la radiación incidente sobre superficies inclinadas y se dispone en posición invertida para medir la radiación global reflejada (albedo). Para medir solamente la componente difusa de la radiación solar, la componente directa se cubre por medio de un sistema de pantalla o sombreado.





**Fig. Anexo A.11** *Piranómetro Kipp-Zonen.*

**Medida de la radiación infrarroja.-** El instrumento usado para medir radiaciones de onda larga son los pirgeómetros. La mayoría de éstos eliminan las longitudes de onda cortas mediante filtros que presentan una transparencia constante a longitudes de onda largas mientras que son casi opacas a longitudes de onda más cortas (300 a 3000nm).



**Fig. Anexo A.12** *Pirgeómetro Eppley.*

## Anexo B Reporte Fotográfico

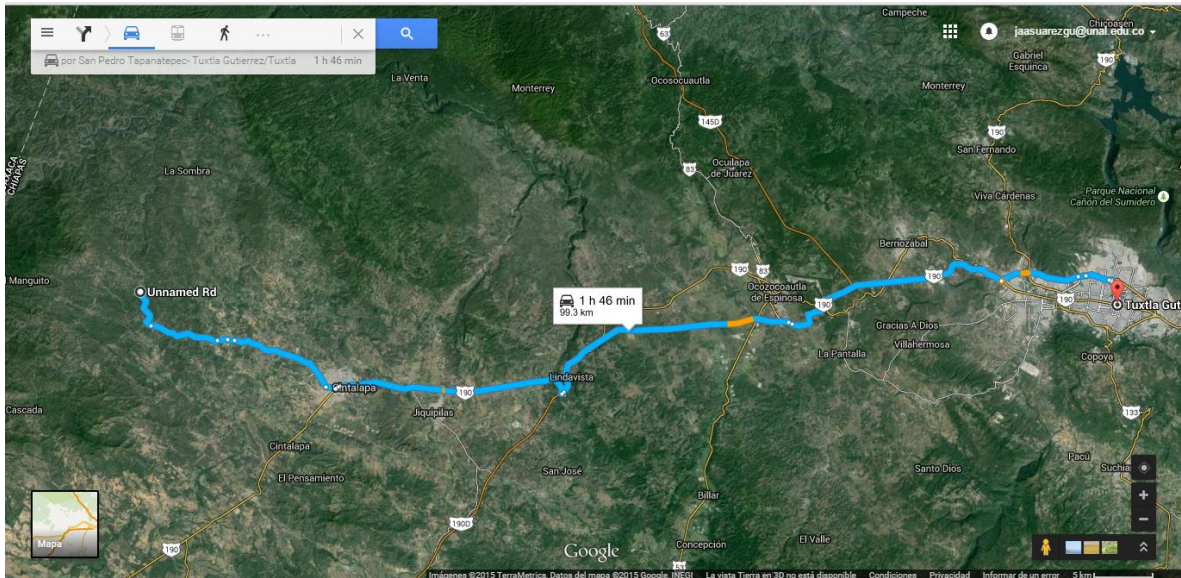


Fig. Anexo. B1. Localización de las comunidades a través de Google maps.



Fig. Anexo. B2. Villa del rio 2012 se encuentra ubicada la central fotovoltaica en la actualidad.





**Fig. Anexo. B3** *Central Fotovoltaica de 5.5 KWh.*



**Fig. Anexo. B4** *Viviendas sin el sistema de iluminación fotovoltaica, 2012.*



**Fig.Anexo.B5** Sistema de iluminación Fotovoltaica en la actualidad, 2015.



**Fig. Anexo.B6** Sistema de iluminación individual para viviendas.





**Fig. Anexo.B7** Junta de presentación con el presiario de la comunidad.



**Fig. Anexo.B8** Casa ejidal de la Comunidad.





**Fig. Anexo.B9** Sistema Híbrido de Generación Eléctrica.

## Bibliografía

- [1] A.K. Akella, M.P. Sharma, R.P. SAINI. Optimum utilization of renewable energy sources in a remote area. - Alternate Hydro Energy Centre, Indian Institute of Technology, Roorkee-247 667, India.- Received 31 May 2005; IEEE, Transactions on Power Energy, 2005.
- [2] Michael Perdue, Ralph Gottschalg, Center for Renewable Energy Systems Technology (CREST), School of Electronic, Electrical and Systems Engineering, Loughborough University, Loughborough. Rendimiento y fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos, calidad de instalación, condiciones meteorológicas a las que son sometidos y problemas de diseño”. IEEE, Transactions on Energy Conversion, 2013.
- [3] Dr. Pascual López, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Energías Renovables. “Investigación de la importancia e impacto social, ecológico, y tecnológico, instalación de tecnología, sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica en las comunidades rurales”. IEEE, 2006.
- [4] Pérez EJ.; Del Valle J.L; Urbano A.; Servin E y Romero H. Romero, "Photovoltaic Rural Telephonic Station Realized under Mexican Technology", Proc. 13th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, p.1286-1289; 2008.
- [5] Özge Dimir Başak, Bekir Sami Sazak, Center for Innovation in Electrical and Energy Engineering. “Efecto en la evolución de eficiencia en un Sistema Fotovoltaico, muestreo de nuevos materiales y técnicas de fabricación desarrolladas para aumentar la eficiencia de las células solares”. IEEE Photovoltaic Specialists Article, 2010.
- [6] Hernández Fernández, Luis Fernando, Zapatero Rodríguez, Miguel, Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales. “Estudio de una instalación mixta, fotovoltaica y eólica, aplicada a viviendas rurales”. IEEE Photovoltaic Specialists Article, 2009.
- [7] Biól. Nasif Nahle Sabag, Sabag, Nasif. Biology Cabinet. 7 de junio de 2011. “Radiación Solar en la Capa exterior de la Atmósfera Terrestre y sobre la Superficie Terrestre (Suelo y Océano)”. IEEE, 2011.
- [8] Manuel Campos Fernández, Fernando Delgado Ruiz, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería. “Planta solar fotovoltaica de 500kw sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de Sevilla, Manual de mantenimiento”. IEEE, Transactions on Energy Conversion, Abril, 2012.