

**TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ**

INGENIERIA ELÉCTRICA

REPORTE DE RESIDENCIA

**IMPLEMENTACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
CONECTADOS A LA RED**

ASESOR EXTERNO:

DR. NEIN FARRERA VÁZQUEZ

ASESOR INTERNO:

M. EN C. KARLOS VELAZQUEZ MORENO

ALUMNO:

DANIEL EDUARDO RAMIREZ GONZALEZ

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS,

Índice

Capítulo I.....	4
1. Introducción.....	4
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 Estado del arte.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivo.....	7
1.5 Metodología.....	7
Capítulo II.....	9
2. Caracterización del área.....	9
2.1 Área en que se participo.....	9
2.2 Antecedentes de la institución.....	9
2.3 Misión y visión.....	9
2.4 Descripción del área donde se desarrolló el proyecto...10	
Capitulo III.....	10
3. Fundamento Teórico.....	10
3.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red.....10	
3.1.2 Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red..10	

3.2 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	11
3.3 Cableado.....	21
3.4 Protecciones.....	22
3.5 Dimensionado del sistema fotovoltaico.....	24
Capítulo IV.....	28
4. Desarrollo.....	28
4.1 Diagnostico del potencial solar.....	28
4.2 Diseño del sistema fotovoltaico.....	28
4.3 Características específicas de la carga de la vivienda...29	
4.4 Calculo del sistema.....	30
4.5 Elaboración de la estructura.....	31
4.6 Implementación del sistema fotovoltaico conectado a la red.....	32
4.7 Contrato con CFE.....	33
Capítulo V.....	34
5. Conclusión.....	34
Anexos.....	34
Bibliografía.....	52

Capítulo I

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Para satisfacer la demanda de energía eléctrica de México en los próximos años, es necesario la implementación de más fuentes de energía. El uso intensivo de combustibles fósiles (carbón o gas natural) en las plantas de generación, como ocurre hoy en día en México, originan problemas que se pueden agravar en el mediano y largo plazo, como el agotamiento de las reservas de estos recursos no renovables, así como daños a la salud y una mayor incidencia de desastres naturales.

Es por esta razón que en México, recientemente, se han desarrollado diversas políticas, leyes, reglamentos y normatividad para fomentar un uso racional de recursos no renovables e incrementar la implementación de fuentes de energía que causan un menor impacto al medio ambiente, como las energías renovables. El uso de la energía solar podría jugar un papel importante.

México es uno de los países con mayor incidencia solar en el mundo, debido a su ubicación geográfica. Con una insolación media de 5 kWh/m² al día, el potencial en México es de los más altos del mundo, lo cual puede ser aprovechado para generar energía eléctrica con el uso de sistemas fotovoltaicos con un mercado potencial favorable para hacerlo un gran negocio; sin embargo esta tecnología tiene una penetración mínima en México.

La energía solar se utiliza cada vez en mayor escala. La razón es que el sol es el mayor productor que existe en nuestro sistema planetario. Anualmente, la tierra recibe del sol una cantidad del orden de 1.6 millones de kWh, cifra que representa varios cientos de veces la energía que se consume actualmente en el mundo.

La energía de la radiación solar que se recibe en una superficie determinada en un instante se conoce como irradiación y se mide en W/m², mientras que la insolación es la energía radiante que incide en una superficie dada por un periodo de tiempo determinado y se mide en Wh/m². Ambas cantidades varían a lo largo del día, presentan variaciones estacionales, y también son función de la latitud.

Se sabe que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad energética promedio de 5 kWh/m² al día. Esto significa que si una celda fotovoltaica tuviera una eficiencia del 100%, bastaría un metro cuadrado para proporcionar energía eléctrica a un hogar mexicano promedio que consume 150 kWh por mes.

En el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (Cenidet), el grupo de Electrónica de Potencia se ha enfocado al análisis y solución de las barreras técnicas, con énfasis en la problemática asociada con la interconexión de los sistemas fotovoltaicos a la red.

México es uno de los países con mayor incidencia solar en el mundo, debido a su ubicación geográfica. Con una insolación media de 5 kWh/m² al día [1], el potencial en México es de los más altos del mundo, lo cual puede ser aprovechado para generar energía eléctrica con el uso de sistemas fotovoltaicos con un mercado potencial favorable para hacerlo un gran negocio; sin embargo esta tecnología tiene una penetración mínima en México.

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 [2].

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 [3].

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 [4].

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 [5].

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 [6].

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 [7].

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 [8].

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 ores mayores a los 12m/s, medios a una altura de 10 metros [9].

1.3 Justificación

Mientras las ciudades crecen y los recursos naturales necesarios para satisfacer sus necesidades son cada día más escasos, se vuelve urgente hacer uso racional de los mismos.

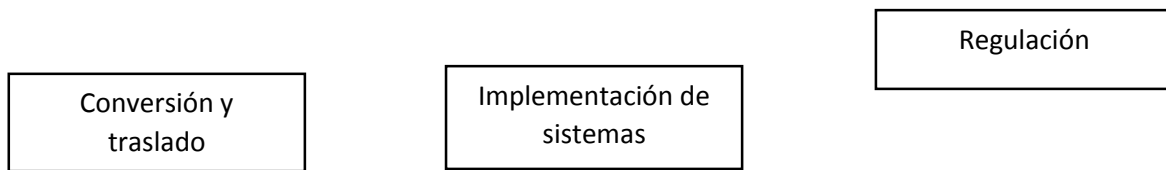


Fig. 1.1 Diagrama de bloques del hardware

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 tomaran 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 atmosfera.

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.

2.3 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.

2.4 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 la instalación de sistemas fotovoltaicos. Se pretende realizar la instalación de una central fotovoltaica conectada a la red, ubicada en una vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Capítulo III

3. Fundamento Teórico

3.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red

Son sistemas que dependen total o parcialmente de la red eléctrica de CFE para su correcto funcionamiento. Normalmente no cuentan con medios para almacenar energía eléctrica, por lo que si la red deja de suministrarles energía, estos dejarán de operar. [10]

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) constituyen una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica que más atención están recibiendo en los últimos años, dado su elevado potencial de utilización en zonas urbanizadas próximas a la red eléctrica.

Estos sistemas están compuestos por un generador fotovoltaico que se encuentra conectado a la red eléctrica convencional a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico, característico de este tipo de instalaciones. Así, el sistema inyecta energía en la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de ella en caso contrario.

La diferencia fundamental entre un sistema fotovoltaico autónomo y los conectados a red, consiste en la ausencia, en este último caso, del subsistema de acumulación, formado por la batería y la regulación de carga. Además, el inversor, en los sistemas conectados a red, deberá estar en fase con la con la tensión de la red.

En la figura 2 se presenta el esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red:

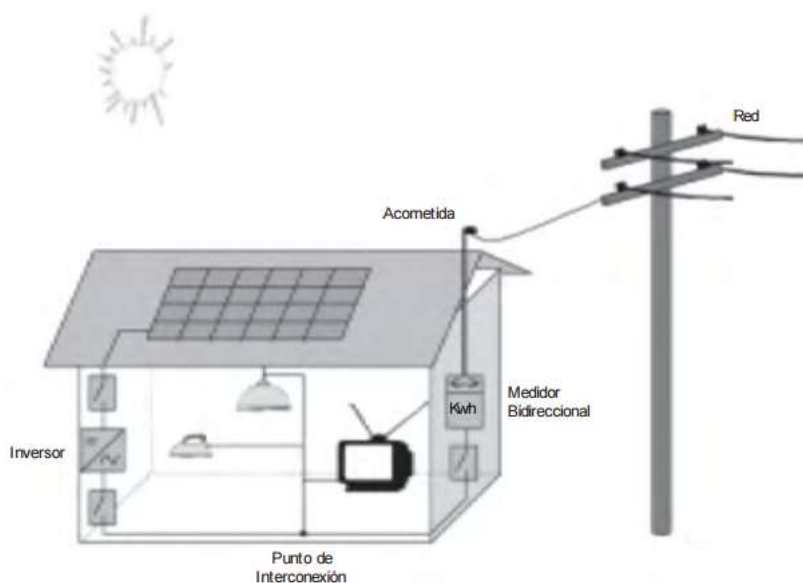


Fig. 2 Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red

3.1.2 Tipos de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red

Como se ha venido comentando hasta ahora, existen dos tipos de aplicaciones de la energía solar fotovoltaica: los sistemas aislados y los conectados a la red. Aun conociendo la variedad de posibilidades que ofrece el primer tipo de instalaciones, es importante considerar los sistemas conectados a red, ya que pueden ofrecer una diferenciación en lugares (por ejemplo: Europa) donde los niveles de electrificación están llegando a un nivel de saturación.

La ventaja de esta tecnología fotovoltaica está en la posibilidad de crear una instalación a partir de un gran número de sistemas descentralizados, distribuidos en los puntos de consumo, frente a la instalación en grandes superficies, con lo que se consigue eliminar las pérdidas por transporte.

Se enumeraron anteriormente las aplicaciones de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red: instalaciones de energía fotovoltaica para edificación bioclimática, en edificios para posterior suministro a la red eléctrica, para la creación de centrales eléctricas y para refuerzo a finales de línea. Todas estas aplicaciones pueden dividirse en dos grandes subgrupos: los sistemas fotovoltaicos en edificios y las centrales o huertos solares.

3.2 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red

Dentro de una instalación solar fotovoltaica tenemos varios dispositivos o equipos que debemos dimensionar para que sea posible la transformación de la radiación solar en energía eléctrica que inyectamos a la red.

Célula solar

El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento en el efecto fotovoltaico.

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que

recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin que la radiación solar llegue al semiconductor (fig. 3).

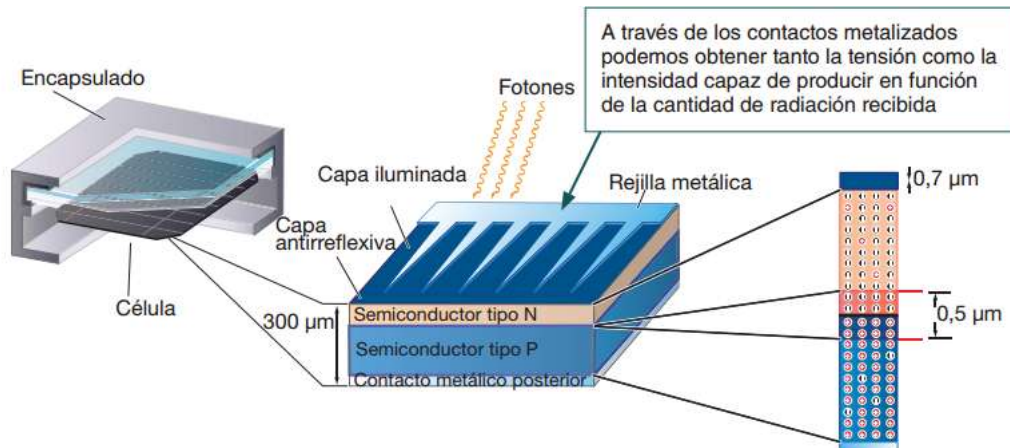


Fig 3 Estructura de la célula solar

Panel fotovoltaico

Un panel solar o modulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6v, 12v, 24v,..), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico. [11]

En la fig 3.2 se destacan las principales características de todo el panel solar y puede verse el esquema típico de su construcción.

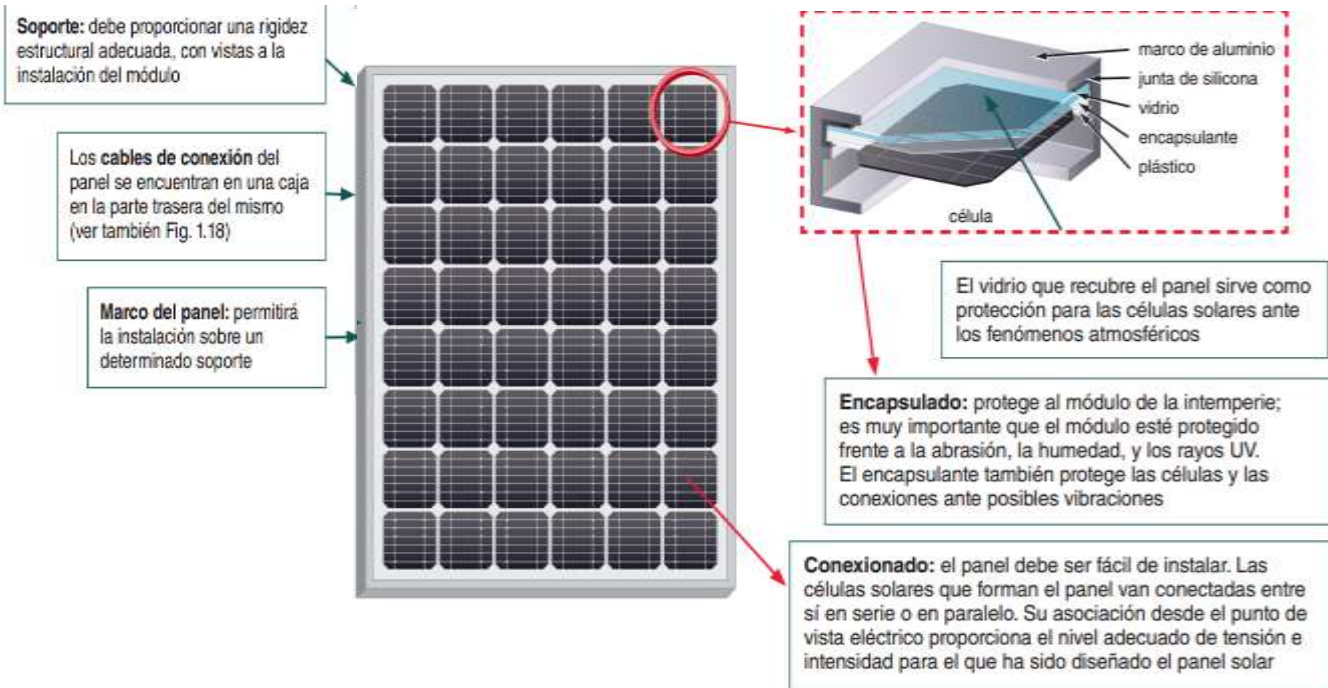


Fig. 3.2 Constitución de un panel solar. Se destacan principales características

Los tipos de paneles solares vienen dados por tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente

- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino)
- Silicio amorfo

En la siguiente tabla podemos observar la diferencia que existe entre ellos.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fig 3.3 Diferencias entre los paneles según la tecnología de su fabricación.

Potencia de la célula solar

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (10cm x 10cm) es muy pequeña (entorno a 1w o 2w), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias en ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades: [11]

- La **conexión en serie** de las células permitirá aumentar la tensión final de los extremos de la célula equivalente.
-
- La **conexión en paralelo** permitirá aumentar la intensidad del conjunto.

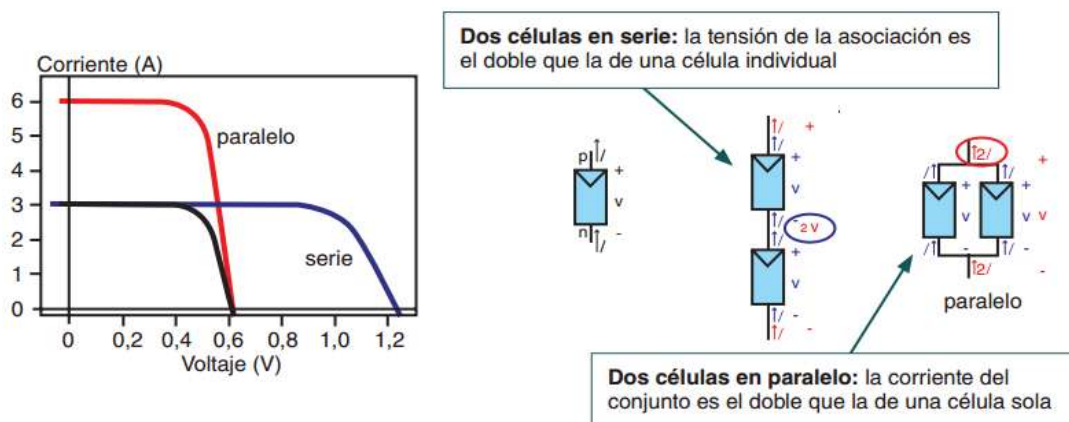


Fig. 3.4 Esquema y curva de caracterización de un conexionado en serie y en paralelo

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 eléctricas 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.

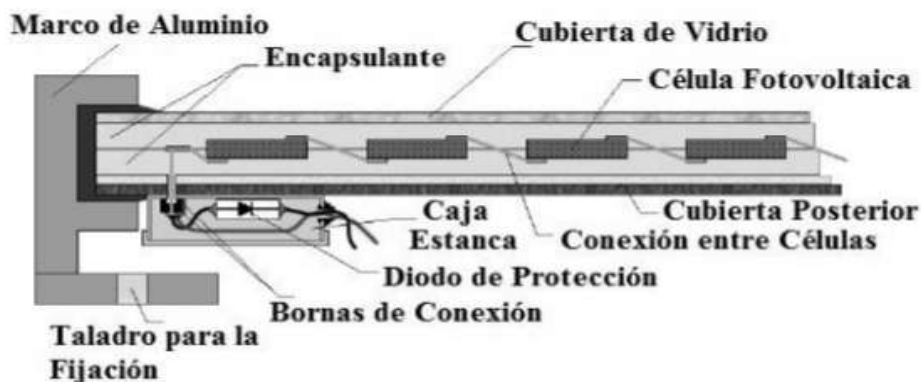


Fig. 3.5 Elementos que conforman un panel fotovoltaico.

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 Tediar 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.

Medidor bidireccional

Los medidores Bidireccionales son aquéllos que permite al usuario interconectar la energía convencional con aquellas que genere a través de paneles solares u otros mecanismos. los distintos beneficios que se adquieren al elegir la energía solar fotovoltaica como fuente alternativa de electricidad. [12]

Sistema fotovoltaico	Casa	Red de CFE	Qué se factura
100 →	100	0	Cargo mínimo
50 →	100	← 50	50 a cuotas de tarifa
150 →	100	→ 50	Cargo mínimo y la diferencia se guarda
0	100	← 100	Si hay guardado se devuelve y si no alcanza, la diferencia a cuotas de tarifa

Fig.3.6 Forma de facturar la energía eléctrica con un medidor bidireccional

Inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 127v de valor eficaz y una frecuencia de 60hz. [11]

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a la red, y estará presente en la mayoría de las instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinada a la electrificación de viviendas. [11]

Un esquema de un una instalación conectada a la red, se representa en la siguiente figura 3.7

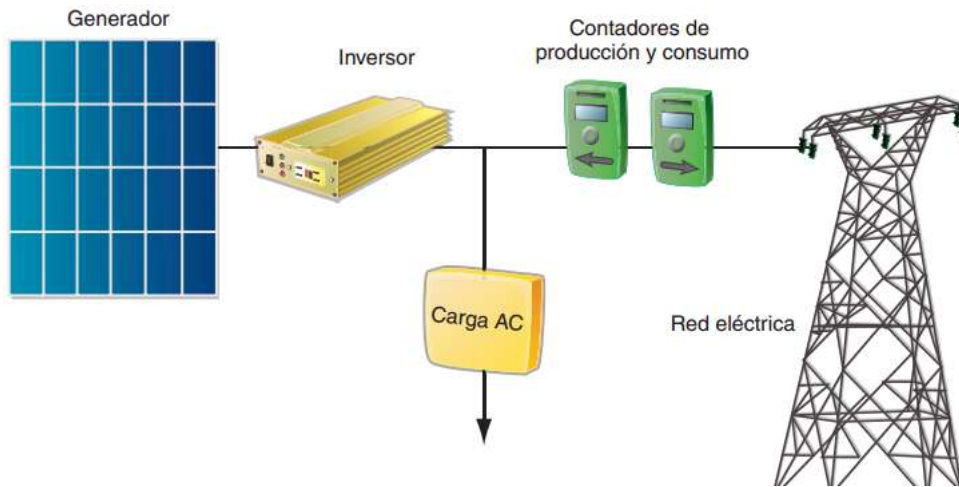


Fig. 3.7 Instalación fotovoltaica conectada a la red

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.

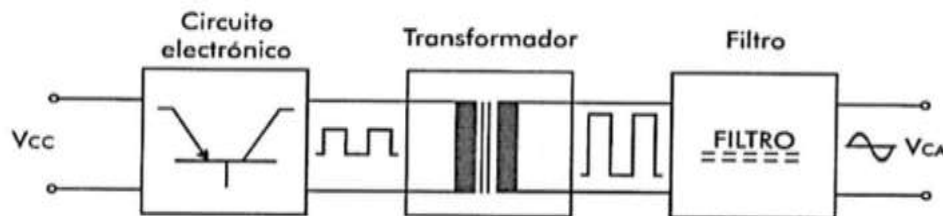


Fig. 3.8 Esquema de un convertidor CC/CA

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.

Inversores en instalaciones conectadas a red

Este equipo electrónico es el elemento central de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la de la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total. El inversor dispone de funciones de protección, para garantizar tanto la calidad de la electricidad vertida a la red como la seguridad de la propia instalación y de las personas. [11]

Los parámetros que determinan las características y prestaciones de un inversor son los siguientes:

- **Potencia:** determinara la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en condiciones óptimas. La gama de potencias en el mercado es enorme; sin embargo, para los sistemas domésticos existen de 50W o 400W hasta potencias de varios kilovatios. Muchos modelos están pensados para poder conectar en paralelo, a fin de permitir el crecimiento de la potencia de la instalación.
- **Fases:** normalmente, los inversores cuya potencia es inferior a 5W son monofásicos. Los mayores de 15W suelen ser trifásicos. Muchos modelos pueden acoplarse entre si para generar corriente trifásica.
- **Rendimiento energético:** debería ser alto en toda la gama de potencia a las que se trabajara. Los modulos actualmente en el mercado tienen un rendimiento medio situado en torno al 90%. El rendimiento del inversor es mayor cuanto mas próximos estamos a su potencia nominal y, con el fin de optimizar el balance energético, es primordial coincidir la potencia pico del campo fotovoltaico y la potencia nominal del inversor.
- **Protecciones:** el inversor debería incorporar algunas protecciones generales, que, como mínimo, serían las siguientes:
 - Interruptor automático: dispositivo de corte automático, sobre el cual actuaran los relés de mínima y máxima tensión que controlaran la fase de la red de distribución sobre la que está conectada el inversor. El rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión del a instalación fotovoltaica, será también automático una vez restablecido el servicio normal de la red.
 - Funcionamiento: el inversor debe contar con un dispositivo para evitar la posibilidad de funcionamiento cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido por debajo de un determinado umbral.
 - Limitador de la tensión máxima y mínima.

- Protección contra contactos directos.
- Protección contra sobrecarga.
- Protección contra cortocircuito.
- Bajos niveles de emisión e inmunidad de armónicos.

Es deseable que el estado del funcionamiento del inversor quede reflejado en indicadores luminosos o en una pantalla. También sería conveniente que el inversor ofreciera la posibilidad de ser monitorizado desde un ordenador. Si en la instalación se incluyen determinados sensores, puede adoptar datos de radiación, generación solar, energía transformada a corriente alternar, eficiencia, etc.

3.3 Cableado

La instalación fotovoltaica debe contar con un cableado de determinadas características. En general, los cables deben resistir a la iimterpetie, la posible acción de los roedores, etcétera. Además, deben contar con buenas características mecánicas. Se distinguen habitualmente en tres tipos diferentes de cableados: [13]

- Cableado de unión de los modulos para formar strings.
- Cableado principal de corriente que conduce la electricidad hasta el inversor.
- Cableado de corriente alterna desde el inversor hasta la red eléctrica.

Para los dos primeros tipos de cableado se emplean cables de un solo conductor, es decir, el polo negativo y el positivo deben ir juntos en le mismo cable. Por lo contrario, para el cableado de alterna se usan cables de tres conductores (fase, neutro y tierra) en los sistemas monofásicos y, los trifásicos, cables de cinco conductores (tres fases, neutro y tierra). Para potencias grandes (a partir de 50W), sin embargo, se suelen usar cables unifilares para cada fase y neutro. [13]

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, frio, 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. Cables diseñados específicamente para instalaciones fotovoltaicas.

3.4 Protecciones

Los sistemas fotovoltaicos 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, 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.

Interruptor automático: dispositivo de corte automático, sobre el cual actuaran los relés de mínima y máxima tensión que controlaran la fase de la red de

distribución sobre la que está conectada el inversor. El rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica, será también automático una vez restablecido el servicio normal de la red.

Limitador de la tensión máxima y mínima: Un limitador o recortador es un circuito que, mediante el uso de resistencias y diodos, permite eliminar tensiones que no nos interesen para que no lleguen a un determinado punto de un circuito. Mediante un limitador podemos conseguir que a un determinado circuito le lleguen únicamente tensiones positivas o solamente negativas, no obstante esto también puede hacerse con un sólo diodo formando un rectificador de media onda, de forma que nos vamos a centrar en un tipo de limitador que no permite que a un circuito lleguen tensiones que podrían ser perjudiciales para el mismo.

Protección contra sobrecarga: 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.

Protección contra cortocircuito: 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.

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.

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 (Σ) 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

Fig 3.10 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:

$$W = V \cdot I \quad (\text{ec.3.1})$$

Donde, corriente (I), es igual a:

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

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.

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

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

$$M.C.R = \frac{(ID)(Da)}{\text{(Máxima capacidad de descarga de batería)}} \quad (\text{ec. 3.5})$$

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).

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

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).

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

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

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

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 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 Diagnóstico del potencial solar

Considerando la capacidad energética del Sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van de los 4.4 kWh/m² por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m² por día en el norte del país. (Sener, 2006).

En Chiapas la radiación media diaria tiene un rango de 4.8 a 4.9 kWh/m², según Sener. Otros estudios estiman que Chiapas tiene un potencial importante para generar energía solar: la irradiación promedio es mayor a 5 kWh/m², llegando hasta 6.5 kWh/m² en algunas zonas como la costa del Estado.

Según algunos estudios de la Universidad Politécnica de Chiapas, los municipios más favorecidos por la radiación solar: Arriaga con 5.4 kWh/m², Tapachula y Tuxtla Gutiérrez, con 4.7 kWh/m².

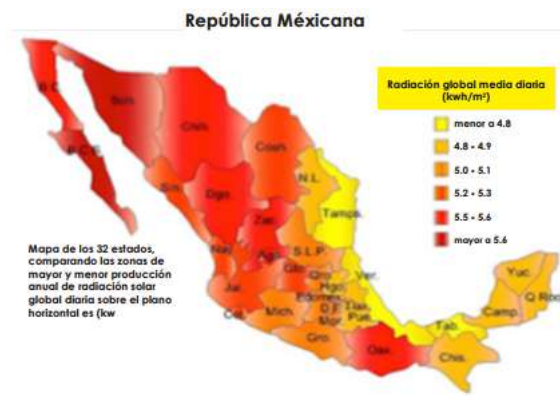


Fig 4 Niveles de radiación en Mexico

4.2 Diseño del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico se diseñó en función de la potencia requerida de los aparatos que operan con energía eléctrica en la vivienda, con lo cual se pretende el aprovechamiento óptimo de la energía producida por el sistema fotovoltaico. Como aspecto principal hay que tener en cuenta la disposición de los paneles fotovoltaicos con respecto al sol, por lo que se pretendió instalarlos en un lugar donde se aprovechara la mayor cantidad de radiación solar.

Para el lugar de instalación del sistema fotovoltaico fue en una casa particular aprovechando el techo de esta vivienda por encontrarse libre de sombras y por su fácil acceso al sistema, como para su mantenimiento.

4.3 Características específicas de la carga de la 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 como base para el dimensionamiento de la demanda energética.

Nombre de los equipos y cantidad	Potencial nominal(w)	Horas de uso	Consumo A/h al día	Consumo en watts al día
Televisión(1)	70	6	3.5	420W
DVD(1)	25	4	1.25	100W
Estereo(1)	75	6	2.5	450W
Licuadaora	500	30min	0.346	250W
Focos(2)	40	6	2	480W
Focos(3)	13	3	0.325	117W
			$\sum 10.571$	$\sum 1.827$

Fig 4.1 Tabla de elementos con lo que cuenta la vivienda

4.4 Calculo del sistema

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

$$M.C.R = \frac{(ID)(Da)}{(Maxima\ capacidad\ de\ descarga\ de\ la\ bateria)}$$

$$M.C.R = \frac{(10.571\ Ah/dia)(5)}{(0.7)} = \frac{52.825}{0.7} = 75.50A \quad (ec.4.1)$$

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

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

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

$$Npb \frac{Minima\ carga\ requerida}{Capacidad\ de\ la\ bateria} \quad (ec.4.3)$$

$$Npb \frac{75.50Ah}{225Ah} = 0.335 = 1$$

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

$$Ntb = Bp * Bs$$

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

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:

$$Nms = Tns / Tns$$

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

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.

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

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

4.5 Elaboración de la estructura

Para la elaboración de la estructura de nuestro diseño, se ocupó materiales que resistieran al viento, a la humedad y al sol.

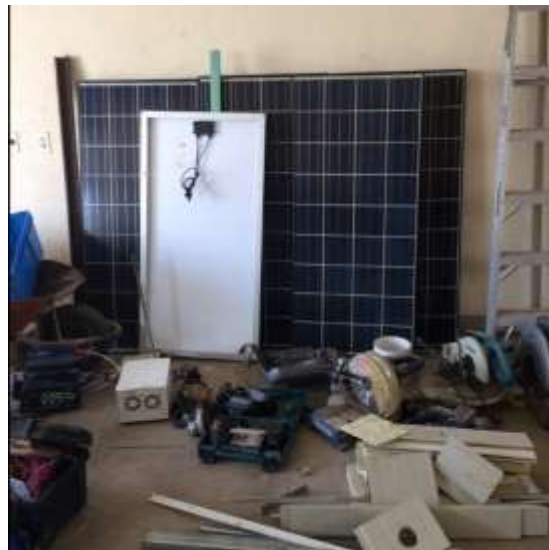


Fig 4.2 *Materiales para la estructura*

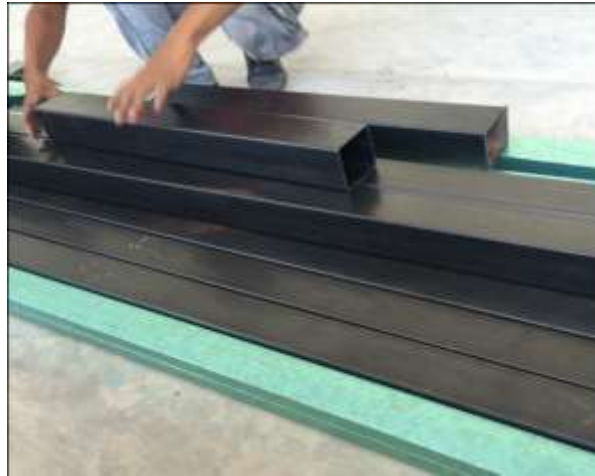


Fig 4.2.1 Material utilizado para la estructura



Fig 4.2.2 Elaboración de la estructura

4.6 Implementación del sistema fotovoltaico conectado a la red.

Después de hacer los cálculos para el sistema conectado a la red, se instaló todos los componentes para la electrificación de la vivienda. Este procedimiento llevo aproximadamente dos semanas, en la que se distribuyeron de la siguiente manera:

Los primeros 3 días se utilizaron para la inspección del lugar donde se iba a ubicar la central fotovoltaica así como el cálculo del sistema y el material que se iba a ocupar, los siguientes 4 días se utilizaron para la elaboración de la estructura que se iba a necesitar para la colocación de los paneles solares.

La última semana su utilizo para armar el sistema fotovoltaico conectado a la red.

4.7 Contrato con CFE

Ya que teníamos instalado el sistema fotovoltaico conectado a la red era necesario realizar un contrato de interconexión con CFE. La finalidad del contrato es que CFE reconzca el sistema fotovoltaico y te otorge un medidor bididerccional que registra tanto la energía consumidad en tu casa habitación como la energía generada por el sistema.

Unos de los requisitos más importantes es que la conexión del sistema solar debe hacerse a baja tensión. Además, en el caso de instalaciones residenciales, el sistema fotovoltaico no puede exceder los 10kW de potencia pico. Para servicio de uso general o sistemas comerciales, el sistema solar puede ser de hasta 30kW de potencia.

FORMATO 1
 SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN DE UN CLIENTE CON GENERACIÓN RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACIÓN EN PEQUEÑA O MEDIANA ESCALA.

Datos comerciales:
 Nombre del Cliente: _____
 Dirección: _____ Población: _____
 Estado: _____ R.P.U.: _____ Tarifa: _____

Datos de la Instalación Actual
 Voltaje que CFE suministra: _____
 KVA totales instalados: _____ Kw instalados _____ Kw contratados _____

Instalación Propuesta

- Indicar el tipo de Fuente de Energía para usar Solar Eólica BioGas
 Cogeneración Otro: _____
- Indicar el Número de unidades generadoras (paneles solares, hélices etc): _____ unidades
- Indicar la capacidad total en Watt de la Planta de Generación: _____ Watt
- Indicar la producción diaria promedio estimada de la planta de Generación: _____ Wh
- Indicar el modelo y marca del dispositivo CDICA: _____
- Indicar las protecciones que se proveen:
 Sobre Voltaje Sincronismo Anti-Isla
 Sub Voltaje Frecuencia Sobrecorriente
 Si. En caso de Media Tensión, indicar la marca y modelo de las protecciones incluidas: _____
- Indicar los documentos entregados a CFE:
 Convenio completamente llenado Copia del manual del fabricante del generador
 Copia del manual del fabricante del dispositivo CDICA Croquis de ubicación Geográfica.

Observaciones _____ Lugar y Fecha: _____
 Recibe: _____

Fig 4.2.1 Formato para el contrato con CFE

Capítulo V

5. Conclusión

El potencial para el uso de las energías renovables no ha sido explotado totalmente en nuestro país, sin embargo actualmente la sociedad reconoce la necesidad de promover el uso de las fuentes renovables de energía, como una medida prioritaria, ya que su desarrollo contribuye a la protección ambiental al evitar las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, además de contribuir en el desarrollo sostenible de la nación y a la creación local de empleos; por ello es necesario promover y favorecer la explotación de este mercado dentro del marco interno de la industria eléctrica.

En el caso particular de México, si bien la energía solar fotovoltaica no es barata comparada con el costo de la electricidad generada por fuentes convencionales de energía, si representa un medio para mejorar la calidad, además de los claros beneficios técnicos que nos ofrece como fuente de respaldo, ya que a pesar de su intermitencia, existen medios (baterías) para almacenar la energía producida para ser usada en caso de un desabasto por parte de la compañía que suministra el servicio eléctrico.

Y si además consideramos nuestra ubicación geográfica, al tener un alto índice de radiación solar, y con las medidas adecuadas de financiamiento estos proyectos son altamente rentables a largo plazo.

Con las nuevas leyes aprobadas para la interconexión de fuentes de generación distribuida a la red eléctrica, así como el Plan de Desarrollo Nacional, donde se favorece a las fuentes renovables como medida para disminuir los niveles de contaminación ambiental, se espera que estos proyectos empiecen a incrementar su inserción a la red, por ello uno de los objetivos de este trabajo es el presentar una metodología para el diseño de estos proyectos, para asegurar su correcta instalación, así como un estudio de los impactos en la red al incorporarse a la red eléctrica de distribución.

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 unas 330,000 veces a la de la Tierra. A su alrededor giran los planetas del sistema solar,

aunque el H_2O concentra el 99% de la masa del mismo. Su densidad es 1000 kg/m^3 . La temperatura de su superficie ronda los $6.000 \text{ }^\circ\text{C}$.

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 $1.559.280 \text{ TWh}$ 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 $935,5 \text{ TWh}$) 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.

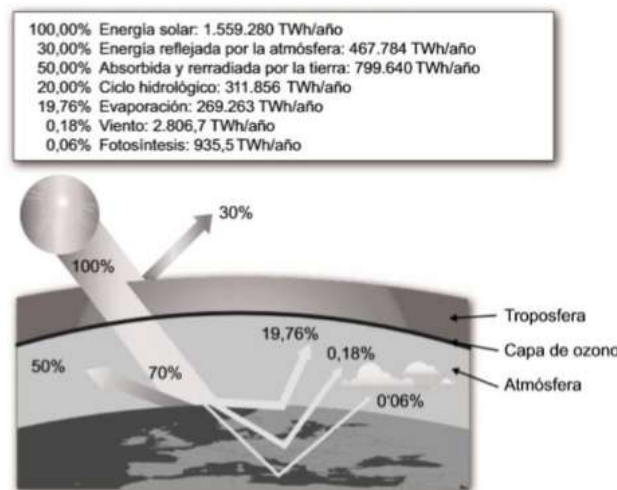


Fig. Anexos A1 Distribución de la energía solar incidente en la Tierra

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

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

Dónde:

E= energía de los fotones.

h = constante de Planck, que equivale a $6,625 \cdot 10^{-24} \text{ Js}$.

ν = 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 (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas se relacionan mediante la expresión:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

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 (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 1 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.

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 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 $1,496 \cdot 10^8 \text{ km}$ 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 atmósfera, 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 atmósfera.

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 atmósfera. 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 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 atmósfera, cuando el Sol forma un ángulo 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 atmósfera 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).

$$I_{total} = I_{directa} + I_{difusa} + I_{albedo} \quad (ec.A.12)$$

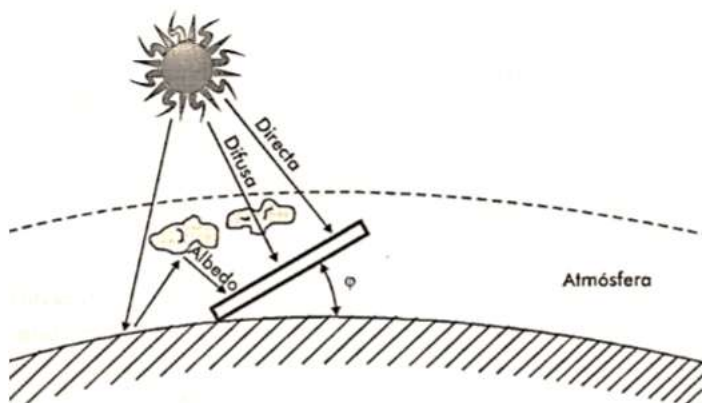


Fig. Anexo A2 Clasificación de la luz solar incidente sobre una superficie.

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.

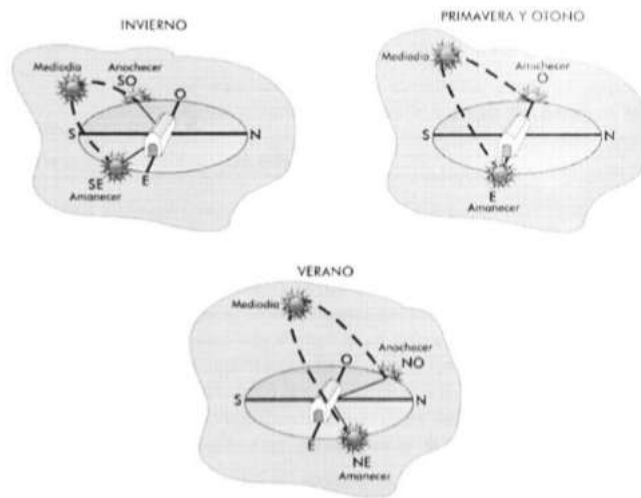


Fig. Anexo A3 Trayectoria solar en diferentes estaciones del año.

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°) 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

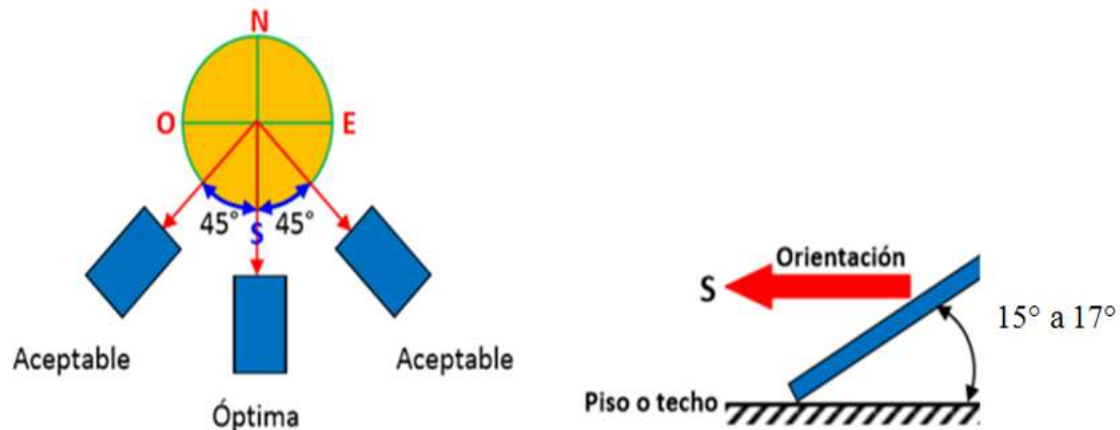


Fig. Anexo A4 Ángulo de inclinación y orientación óptima para máxima producción anual en invierno y verano.

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.

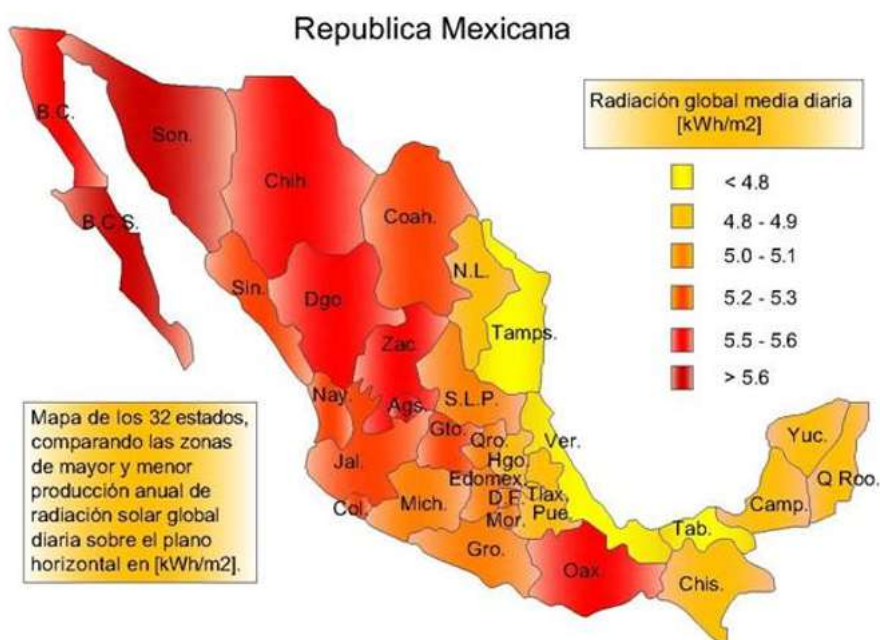
Horas pico solar.- Es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Corresponde al número de horas en las que cada metro cuadrado de la superficie captadora, obtiene de modo constante 1000 W de energía. Los módulos se caracterizan bajo condiciones determinadas tomadas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

1 kW/ 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 (W/m²). Para expresar la cantidad de energía recibida se usa kilowatt hora por metro cuadrado por día (kWh/ m²/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 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° de horas pico, dado que no todas las horas del sol son horas de intensidad consideradas como pico (1.000 W/m^2). El número de horas pico concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día entre 1.000 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 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 Meteorológico 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

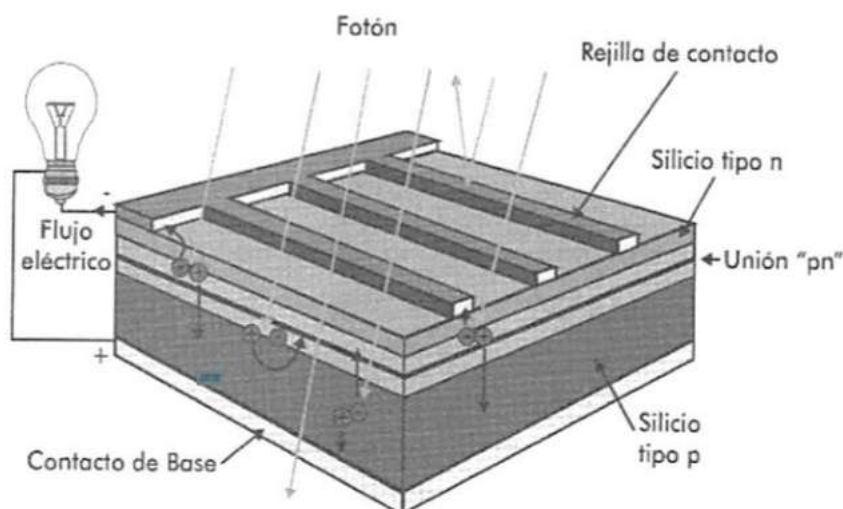


Fig. Anexo A6 Conversión fotovoltaica de la energía solar.

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 (Ω).

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:

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

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:

$$E = P \cdot t$$

(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 . 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 . 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°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 crecer 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.

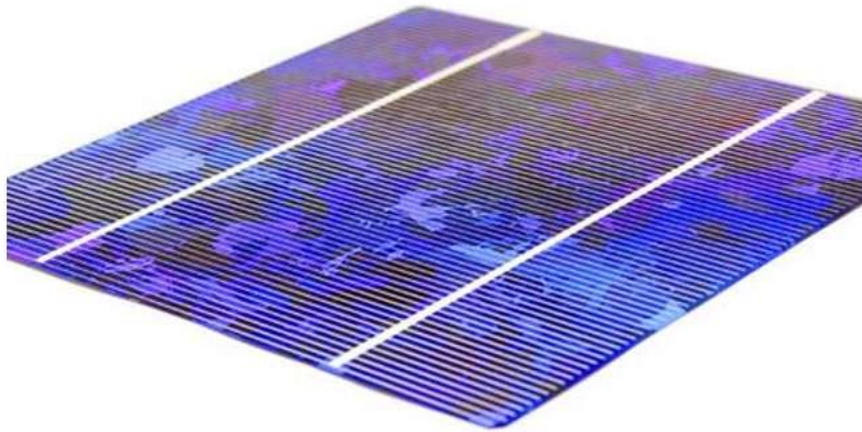


Fig. Anexo.A8 Célula de silicio policristalino.

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 (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° aproximadamente a partir del centro del Sol.

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 2π 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.

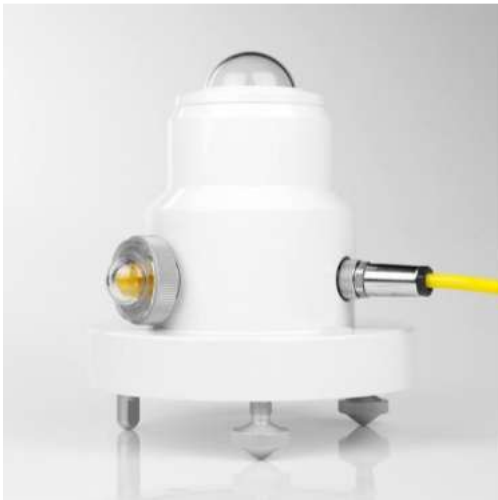


Fig. Anexo A.11 Piranómetro Kipp-Zonen

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)

Bibliografía

- [1] Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, SENER, 2006
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Pérez E.J.; 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.

[10] Manual Práctico de Instalación de SFV Interconectados de Pequeña Escala.
Marzo 2015

[11] <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

[12] <http://www.cre.gob.mx/documento/1528.pdf>

[13] Instalaciones solares fotovoltaicas, Miguel Moro Vallina