



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED ELÉCTRICA

(Análisis, metodología y Recomendaciones para el montaje de una instalación fotovoltaica interconectada a la red en la zona de "Tierra Caliente" Edo. De Guerrero, México.)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO
MECÁNICO**

PRESENTA:

JUAN DANIEL VALENZUELA GONZÁLEZ

Director de Tesis: Dr. José Luis Fernández Zayas.

México, Ciudad Universitaria Junio 2013





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la UNAM

Por brindarme las mejores instalaciones, los mejores profesores, la mejor educación.

Me diste experiencias, alegrías y conciencia en mi vida.

A ti te debo lo que soy y seré...

A la Facultad de Ingeniería

Siempre me ofreciste conocimientos, estimulaste mi ingenio y creatividad, con el propósito de contribuir en el desarrollo de mi país. Me diste todos los fundamentos para hacerlo.

Gracias.

Nunca fui bueno para expresar mi sentir, por esa razón, les brindo estas palabras que siempre me hacen pensar en ustedes:

A mi padre.

Recorrimos tantas veces,
caminos y más caminos...

Él me enseñó a trabajar,
él me enseñó a ser decente,
él me enseñó el buen camino
y a vivir como la gente...

Fui el primero de sus hijos...
el que alegrara su hogar,
lo digo con mucho orgullo...

A mi madre

¡Maa! ¿Cómo sufriste conmigo...?
Hoy puedo decir que gracias a ti soy el Ing. Daniel Valenzuela.

Gracias por cuidarme, quererme y educarme,
porque piensas en mi cada vez que me voy
porque cuando no estoy, me esperas...
por preferir guiar mi camino y el de mis hermanos,
sacrificando tu éxito profesional, No cualquiera lo hace...
Gracias.

A mis hermanos

Christian y Karen

Por los juegos, alegrías, complicidades y corajes...
Siempre espere su nacimiento con emoción.
Gracias por existir...

Sandra

Te quiero por ser como eres...
porque como soy, tú me quieres...
y a ti te elegí,
porque te admiro como mujer... ¡Gracias por todo!

A ustedes que se han adelantado

Petrona López (Abuela) †

Abuela no se preocupe... que en mi cuello cuelga la virgen de la Guadalupe.

José Ignacio López †

Lorena Cansino †

A mis amigos

Finalmente a ustedes, la bandita, que me ha acompañado desde mi infancia hasta hoy
porque hemos vivido tantas experiencias a todos ustedes estos versos:

... me enseñan, me animan,
creen en mí, como yo en ustedes,
son mi mente, mi corazón, son mi sangre,
son mis ojos, son mis puños,
¡puros cabrones!, hay fuerza, hay mente...

Índice

I.	Índice de tablas	7
II.	Índice de figuras	8
III.	Introducción	12
IV.	Prologo	14
V.	Objetivo	15

CAPÍTULOS

Capítulo 1. Panorama de la energía eléctrica en México	16
1.1 La energía eléctrica en México.	
➤ Tarifas eléctricas.	
➤ Tarifas de servicio doméstico.	
➤ Tarifa DAC “Doméstica de alto consumo”	
1.2 Problemática de los combustibles fósiles en México.	
Capítulo 2. Energía solar	30
2.1 Significado del “Sol” en México.	
2.2 Radiación solar en México.	
2.3 Energía solar.	
Capítulo 3. Componentes de una instalación fotovoltaica.....	37
3.1 Historia de los paneles fotovoltaicos.	
3.2 Generación de energía solar fotovoltaica.	
3.3 Funcionamiento de las células solares o fotovoltaicas.	
3.4 Paneles solares.	
3.5 Estructuras para el soporte de los paneles solares.	
3.6 Inversor y medidor eléctrico bidireccional.	
3.7 Conexiones de paneles fotovoltaicos.	

Capítulo 4. Estudio del proyecto	58
4.1 Características principales del municipio de Coyuca de Catalán en la región denominada “Tierra Caliente” en el estado de Guerrero.	
4.2 Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para una casa en esta región.	
➤ Análisis de los módulos fotovoltaicos (MFV).	
➤ Análisis del área de instalación.	
➤ Estimación de la capacidad por requerimiento específico.	
➤ Estimación de la capacidad por disponibilidad de espacio.	
➤ Análisis del costo.	
➤ Estimación de la capacidad por limitación presupuestal.	
4.3 Selección del proveedor.	
4.4 Rentabilidad del proyecto.	
➤ Mantenimiento del panel solar.	
Capítulo 5. Medidas de seguridad	72
5.1 Causas que provocan el alto consumo.	
➤ Recomendaciones para tener una instalación eléctrica segura.	
5.2 Trámite de interconexión.	
5.3 Incentivos.	
Conclusiones	79
Bibliografía	80

Índice de tablas

Tabla 1.- Especificaciones de cada tarifa doméstica.

Tabla 1.1.- Costos por kWh de cada tarifa doméstica.

Tabla 1.2.- Limite de consumo para cambiar a la tarifa DAC.

Tabla 1.3.- Costos de la tarifa DAC para cada región.

Tabla 1.4.- Accidentes en PEMEX del 2001 a Mayo del 2011.

Tabla 1.5.- Datos estadísticos del derrame petrolero en el Golfo de México.

Tabla 1.6.- Principales accidentes en minas de carbón en México.

Tabla 2.- Promedio de Radiación Solar en las principales ciudades de México.

Tabla 2.1.- Los 10 principales países productores de energía solar fotovoltaica.

Tabla 3.- Clasificación de los mayores productores de módulos solares Fotovoltaicos.

Tabla 4.- Producción y consumo eléctrico en Coyuca de Catalán, Guerrero.

Tabla 4.1.- Comparación de las capacidades entre los módulos fotovoltaicos.

Tabla 4.2.- Áreas necesarias para la colocación de diversos módulos fotovoltaicos.

Tabla 4.3.- Distribución de paneles solares que podrían ser colocados en el proyecto.

Tabla 4.4.- Proveedores de paneles solares existentes cerca del proyecto.

Índice de figuras

Figura 1.- Porcentaje de consumo por sector de la electricidad generada.

Figura 1.1.- Porcentaje de producción de las centrales eléctricas.

Figura 1.2.- Mapa de la república mexicana dividida por sus regiones tarifarias.

Figura 1.3.- Explosión de dos ductos en la Balastra, Veracruz en el 2008.

Figura 1.4.- Derrame de crudo en Cunduacán, Tabasco en el 2004.

Figura 1.5.- Explosión del buque tanque “Quetzalcóatl” en el 2006.

Figura 1.6.- Explosión de plataforma del pozo Kab 101 en la Sonda de Campeche en el 2007.

Figura 1.7.- Explosión de ducto de PEMEX en San Martín Texmelucan, Puebla en el 2010.

Figura 1.8.- Hundimiento de la plataforma semi-sumergible *Júpiter* en el 2011.

Figura 1.9.- Ubicación del derrame en el Golfo de México.

Figura 1.10.- Derrame de petróleo en el Golfo de México.

Figura 1.11.- Quema del crudo, para contener el derrame.

Figura 1.12.- Fotos de mineros muertos en la explosión de la mina Pasta de Conchos, expuestas en un altar fuera de la mina, donde solo se rescataron dos cuerpos.

Figura 1.13.- Héctor Jiménez Coronado, coordinador de la Alianza Nacional Minero nacional del Sindicato Minero.

Figura 1.14.- El secretario del trabajo (Javier Lozano Alarcón) informando a familiares de las víctimas las escasas posibilidades de vida para los mineros del municipio de Sabinas, en el Edo. de Coahuila.

Figura 2.- Piedra del Sol o Calendario Azteca, Cultura Mexica.

Figura 2.1.- Pirámide del Sol, cultura teotihuacana.

Figura 2.2.- Tumba de Pakal, cultura Maya.

Figura 2.3.- Frisas de la Piedra del Sol que son usadas en las monedas mexicanas.

Figura 2.4.- Mapa geográfico de México.

Figura 2.5.- Mapa de radiación solar en México.

Figura 2.6.- Principales aplicaciones de la radiación solar.

Figura 3.- Heinrich Hertz.

Figura 3.1.- Procedimiento Czochralski

Figura 3.2.- Albert Einstein.

Figura 3.3.- Gerald Pearson, Daryl Chapin, y Calvin Fuller (izquierda a derecha), inventores del "Bell Solar Battery.

Figura 3.4.- Satélite "Vanguard I".

Figura 3.5.- Planta Fotovoltaica en Carrisa California, E.U. (Antes y Ahora).

Figura 3.6.- Principales países generadores de energía eléctrica con paneles fotovoltaicos.

Figura 3.7.- Centrales Generadoras, en construcción y en licitación.

Figura 3.8.- Modelo básico de generación de electricidad por medio de paneles solares.

Figura 3.9.- Los rayos solares le aportan energía a los átomos del Silicio, liberando electricidad

Figura 3.10.- Funcionamiento de una celda solar fotovoltaica.

Figura 3.11.- Proceso del Silicio desde su extracción hasta el modulo solar fotovoltaico.

Figura 3.12.- Célula Solar de Silicio Monocristalino, Policristalino y Amorfo.

Figura 3.13.- Célula Solar CIGS, Sulfato de Cadmio, Arseniuro de Galio y Sulfato de Cobre.

Figura 3.14.- Principales partes de un Panel Solar Fotovoltaica.

Figura 3.15.- Estructuras para la colocación de paneles solares.

Figura 3.16.- Orientación ideal para el mejor aprovechamiento de la radiación solar.

Figura 3.17.- Análisis de la ficha técnica de un inversor.

Figura 3.18.- Análisis de la ficha técnica de un inversor.

Figura 3.19.- Instalación fotovoltaico aislado.

Figura 3.20.- Conexión de un inversor en una instalación aislada a 12 v, que además de convertir CC a CA también carga las baterías del sistema.

Figura 3.21.- Instalación fotovoltaico interconectado a red.

Figura 3.22.- Medidor bidireccional proporcionado por CFE.

Figura 3.23.- Funcionamiento del medidor bidireccional.

Figura 3.24.- Paneles solares conectados en “Serie” incrementando así el Voltaje [v] a la salida.

Figura 3.25.- Paneles solares conectados en “Paralelo” incrementando así el Amperaje [A] a la salida.

Figura 3.26.- Paneles Solares conectados en “Serie/Paralelo” dando como resultado aumentar el Voltaje y el Amperaje en la salida.

Figura 3.27.- Conexiones de paneles fotovoltaicos a 12 y 24 [v] variando la intensidad de corriente.

Figura 3.28.- Conexiones de paneles fotovoltaicos a 36 y 40 [v] variando la intensidad de corriente.

Figura 4.- Las siete regiones geo-económicas del Estado de Guerrero.

Figura 4.1.- Características geográficas del Municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero, Mex.

Figura 4.2.- Radiación solar durante el día.

Figura 4.3.- Modelo de conexión de un sistema de módulos fotovoltaicos interconectado a la red.

Figura 4.4.- Posición del panel solar.

Figura 4.5.- Datos que conforman el recibo eléctrico.

Figura 4.6.- Montaje vertical u horizontal de los paneles solares.

Figura 4.7.- Distancia recomendada para maniobras y mantenimiento en los paneles solares.

Figura 4.8.- Vista aérea de la casa de estudio.

Figura 4.9.- Vista de la casa a estudio.

Figura 4.10.- Planos de la casa de estudio.

Figura 4.11.- Acomodo de módulos fotovoltaicos.

Figura 4.12.- Consumo eléctrico por la noche.

Figura 5.- Causas más comunes que provocan accidentes.

Figura 5.1.- Información básica de la medición neta.

Figura 5.2.- Ejemplo de depreciación acelerada de un sistema fotovoltaico.

Figura 5.3.- Requisitos para el financiamiento de fuentes de energía renovables.

Introducción.

La energía fotovoltaica podría ser la opción para generación de electricidad en hogares de la zona llamada “Tierra Caliente” en el Edo. de Guerrero, y reducir costos a campesinos de la región; además de impulsar el desarrollo e infraestructura en la zona.

Durante la historia de la humanidad, el hombre ha utilizado varias fuentes de energía para su desarrollo, hoy en día una de las más utilizadas es la derivada de los combustibles fósiles, la que ahora presenta una serie de problemas, ya que este es causa de la contaminación del aire, agua y tierra; cuando es extraído del subsuelo y en su proceso de transformación arroja grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera.

Por otro lado, en este ciclo no es posible obtener el control al 100% y siempre se está expuesto a grandes accidentes y pérdidas no solamente ambientales, también pérdidas humanas.

Para México, específicamente el petróleo es la principal fuente de insumos para generar combustible en los sectores de transporte e industria del país, además de ser la materia prima de productos como: telas, medicinas o variados objetos plásticos, al igual que es utilizado para generar energía eléctrica, en este último punto abundaremos, ya que, buena parte del petróleo es ocupada para la generación de energía eléctrica, cuando se podría hacer uso de otras fuentes tales como la eólica, biomasa, hidráulica, geotérmica, maremotriz, nuclear, pero principalmente la solar.

El sol es una masa de materia gaseosa caliente, que irradia a una temperatura efectiva de 5700°C, encontrándose a una distancia de 149,490,000 km de la tierra con una intensidad media de radiación medida fuera de la atmosfera en un plano normal de aproximadamente 2.26 kWh/m².

Por ejemplo, si se colectara la radiación solar que llega a la tierra en un día se podría solventar la energía eléctrica que consume el planeta en un año.

Por ubicación geográfica nuestro país se encuentra en una zona privilegiada en el planeta, la cual cuenta con una alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio, la zona norte del país es de los más soleados del mundo.

Como dato, en una escala del 0 al 10 kWh/m² por día, la zona de mayor cantidad de energía solar aprovechable en la República Mexicana es en el Estado de Sonora con un mayor promedio de irradiación solar durante todo el año con 6.0 kWh/m² por día comparada con la región de menor cantidad de energía solar aprovechable del país, en este caso, Orizaba y Jalapa en el Estado de Veracruz con 3.7 kWh/m² por día.

Para el estado de Guerrero, en la cual se enfoca la presente tesis específicamente en la región denominada como “Tierra Caliente”, cuenta con 5.0 kWh/m² por día, de irradiación solar promedio durante todo el año.

Por esta razón, puede ser aprovechada para nuestro beneficio por medio de paneles fotovoltaicos, lo cual hace que los fotones de la luz solar modifiquen los electrones hacia un estado de energía mayor, produciendo mayor cantidad de electricidad. Por ello la mayor ventaja de este tipo de generación eléctrica es, que el recurso se encuentra abundantemente, es gratuita e inagotable.

Lamentablemente, una de las desventajas actuales, se basa en una sola, el elevado costo, en la producción de energía, ya que en el caso de los campos solares, se necesita mucho terreno para colocar los paneles solares y una gran inversión para que valga la pena su producción, ya que la contaminación y el clima pueden afectar su efectividad, razón por lo cual los costos tienden a elevarse más.

En este caso, ¿es viable la instalación de colectores solares para la generación de energía eléctrica?, si tomamos en cuenta que en esta región elimina variables desfavorables como: espacio, contaminación, clima y haciendo el análisis minucioso, que se realizará en esta investigación quizás se lograrían reducir los costos y con ello, ser una solución energética para esta región.

Ya que en la zona de “Tierra Caliente” del Edo. de Guerrero cuenta con un relieve mayoritariamente plano, pues se encuentra aproximadamente entre los 200 y 300 m de altitud además de encontrarse dentro de la región hidrológica del río Balsas.

Las actividades que impulsan el desarrollo económico en esta región, se basan en la orfebrería y mayormente a la producción agropecuaria, pese a que la mayoría de su población carece de una base socioeconómica estable, sin una infraestructura sólida y rentable, esta actividad se practica en todo el territorio, se caracteriza fundamentalmente por su tipo de campesinos que proporcionan pequeñas producciones y de auto abasto, otra actividad es la venta de mano de obra barata, que expulsa a diversas regiones económicas del país o del extranjero (Estados Unidos), en suma, esta región está llena de contrastes geográficos pero también sociales, de riquezas naturales así como de pobreza.

Prologo

Es por ello el propósito de este trabajo, el de realizar una investigación con todos los aspectos que se deben tener en cuenta para la instalación de celdas fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica enfocada para una casa habitación en la zona de tierra caliente en el Edo. de Guerrero.

Haciendo un recorrido desde el funcionamiento de una instalación de este tipo, donde primero se analizarán los elementos externos a los que será expuesto este sistema, posteriormente elegiremos todos sus componentes, de manera que sean los de mejor calidad con el menor costo, buscando siempre ahorrar en lo más posible sin perder la calidad y eficiencia de la instalación.

Realizando también, un diseño en particular para el montaje que debe realizarse en la casa, calculando y proponiendo el área requerida para la cantidad de electricidad promedio que se requiera para dicha vivienda.

También se propondrá métodos de seguridad, así como protecciones que se requiera para el tipo de medio ambiente al que será expuesto, es por este motivo que también se incursionará en el estudio de la flora y la fauna para encontrar posibles problemas que pudieran surgir a causa de esta.

Una vez teniendo todos estos elementos claros, podremos concluir si es factible la instalación de este sistema, cumpliendo con el objetivo de minimizar costos.

Objetivo

Pensar en energía renovable que pueda ser aprovechada en beneficio del país, debemos pensar en paneles solares, ya que México cuenta con una posición geográfica ideal para una buena captación de energía solar.

Lamentablemente no ha sido explotada del todo en el país, algunas de las razones es por la desinformación que existe acerca del tema, así como la falta de iniciativa para explorar esta opción por “tener un alto costo”.

Por tal motivo se realiza esta investigación, la cual pretende acabar con los mitos que surgen alrededor del tema, para ello debemos examinar detalladamente el proceso que conlleva a tener una instalación de este tipo, de manera que el lector encuentre en esta tesis una guía en la cual pueda apoyarse en caso de tener la intención de montar un sistema como este en su casa.

Dando la pauta para definir los beneficios, así como las limitantes que surgen a raíz de la instalación de paneles solares.

Fue elegida la región del Edo. de Guerrero denominada “Tierra Caliente”, por el alto nivel de radiación con la que cuenta este territorio, ya que personalmente he visitado esta demarcación durante 25 años, observando que se mantiene una intensa radiación solar en las cuatro diferentes estaciones del año.

Además de contar con el conocimiento de diversos factores como: las condiciones climatológicas, flora y fauna del área, que en algún momento podrían beneficiar o perjudicar el montaje de este sistema de generación eléctrica.

Capítulo 1.

Panorama de la energía eléctrica en México.

1.1 La energía eléctrica en México

La energía eléctrica es fundamental para cubrir las necesidades básicas de la población; sin embargo, también se debe considerar que es un impulsor para el desarrollo socioeconómico de la gente; por ejemplo la electricidad simplifica el abastecimiento de agua, facilita las labores del hogar, provee de luz, además promueve el desarrollo de la infraestructura para generar nuevas fuentes de trabajo, ingreso y desarrollo.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), es la única empresa en México que se encarga de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en todo el territorio Mexicano, atendiendo aproximadamente a 25.3 millones de personas diarias, según datos de la propia CFE., esto equivale a 51,528.58 MW producidos hasta el mes de Junio del 2012, por 157 centrales eléctricas en todo el país.

Para el suministro de la energía eléctrica, los consumidores son divididos por sectores según su actividad como se muestra en la *Figura 1*, siendo el sector doméstico a quien más se provee de energía eléctrica.

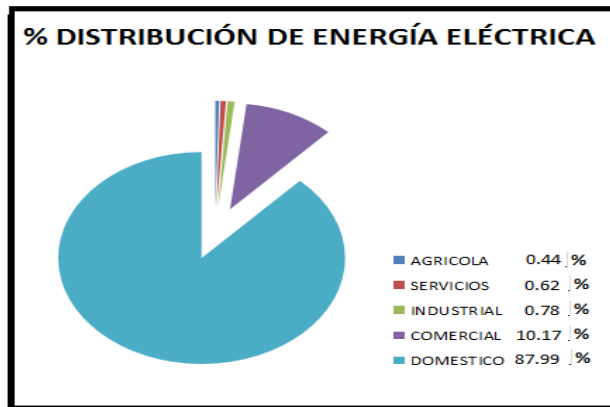


Figura 1.- Porcentaje de consumo por sector de la electricidad generada.
Fuente: CFE

Para la generación de energía eléctrica, en México se consume una gran cantidad de *Recursos no Renovables* (combustibles fósiles) tal como es mostrada en la *Figura 1.1*, donde podemos apreciar que la generación de energía limpia, no rebasa el 5% del total producida en el país, aun contando la nucleoelectrica, dejando de lado la gran discusión de seguridad que ha surgido, a raíz del accidente provocado por el Tsunami del 11 de Marzo del 2011 en la planta nuclear de Fukushima en Japón.

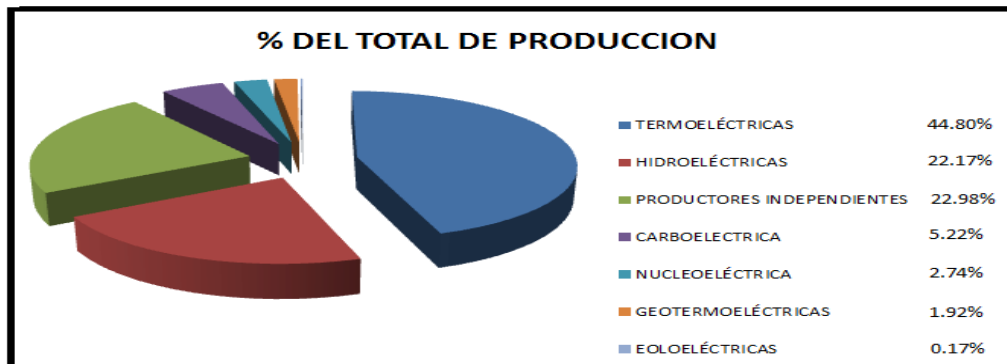
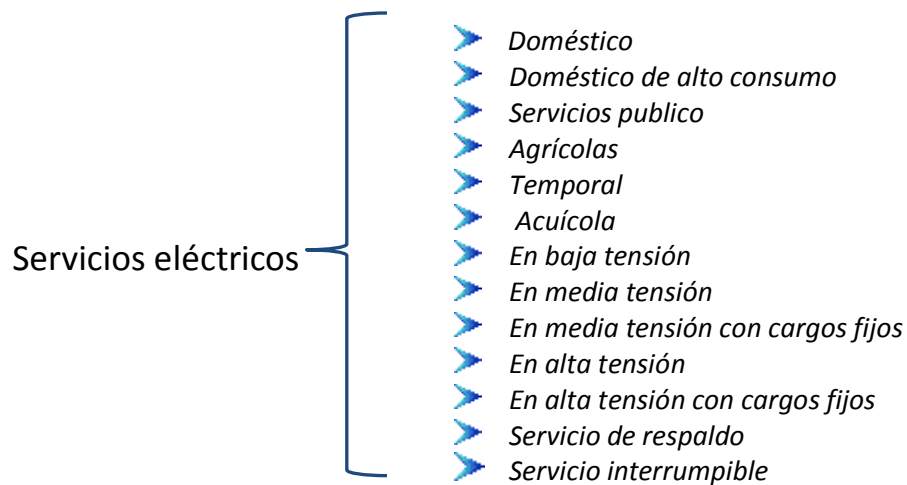


Figura 1.1.- Porcentaje de producción de las centrales eléctricas.
Fuente: CFE

Queda claro que la generación de electricidad por medio de las energías limpias no son muy aprovechadas por la CFE, a sabiendas que México cuenta con un gran potencial energético a nivel mundial en este ramo, el cual daría como resultado, bajar el costo de la electricidad en el país, contando así con un mayor desarrollo tecnológico y convertirse en un exportador de electricidad, pero sobre todo disminuiría el consumo interno de combustible fósil, aumentando el tiempo de vida en las reservas petroleras y así disponer de ese energético para otros usos.

Tarifas eléctricas

Las tarifas de la energía eléctrica, son las disposiciones específicas que contienen las condiciones y cuotas que rigen para los suministros de energía eléctrica, estos son agrupados por la clase del servicio al que mejor se adecúen.



Debido a los diversos climas, regiones, horarios de demandas, voltajes de transmisión, distancia desde subestaciones y plantas de generación, etc., las tarifas a través de todo nuestro país varían dependiendo de las características propias de cada zona. Por tal fin, se han establecido ocho regiones tarifarias.

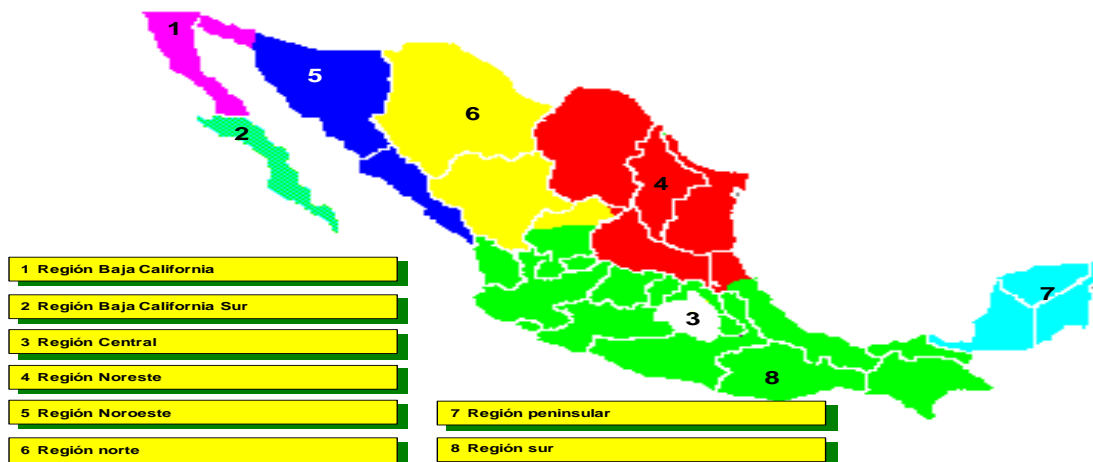


Figura 1.2.- Mapa de la república mexicana dividida por sus regiones tarifarias.

Fuente: CFE

Tarifas de servicio doméstico.

Esta tarifa se aplica a todos los servicios que destinen la energía eléctrica para uso únicamente doméstico conectado individualmente a cada residencia, apartamento, condominios o viviendas pudiendo suministrarse en 1,2 y 3 hilos de corriente. Como se observa en la *Tabla 1* existen ocho diferentes tarifas domésticas que se aplican de acuerdo a las características de cada usuario o región del país.

Tarifa específica		
Servicio	Tarifa	Utilidad
Doméstica	1	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> .
	1A	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> , en localidades <i>cuya temperatura media mensual en verano sea de 25 grados como mínimo</i> .
	1B	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> , en localidades <i>cuya temperatura media mensual en verano sea de 28 grados como mínimo</i> .
	1C	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> , en localidades <i>cuya temperatura media mensual en verano sea de 30 grados como mínimo</i> .
	1D	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> , en localidades <i>cuya temperatura media mensual en verano sea de 31 grados como mínimo</i> .
	1E	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> , en localidades <i>cuya temperatura media mensual en verano sea de 32 grados como mínimo</i> .
	1F	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente <i>para uso doméstico</i> , para cargas <i>que no sean considerados de alto consumo</i> , en localidades <i>cuya temperatura media mensual en verano sea de 33 grados como mínimo</i> .
Doméstico de alto consumo	DAC	Esta tarifa se aplica si la energía se destina exclusivamente para uso doméstico, considerada de alto consumo

Tabla 1.- Especificaciones de cada tarifa doméstica.

Fuente: CFE

Como podemos observar en la *Tabla 1.1*, para cada tarifa existen tres tipos de costos: básico, intermedio y excedente.

Por ejemplo, para la tarifa 1, por cada uno de los primeros 75 kWh consumidos el costo será de \$ 0.771 (consumo básico) para los siguientes 65 kWh consumido el costo será de \$ 0.942, es decir, a partir de kWh 76

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

hasta kWh 140 incrementa el costo (consumo intermedio). A partir del kWh 141 se aplica el “consumo excedente” que tiene un costo por cada kWh de \$ 2.754. Cada tarifa tiene sus propios costos y rangos de consumo básico, intermedio y excedente. Ahora bien, si el consumo doméstico suele ser constante dentro del “consumo excedente” puede llegar a ser reubicada a la tarifa DAC (Doméstico de Alto Consumo), la cual tiene sus propios costos en base a la región del país en la que este clasificada *Figura 1.2.*

Tarifa	Consumo	Costo de kWh para cada tarifa	
Tarifa 1:	Basico	\$0.771	por cada uno de los primeros 75 kWh
	Intermedio	\$0.942	por cada uno de los siguientes 65 kWh
	Excedente	\$2.754	por cada kWh adicional a los anteriores
Tarifa 1A:	Basico	\$0.665	por cada uno de los primeros 100 kWh
	Intermedio	\$0.998	por cada uno de los siguientes 50 kWh
	Excedente	\$2.646	por cada kWh adicional a los anteriores
Tarifa 1B:	Basico	\$0.665	por cada uno de los primeros 125 kWh
	Intermedio	\$0.998	por cada uno de los siguientes 75 kWh
	Excedente	\$2.646	por cada kWh adicional a los anteriores
Tarifa 1C:	Basico	\$0.665	por cada uno de los primeros 150 kWh
	Intermedio	\$0.998	por cada uno de los siguientes 300 kWh
	Excedente	\$2.646	por cada kWh adicional a los anteriores
Tarifa 1D:	Basico	\$0.665	por cada uno de los primeros 175 kWh
	Intermedio	\$0.998	por cada uno de los siguientes 425 kWh
	Excedente	\$2.646	por cada kWh adicional a los anteriores
Tarifa 1E:	Basico	\$0.547	por cada uno de los primeros 300 kWh
	Intermedio	\$0.897	por cada uno de los siguientes 600 kWh
	Excedente	\$2.646	por cada kWh adicional a los anteriores
Tarifa 1F:	Basico	\$0.547	por cada uno de los primeros 300 kWh
	Intermedio bajo	\$0.696	por cada uno de los siguientes 900 kWh
	Intermedio alto	\$1.665	por cada uno de los siguientes 1300 kWh
	Excedente	\$2.646	por cada kWh adicional a los anteriores

Tabla 1.1.- Costos por kWh de cada tarifa doméstica.
Fuente: CFE.

Tarifa DAC “Doméstica de alto consumo”

Esta tarifa afecta únicamente a clientes de uso doméstico cuando el usuario pasa de los límites establecidos por CFE, es decir, se considera “alto consumo”, cuando el consumo promedio bimestral registrado en los últimos 12 meses sea superior al límite de cualquiera de las tarifas domésticas que se observan en la *Tabla 1.2*, por lo que se le reclasificará en la “Tarifa DAC” (Doméstica de Alto Consumo).

Tarifa	Límite para ingresar a la tarifa DAC		
Tarifa 1:	250	(doscientos cincuenta)	KWh/mes.
Tarifa 1A:	300	(trescientos)	KWh/mes.
Tarifa 1B:	400	(cuatrocientos)	KWh/mes.
Tarifa 1C:	850	(ochocientos cincuenta)	KWh/mes.
Tarifa 1D:	1,000	(mil)	KWh/mes.
Tarifa 1E:	2,000	(dos mil)	KWh/mes.
Tarifa 1F:	2,500	(dos mil quinientos)	KWh/mes.

Tabla 1.2.- Límite de consumo para cambiar a la tarifa DAC.

Fuente: CFE

Los costos de la tarifa DAC varían según la región del país donde se encuentre el usuario conforme a la clasificación hecha por CFE *Figura 1.2*, en la *Tabla 1.3* podemos observar el elevado precio del kWh de tal forma podemos pensar que una instalación fotovoltaica interconectado a la red eléctrica podría reducir el consumo e incluso en ciertos casos proveer de toda la energía necesaria del usuario.

REGIÓN	PROMEDIO DE CUOTAS POR ENERGÍA CONSUMIDA EN VERANO 2012 (\$/kWh)	POMEDIO DE CUOTAS POR ENERGÍA CONSUMIDA FUERA DE VERANO 2012 (\$/kWh)	PROMEDIO DE CUOTAS MENSUALES 2012 (\$/kWh)
Baja California	3.57	3.072	.....
Baja California Sur	3.898	3.073	.....
Noroeste	.....	.....	3.444
Norte y Noreste	.....	.....	3.356
Sur y Peninsular	.....	.....	3.413
Central	.....	.....	3.68

Tabla 1.3.- Costos de la tarifa DAC para cada región.

Fuente: CFE.

1.2 Problemática de los combustibles fósiles en México.

México, ha dependido siempre tanto para su desarrollo económico y estructural, del petróleo y del carbón, a sabiendas que estos dos recursos podrían acabarse en unas cuantas décadas, y con esto, llevar al país a un grave problema de escases del energético del cual será muy difícil salir, ya que esta visión podría presentarse en un futuro a mediano plazo.

Sin embargo el presente en el que vivimos no es muy alentador, pues caminamos sobre la cuerda floja del petróleo, donde la oscilación del precio del crudo en el mercado, nos ha llevado a una estabilidad económica momentánea, con el riesgo de que en cualquier momento pueda llevarnos a caer en una enorme crisis económica, superando aun las grandes recesiones, como las de 1982 y la de 1994 que han sido de las más fuertes y también las más recordadas por el país.¹

Pero no solo esto es lo que provoca la dependencia al petróleo, ya que últimamente han ocurrido una serie de eventos lamentables tanto para la extracción del crudo, como para la del carbón, minerales mayormente utilizados para la producción de electricidad en México.

En el ámbito petrolero, en lo que va del año 2000 al 2011 se han producido accidentes penosos que han puesto en la mira a PEMEX por su deficiente manejo en seguridad para sus trabajadores, como para el medio ambiente, como lo muestra la *Tabla 1.2²*, donde se destacan algunos accidentes que involucran a la paraestatal.

Sin dejar de lado, el mal manejo de los recursos económicos y energéticos, a estos factores hay que sumarle la incapacidad en el monitoreo y abandono de las instalaciones de distribución, dando pie a el robo, comúnmente llamado ordeña de oleoductos, finalizando con los desvíos de fondos de la empresa por parte de sus dirigentes.

¹ La vulnerabilidad financiera de México: Entonces y ahora.

Erwan Quintin y José Joaquín López

Economic Letter, Junio 2006

Federal Reserve Bank of Dallas

http://dallasfed.org/entrada/articles/2006/sp_el0606.html

² **Datos de 2001 al 2010 - Ciudad de México | Domingo 19 de diciembre de 2010 Redacción | El Universal**

<http://www.eluniversal.com.mx/notas/731669.html>

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

2001	21 de diciembre.	Una fuga de gasolina origina varias explosiones en la torre fraccionadora de la refinería "Miguel Hidalgo", en Tula, deja un saldo de un muerto y 13 obreros heridos.
2002	4 de enero.	Una explosión por una fuga de gas en la refinería "Miguel Hidalgo", deja nueve obreros intoxicados. El gobierno de Hidalgo exige se permita el ingreso de autoridades de Protección Civil para hacer una evaluación.
2003	5 de junio.	Al menos cinco personas mueren y 80 resultan con quemaduras de segundo y tercer grado por la explosión de dos ductos, uno de gas natural y otro de gasolina, en el lugar conocido como La Balastrea, cercano a Ciudad Mendoza, en Veracruz. <i>(Figura 1.3)</i>
2004	31 de diciembre.	Se registra un derrame de crudo en Cunduacán, Tabasco, en el oleoducto que transporta aceite crudo del área de trampas de la central de almacenamiento y bombeo de la terminal marítima de Dos Bocas. <i>(Figura 1.4)</i>
2005	8 de julio.	Dos personas muertas, 13 heridas, ocho viviendas destrozadas, 20 vehículos calcinados, la pérdida de una veintena de reses, más de 20 hectáreas de cultivos, árboles y pastizales quemados, así como la destrucción de uno de los puentes de la autopista Reforma-Dos Bocas, es la devastación que dejó la explosión de un gasoducto de 48 pulgadas de diámetro de Pemex.
2006	17 de octubre.	Ocho muertos, un desaparecido y 14 personas lesionadas con quemaduras, deja la explosión seguida de un incendio en el buque tanque "Quetzalcóatl", que se encontraba anclado en el muelle 6 de la Terminal Marítima de Pajaritos; autoridades navales se mantienen alerta ante el latente hundimiento de la embarcación. <i>(Figura 1.5)</i>
2007	23 de octubre	Más de 20 trabajadores muertos y dos trabajadores son reportados a la deriva en las aguas de la sonda de Campeche, como saldo de una fuga descontrolada de aceite y gas en el pozo Kab 101, golpeado por la plataforma petrolera Usumacinta. <i>(Figura 1.6)</i>

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

2008	10 de diciembre.	Al menos 45 accidentes y derrames de sustancias en instalaciones de Pemex se presentaron a lo largo del año en Veracruz. Hasta octubre, el registro que se tenía era de 45 accidentes o derrames en pozos, poliductos y oleoductos que atraviesan por municipios veracruzanos, según un informe oficial de Pemex
2009	17 de junio.	Se registra un estallido en la comunidad de Francisco J. Mújica, municipio de Cunduacán, a unos 20 kilómetros de Villahermosa, el cual deja un saldo de cinco personas heridas. Pemex informa que el siniestro se produjo en el tramo Trampas-Samaria II-Nudo Cárdenas, en el momento en que trabajadores de las compañías privadas Tajín Construcciones y MS de México, contratados por la paraestatal, realizaban trabajos de limpieza de hidrocarburos y saneamiento del área afectada por un derrame ocurrido el pasado 5 de junio
2010	9 de Diciembre	Estalla ducto de Pemex en San Martín Texmelucan. Una fuga de crudo y posterior incendio en el oleoducto Nuevo Teapa-Venta de Carpio, a la altura de la estación de Bombeo de San Martín Texmeluca, en el estado de Puebla, aproximadamente a 60 Km al oriente de la Ciudad de México. PEMEX, realizó el pago total de reparación de daños a 19 familias cuyas viviendas resultaron afectadas por el accidente, e indemnizaciones a los familiares de las 16 personas que perdieron la vida y a los 53 lesionados en dicha tragedia. ³ (Figura 1.7)
2011	12 de Abril	La plataforma semi-sumergible <i>Júpiter</i> se hundió parcialmente debido a una falla en la válvula de control del pontón de babor. Se desalojaron 638 personas, no se reportó lesionados. La plataforma almacena 2,075 barriles de diésel y 82 de turbosina, del cual no se presenta derrame. (Figura 1.8)

Tabla 1.4.- Accidentes en PEMEX del 2001 a Mayo del 2011

³ El economista, Domingo 15 de Mayo del 2011

<http://eleconomista.com.mx/sociedad/2011/01/05/pemex-paga-accidente-texmelucan>

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.



Figura 1.3.- Explosión de dos ductos en La Balastlera, Veracruz en el 2003.
Fuente: www.jornada.unam.mx



Figura 1.4.- Derrame de crudo en Cunduacán, Tabasco en el 2004.
Fuente: www.olmecadiario.info



Figura 1.5.- Explosión del buque tanque "Quetzalcóatl" en el 2006.
Fuente: www.jornada.unam.mx



Figura 1.6.- Explosión de plataforma del pozo Kab 101 en la Sonda de Campeche en el 2007.
Fuente: Campeche.com.mx



Figura 1.7.- Explosión de ducto de PEMEX en San Martín Texmelucan, Puebla en el 2010.
Fuente: SIPSE.com



Figura 1.8.- Hundimiento de la plataforma semi-sumergible Júpiter en el 2011.
Fuente: Diarioportal.com

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Pero no solo en México se sufre por accidentes como los anteriormente mencionados, tan solo el 22 de Abril del 2010, ocurrió el mayor desastre ambiental en el Golfo de México, al producirse un derrame de petróleo, irónicamente el mismo día en que se celebraba en el mundo entero el “Día de la Tierra”.

La tragedia comenzó luego de que la plataforma petrolera Deepwater Horizon, operada por la compañía British Petroleum, explotara dejando el pozo Mississippi Canyon 252, fuera de control. En el accidente murieron 11 personas.

Como consecuencia del derrame se obtuvieron las siguientes cifras, citadas en la *Tabla 1.3.*⁴

3,400 millones de litros	<i>Cantidad aproximada de petróleo vertida hasta el 11 de junio del 2010.</i>
40,000 a 60,000 barriles	<i>Cantidad de petróleo vertida diariamente al mar del Golfo de México.</i>
4,800 km²	<i>Zona cubierta por el petróleo derramado.</i>
400	<i>Número de especies amenazadas por el ecocidio (cocodrilos, venados, zorras, ballenas, atún, camarón, y diversas aves).</i>
12,000	<i>Empleos perdidos en Louisiana a causa del derrame ecológico.</i>
560 mdd	<i>Valor del pozo Deepwater Horizon.</i>
12,500 mdd	<i>Costo para limpiar el petróleo derramado.</i>
436,000 galones	<i>Cantidad de disolvente vertido para “limpiar” la zona.</i>

Tabla 1.3.- Datos estadísticos del derrame petrolero en el Golfo de México.

Fuente: Ecoesfera

⁴ **Consecuencias del derrame de petróleo en el Golfo de México: números y estadísticas, Ecoesfera. Publicación: 13/06/2010.**

<http://www.ecoesfera.com/2010/06/consecuencias-del-derrame-de-petroleo-en-el-golfo-de-mexico-numeros-y-estadisticas/>



Figura 1.9.- Ubicación del derrame en el Golfo de México.
Fuente: Venelogia



Figura 1.10.- Derrame de petróleo en el Golfo de México.
Fuente: Greenpeace



Figura 1.11.- Quema del crudo, para contener el derrame.
Fuente: Greenpeace

Sin embargo, no solo en la extracción de crudo existen estos problemas, también en la industria minera, sobre todo la de extracción de carbón en México, ha padecido por accidentes donde la principal pérdida ha sido la vida de los trabajadores que laboran en las minas. En la *Tabla 1.4* se hace el recuento de los dos principales accidentes ocurridos en minas de carbón en México que han llegado a marcar profundamente a la opinión pública.

2006	19 de Febrero	Sesenta y cinco mineros murieron durante un accidente en la mina Pasta de Conchos, en el estado de Coahuila. Se desconocen las causas que provocaron esta tragedia. Las minas eran operadas por el Grupo México, la más grande compañía minera del país. Los cuerpos nunca pudieron ser recuperados. ⁵ (Figura 1.12)
2011	3 de Mayo	Un estallido por acumulación de gas metano dentro de una mina de carbón en el municipio de Sabinas en el Edo. de Coahuila, causó la muerte de tres obreros; otros 11 quedaron atrapados, mientras un joven de 15 años de edad que laboraba en el yacimiento sufrió quemaduras en rostro y pecho, y el desprendimiento de un brazo. ⁶ (Figura 1.14)
	12 de Mayo	La Alianza Minera Nacional del Sindicato Minero advirtió sobre nuevos accidentes en los pozos mineros ubicados en la región carbonífera de Coahuila, debido a que carecen de tecnología para detectar la presencia de gases. En un comunicado expuso que decenas de esos pozos mineros continúan operando en la ilegalidad. Héctor Jiménez Coronado, coordinador de la Alianza Minera Nacional del Sindicato Minero, expuso que la Comisión Federal de Electricidad tiene la obligación de verificar que el carbón que adquiere no provenga de empresas privadas que operan ilegalmente. Puntualizó que de no haber un cambio radical en el proceso de producción y compra del mineral por parte de la CFE, ésta se mantendría como cómplice de los accidentes ocurridos en las minas de Coahuila, que de 1988 a la fecha, han provocado la muerte de 149 trabajadores. ⁷ (Figura 1.13)

Tabla 1.4.- Principales accidentes en minas de carbón en México.

⁵ Pasta de Conchos: la mina que se convirtió en cementerio,
CNN México, Jueves, 17 de febrero de 2011

<http://mexico.cnn.com/nacional/2011/02/17/pasta-de-conchos-la-mina-que-se-convirtio-en-cementerio>

⁶ Explosión en mina de Coahuila; 3 obreros muertos y 11 atrapados
La jornada, Miércoles 4 de mayo de 2011

<http://www.jornada.unam.mx/2011/05/04/index.php?section=estados&article=033n1est>

⁷ Alianza minera alerta sobre riesgo de más accidentes en pozos
La jornada, Viernes 13 de mayo de 2011

<http://www.jornada.unam.mx/2011/05/13/opinion/023n2pol>

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.



Figura 1.12.- Fotos de mineros muertos en la explosión de la mina Pasta de Conchos, expuestas en un altar fuera de la mina, donde solo se rescataron dos cuerpos.

Fuente: larepublica.com.uy



Figura 1.13.- Héctor Jiménez Coronado, coordinador de la Alianza Minera Nacional del Sindicato Minero. Fuente: <http://www.zocalo.com.mx>



Figura 1.14.- El secretario del trabajo (Javier Lozano Alarcón) informando a familiares de las víctimas las escasas posibilidades de vida para los mineros del municipio de Sabinas, en el Estado de Coahuila.

Fuente: Zocalo.com.mx

Es por esto, que una de las principales ventajas que puede aportar la generación de energía eléctrica por medio de la captación solar, es el mínimo índice de inseguridad en comparación con la extracción del energético en la industria petrolera y minera.

Obviamente un sistema de paneles solares, también tiene medidas de seguridad para evitar accidentes, las cuales se analizarán posteriormente en este documento; pero en el caso de llegar a ocurrir, no serían de la misma proporción como en los ejemplos anteriores, no obstante hasta ahora no se ha tenido la referencia de algún accidente de esta magnitud en un campo fotovoltaico, a nivel mundial, por lo que la energía solar puede considerarse como segura.

Capítulo 2. Energía solar

2.1 Significado del “Sol” en México.

A lo largo de la historia el Sol ha sido base fundamental de nuestra cultura desde sus inicios, el mexicano oía decir que había venido al mundo para dar su corazón y su sangre a "nuestra madre y nuestro padre: la Tierra y el Sol" (intonan intota tlaltecuhtli tonatiah); (Figura 2.1) Los astrónomos mesoamericanos colocaron al Sol en la más alta jerarquía del cielo, como el máximo dispensador de bienes a la Tierra y al hombre, desde los Olmecas “*Cultura Madre de Mesoamérica*” hasta la caída del imperio Mexica, el sol fue considerado un dios que se ha sacrificado, que ha querido morir para renacer eternamente, por esta razón los Mexicas se consideraban "el pueblo del Sol"; su deber consistía en hacer la guerra cósmica para dar al Sol su alimento. (Figura 2)



Figura 2.- Piedra del Sol o Calendario Azteca, Cultura Mexica.
Fuente: INAH

El calendario azteca, o piedra del Sol, es el monolito más antiguo que se conserva de la cultura Mexica. Se cree que fue esculpido alrededor del año 1479. Los pueblos del altiplano situaban, en su cosmogonía, la creación del Sol en Teotihuacán.



Figura 1.1.-Pirámide del Sol, cultura teotihuacana.
Fuente: INAH

Para los mayas, la cultura, la ciencia, la religión y el arte, están basados en su relación con el Sol, creían que sólo a través del Sol se podían comunicar con Hunab-Kú, el Dios que esta en todas partes. Hunab-Kú es un organismo gigantesco que nos contiene a todos en su interior.



Figura 2.2.- Tumba de Pakal, cultura Maya.
Fuente: INAH

Inclusive hasta el día de hoy el sol sigue siendo parte de la vida cotidiana del mexicano, el ejemplo más concreto lo podemos palpar en las monedas que desde 1993 circulan de mano en mano y que rescatan parte de los anillos que visten a este enorme monolito de piedra basáltica.



Figura 2.3.- Frisas de la Piedra del Sol que son usadas en las monedas mexicanas.
Fuente: Sinfoniafantastica

Siendo el Sol, para todas las culturas del mundo fuente principal de la vida, es natural que haya sido la figura central en casi todas las religiones o mitologías primitivas, desde el origen de la humanidad, se ha reconocido al Sol como una fuerza esencial y natural.

2.2 Radiación solar en México.

México se encuentra en la parte meridional de América del Norte, es el décimo cuarto país más extenso del mundo, se extiende entre los paralelos $14^{\circ} 32' 27''$ en la desembocadura del río Suchiate y el paralelo $32^{\circ} 43' 06''$ que pasa por la confluencia del río Gila con el Colorado; así mismo, está comprendido entre las longitudes $118^{\circ} 22' 00''$ y $86^{\circ} 42' 36''$ del Oeste de Greenwich, con una superficie cercana a 2 millones de km^2 , su población ronda los 112 millones de personas, según datos del censo realizado por el INEGI del 2010.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

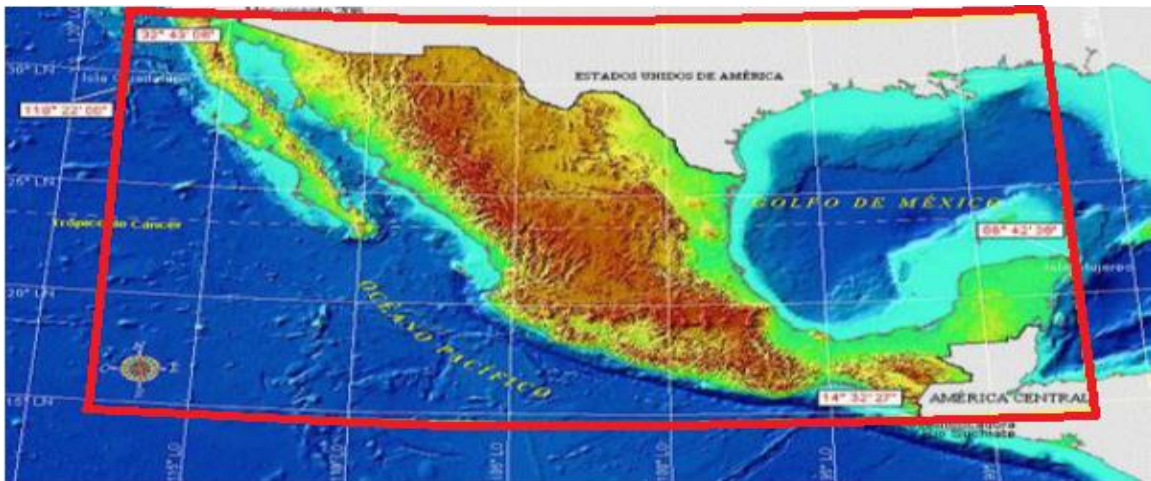


Figura 2.4.- Mapa geográfico de México

Fuente: INEGI

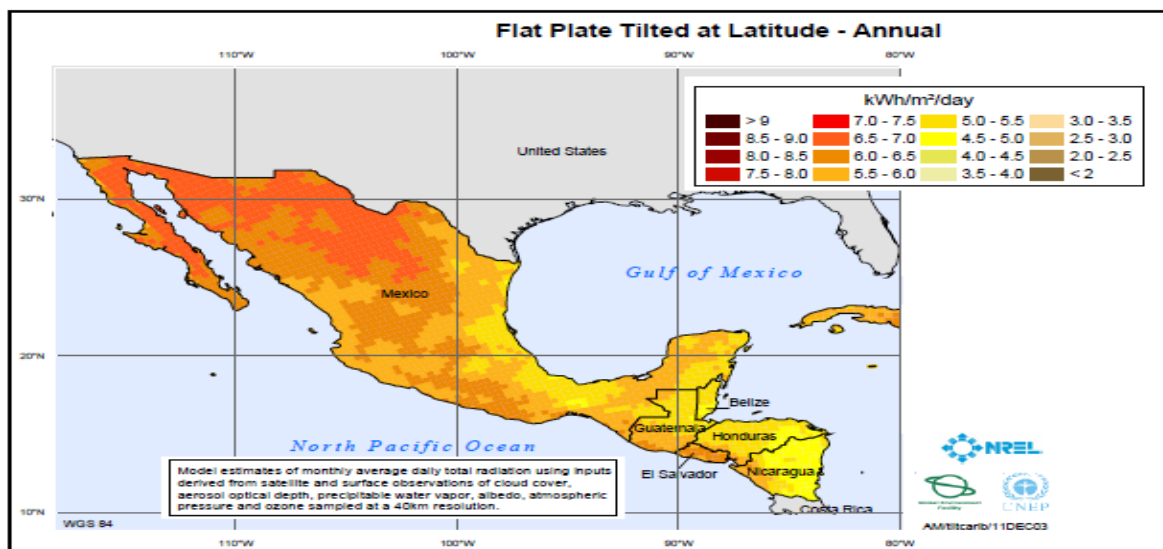


Figura 2.5.- Mapa de radiación solar en México.

Fuente: swera.unep.net

México es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio; incluso la zona norte es de las más soleadas del mundo, en promedio el territorio nacional recibe una irradiación solar de 5.0 kWh/m² por día en promedio anualmente.

El estado de Sonora recibe la mayor irradiación solar con un promedio anual de 6.0 kWh/m² por día, en contraste con la ciudad de Córdoba en el estado de Veracruz solo recibe 3.2 kWh/m² por día, como se puede observar en la *Tabla 2*.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Estado	Ciudad	Promedio de radiación solar anual [kWh/m2 por día]	Estado	Ciudad	Promedio de radiación solar anual [kWh/m2 por día]
Distrito Federal	Tacubaya	4.9	Nayarit	Tepic	4.8
Aguascalientes	Aguascalientes	5.6	Nuevo León	Monterrey	4.4
Baja California	Mexicali	5.5	Oaxaca	Salina Cruz	5.8
Baja California Sur	La Paz	5.7	Oaxaca	Oaxaca	5.3
Campeche	Campeche	4.7	Querétaro	Querétaro	5.9
Chiapas	Arriaga	5.4	Quintana Roo	Chetumal	4.7
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	4.7	Quintana Roo	Cozumel	4.7
Chihuahua	Chihuahua	5.9	San Luis Potosí	Rio Verde	4.7
Coahuila	Piedras Negras	4.5	San Luis Potosí	San Luis Potosí	5.4
Coahuila	Saltillo	4.8	Sinaloa	Mazatlán	4.9
Colima	Colima	4.9	Sinaloa	Culiacán	4.9
Durango	Durango	5.7	Sonora	Hermosillo	6
Guanajuato	Guanajuato	5.6	Sonora	Guaymas	6
Guerrero	Chilpancingo	4.7	Tabasco	Villahermosa	4.7
Guerrero	Acapulco	5.3	Tamaulipas	Soto la Marina	4.6
Guerrero	Cd. Altamirano	5.2	Tlaxcala	Tlaxcala	5.1
Hidalgo	Pachuca	5.4	Tamaulipas	Tampico	4.5
Jalisco	Ocotlán	5.9	Veracruz	Orizaba	4
Jalisco	Guadalajara	5.6	Veracruz	Córdoba	3.7
Estado de México	Toluca	4.8	Veracruz	Jalapa	4
Estado de México	Chapingo	5.1	Yucatán	Progreso	4.9
Michoacán	Morelia	4.9	Yucatán	Valladolid	4.7
Morelos	Cuernavaca	4.4	Zacatecas	Zacatecas	5.8

Tabla 2.- Promedio de Radiación Solar en las principales ciudades de México.

Fuente: SMN, Servicio Meteorológico Nacional.

Estas cifras muestran que es viable la “Energía Solar en México”; sin embargo el país no le ha apostado a la explotación de esta fuente de energía; si bien es cierto en los últimos años ha habido un crecimiento progresivo en la utilización de este recurso energético, sin embargo nuestro país se ha quedado rezagado en esta materia respecto a otros países, que han hecho de los sistemas Fotovoltaicos, base importante de su generación de energía eléctrica como podemos observar en la *Tabla 2.1*.

Puesto No.	País	Producción MW
1	Alemania	172000
2	España	3800
3	Japón	3600
4	Italia	3484
5	Estados Unidos	2528
6	Republica Checa	2000
7	Francia	1025
8	China	900
9	Bélgica	803
10	Corea del Sur	655

Tabla 2.1.- Los 10 principales países productores de energía solar fotovoltaica.

Fuente: CIE -UNAM

2.3 Energía Solar.

Las energías renovables son fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza y las cuales son inagotables, es decir, la capacidad de energía que suministra es infinita, o es capaz de regenerarse de forma natural. Mencionando algunas se encuentran: biomasa, maremotriz, geotérmica, eólica y solar, principalmente.

La importancia de su aprovechamiento es de suma importancia ya que estas pueden proveer la energía suficiente para satisfacer nuestras necesidades actuales y futuras. Otro punto favorable que nos ofrece esta generación de energía es el mínimo impacto que le provoca al medio ambiente, comparada con las fuentes de energía que se utilizan comúnmente como el petróleo, carbón mineral y el gas natural.

Por otro lado la utilización de las energías renovables ayuda de gran manera al desarrollo regional donde es aplicada.

Apoyándonos en los puntos anteriores, nos enfocaremos en la Energía Solar. El Sol es una estrella que emite luz y calor siendo este quien proporciona dicha energía a todos los planetas del sistema solar. La energía que recibimos del Sol nos llega en forma de radiaciones compuestas por microelementos energéticos llamados fotones. Se calcula que al Sol le quedan aún 5,000 millones de años de vida, por esta razón se puede decir que la energía que suministra es infinita.

Como sabemos la energía solar es la responsable de la vida en nuestro planeta, sin embargo solo el 47% de la energía llega a la superficie terrestre, el resto es obstruida por los gases que hay en la atmosfera de la tierra, en otras palabras recibimos 0.7 trillones de kWh, siendo 4,000 a 7,000 veces superior a la energía que consumen los seres humanos diariamente.



Figura 2.6.- Principales aplicaciones de la radiación solar.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Como se muestra en la *Figura 2.6*, esta energía puede ser aprovechada por el hombre, ya sea por:

- *Sistemas Fotovoltaicos: Los cuales funcionan a base de paneles solares que captan las radiaciones luminosas del sol y las transforman en corriente eléctrica:*⁸

O bien, por:

- *Sistemas Fototérmicos: Las cuales consiguen captar el calor del sol y emplearlo en la calefacción de casas y edificios, también es usada para el calentamiento de agua cubriendo las necesidades Industriales y domesticas:*⁹.

⁸ Curso de energía solar; Antonio Madrid Vicente; pp. 52

⁹ Curso de energía solar; Antonio Madrid Vicente; pp. 22

Capítulo 3. Componentes de una instalación fotovoltaica

3.1 Historia de los paneles fotovoltaicos

En 1887 Heinrich Hertz (*Figura 3*), en uno de sus experimentos observó,¹⁰ “que una chispa saltaba más fácilmente entre dos esferas de diferente potencial cuando sus superficies eran fuertemente iluminadas por la luz de otra descarga, y posteriormente comprobó que una lamina de zinc cargada negativamente y unida a un electroscopio perdía rápidamente su carga al ser iluminada por un arco voltaico; de todo esto Hertz dedujo que, bajo la acción de la luz, el zinc y en general todos los metales emiten cargas negativas.”



Figura 3.- Heinrich Hertz.

En 1902 Einstein (*Figura 3.2*) dio una interpretación teórica basado en la teoría de los cuantos o fotones.¹¹ “Las células fotoeléctricas son dispositivos basados en la acción de radiaciones luminosas sobre ciertas superficies metálicas.”

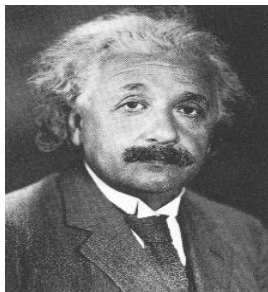


Figura 3.2.- Albert Einstein.

En 1951 es desarrollado un procedimiento que permitía fabricar monocristales de silicio de gran pureza llamada “Procedimiento Czochralski” (*Figura 3.1*) la fabricación en serie de este monocristal sería el elemento esencial de los paneles solares.

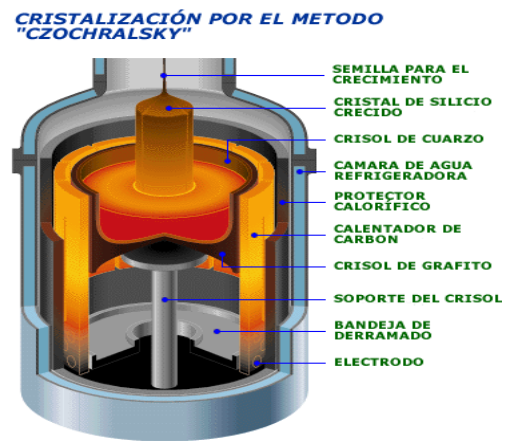


Figura 3.1.- Procedimiento Czochralski

En 1954 tres investigadores: Chapin, Fuller y Pearson, (*Figura 3.3*) de los laboratorios Bell desarrollaron la primera célula solar, la cual era capaz de convertir la luz del sol en energía eléctrica eficazmente; este hecho marcaría el inicio de la era “fotovoltaica”.



Figura 1.3.- Gerald Pearson, Daryl Chapin, y Calvin Fuller (izquierda a derecha), inventores del “Bell Solar Battery”. Fuente: NREL, The Silicon Cell; Tums 50, con permiso de AT&T Bell Labs

¹⁰ Instalaciones solares fotovoltaicas pag. 19

¹¹ Instalaciones solares fotovoltaicas pag. 19

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

En 1955, se inició la comercialización de las primeras células fotovoltaicas en un precio aproximado de \$1,800.00 USD el vatio, por su alto precio no se le pronosticaba un futuro fructífero para su uso.

En 1958, se incursionan los paneles solares en los satélites artificiales, siendo el “Vanguard I (Figura 3.4) quien utilizará las celdas solares para su alimentación eléctrica, teniendo gran éxito, y como consecuencia usadas en todos los satélites.

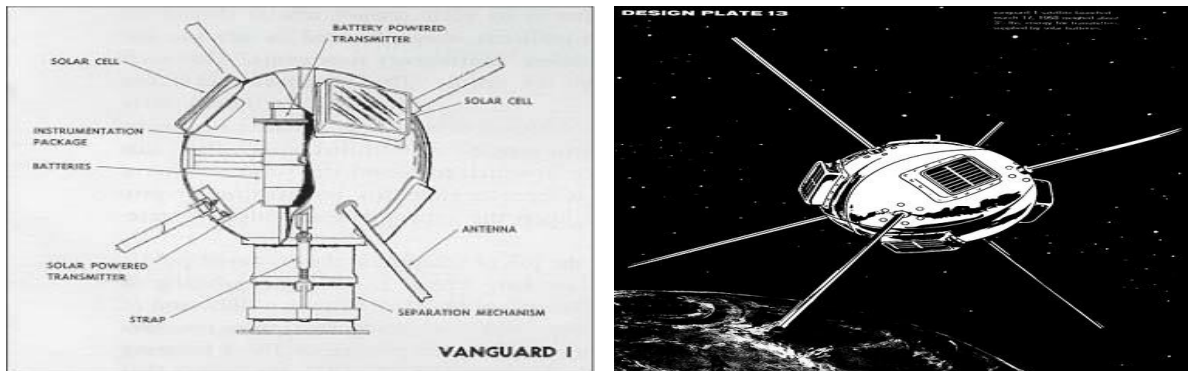


Figura 3.2.- Satélite “Vanguard I”

De esta forma fue desarrollándose esta tecnología, siendo las empresas Norteamericanas las primeras que empezaron a construir módulos y sistemas fotovoltaicos para aplicaciones espaciales.

En 1980, Bill Yerkes, Presidente de “Arco Solar”, fue la primera empresa en el mundo en llegar a fabricar un megavatio anual, cuando el consumo mundial era de dos megavatios, cifra que causaba escándalo en la industria fotovoltaica; ya que en la década de los 80's, se fueron encontrando nuevas aplicaciones que propiciaron el desarrollo fotovoltaico, por ejemplo:

- La utilización de módulos solares para el bombeo y distribución de agua
- Desalinización por osmosis inversa
- Electrificación rural
- Protección catódica
- Telemandos
- Radiocontrol, etc.

El desarrollo tecnológico de la “Energía Solar Fotovoltaica”, en gran parte fue a consecuencia indirectamente por la crisis del petróleo, la cual provocó que los países más industrializados voltearan a ver esta alternativa energética, la cual les otorgaba una cierta independencia a los altibajos políticos y económicos causados por el precio del petróleo.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

En 1982, fueron conectadas a red las primeras plantas fotovoltaicas en el Estado de California, EU, por medio de la empresa “Arco Solar”, una en la ciudad de Hesperia de 1MW de potencia y posteriormente en Carrisa de 6 MW (Figura 3.5).

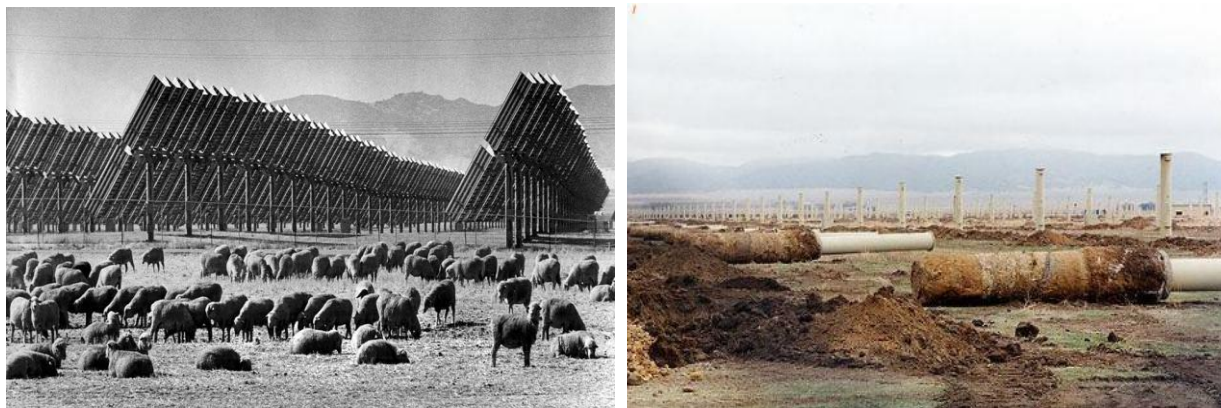


Figura 3. 3.- Planta Fotovoltaica en Carrisa California, E.U. (Antes y Ahora)

Fuente: The Tribune News

Actualmente en lo que va del año 2011, las 13 principales compañías productoras de módulos solares fotovoltaicos del mundo las podemos ver en la son los siguientes: (Tabla 3)

1°	<i>First Solar</i>	(E.U.A)	8°	<i>Gintech</i>	(Taiwán)
2°	<i>Sharp</i>	(Japón)	9°	<i>Hanwha Solar One</i>	(Korea del Sur)
3°	<i>Suntech</i>	(China)	10°	<i>Canadian Solar</i>	(Canadá)
4°	<i>Yingli Green Energy</i>	(China)	11°	<i>Sunpower</i>	(E.U.A.)
5°	<i>Trina Solar</i>	(China)	12°	<i>Renewable Energy Corporation.</i>	(Noruega)
6°	<i>JA Solar</i>	(China)	13°	<i>Solarworld</i>	(Alemania)
7°	<i>Motech</i>	(Taiwán)	14°	<i>Panasonic/Sanyo</i>	(Japón)

Tabla 3.- Clasificación de los mayores productores de módulos solares Fotovoltaicos.

Fuente: Alimarket

Es sorprendente observar como las empresas Asiáticas han desplazado el poderío de fabricantes de países Europeos como Alemania, España e Italia, que hasta hace unos 4 años fueron los mayores productores de celdas fotovoltaicas del mundo.

Sin embargo, como podemos observar en la *Figura 3.6*, la Unión Europea (EU), son los mayores consumidores de celdas solares, ya que son los países que generan energía eléctrica por este medio, generando 5.6 GW de los 7.2 GW en todo el planeta, siendo Alemania el primero, seguido de Italia y la Republica Checa.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

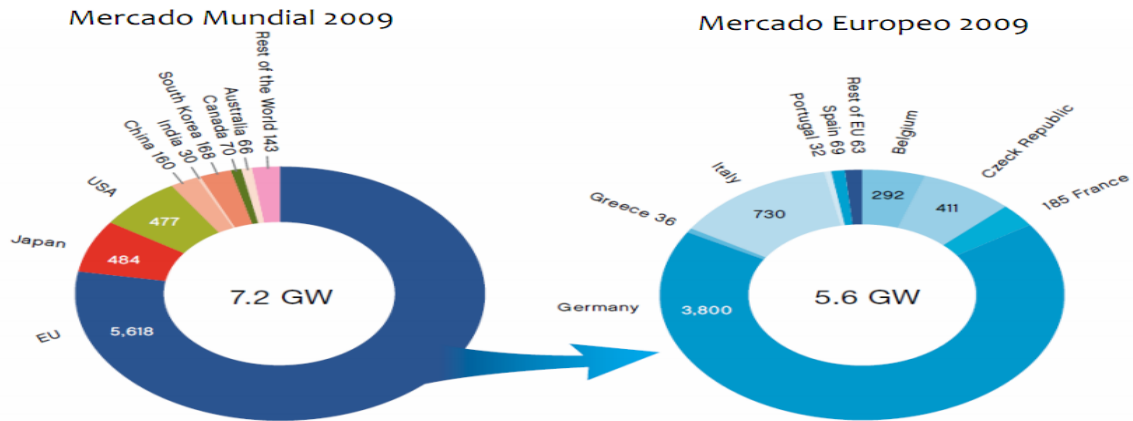


Figura 3.4.- Principales países generadores de energía eléctrica con paneles fotovoltaicos
Referencia: Greenergy

En la escena energética en México, durante el año 2010, se llevó a cabo la ampliación de la infraestructura eléctrica, donde solo se realizó la construcción de una planta de ciclo combinado, la cual en conjunto de *un campo solar* producirán 394 MW, el cual comenzará a entrar en operaciones el 6 de Abril 2013, en la que se están invirtiendo 252 MUSD; ¹²“en Mayo del 2011 comenzó a operar en la ciudad de Tijuana una nueva planta solar de la empresa Española Siliken SA. Con una capacidad productiva de 20 MW anuales, esta producción es destinada a Estados Unidos principalmente, México y Centroamérica”.



Figura 3.5.- Centrales Generadoras, en construcción y en licitación
Fuente: CFE. Informe anual 2010

¹² Photon, La revista de fotovoltaica, 07/2011

3.2 Generación de energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se produce por medio de “*paneles solares o fotovoltaicos*” (Figura 3.8), las cuales captan la radiación luminosa del sol y es transformada en energía eléctrica. Estos paneles se encuentran compuestos por “*células solares o fotovoltaicas*” las cuales son las responsables de transformar la energía luminosa en electricidad.

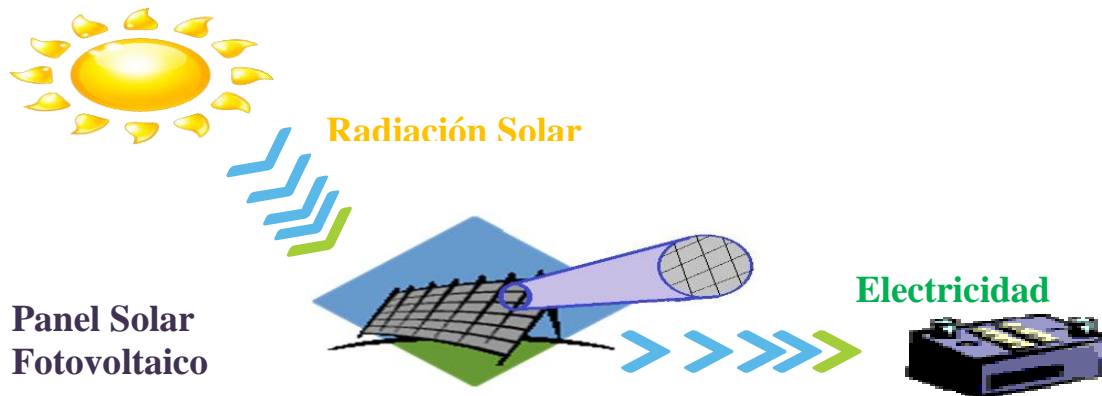


Figura 3. 6.- Modelo básico de generación de electricidad por medio de paneles solares

Para entender el funcionamiento de las células fotovoltaicas recordaremos conceptos básicos de electricidad:

- ⇒ *Material conductor*: Son materiales cuya resistencia al paso de la electricidad es muy baja; los mejores conductores eléctricos son los metales destacando: el cobre, hierro, aluminio y sus aleaciones, aunque existen otros materiales no metálicos que también poseen la propiedad de conducir la electricidad como: el grafito, disoluciones y soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) o cualquier material en estado de plasma.
- ⇒ *Material aislante*: Es el material que resiste el paso de la corriente a través del elemento que recubre y lo mantiene en su trayectoria a lo largo del conductor, por ejemplo: plástico, papel, madera, cerámicas, etc.

Pero también existen materiales llamados “*semiconductores*”, el cual es un elemento que se comporta como un conductor o como aislante dependiendo de diversos factores, como por ejemplo: el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre. En este caso, cuando estos materiales reciben energía luminosa pueden producir corrientes eléctricas.

Algunos materiales “*semiconductores*” son: el silicio (Si), el germanio (Ge), el selenio (Se) entre muchos otros. Como observamos en la *Figura 3.9* a un material semiconductor; en este caso Silicio, que se expone a los rayos solares, el cual se compone de fotones, le aportan energía a los electrones de los átomos de Silicio, liberándose, para llegar a formar una corriente de electrones, en otras palabras electricidad.

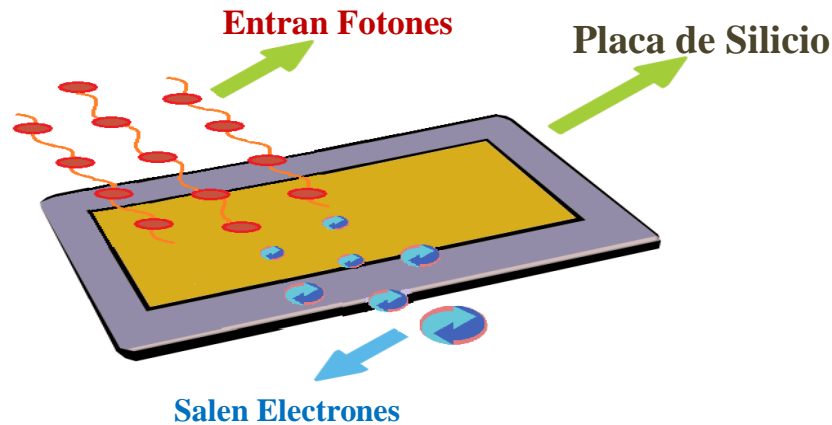


Figura 3.7.- Los rayos solares le aportan energía a los átomos del Silicio, liberando electricidad.

3.3 Funcionamiento de las células solares o fotovoltaicas.

Las "células fotovoltaicas" en su gran mayoría están hechas de silicio (Si); pero el Silicio en su estado puro no es muy fotoconductor, por esta razón se le "dopa" con átomos de fósforo el cual posee un excedente de 5 electrones en su capa externa produciendo carga negativa; a este material se le llama "tipo n"; posteriormente "se dopa" una segunda capa con Boro que tiene 3 electrones en su capa externa produciendo carga positiva.

Al estar en contacto estas dos zonas, se produce un diodo, ya que los electrones excedentes de la "capa n" son atraídos por las cargas positivas de la "capa p", dando origen a una corriente eléctrica.

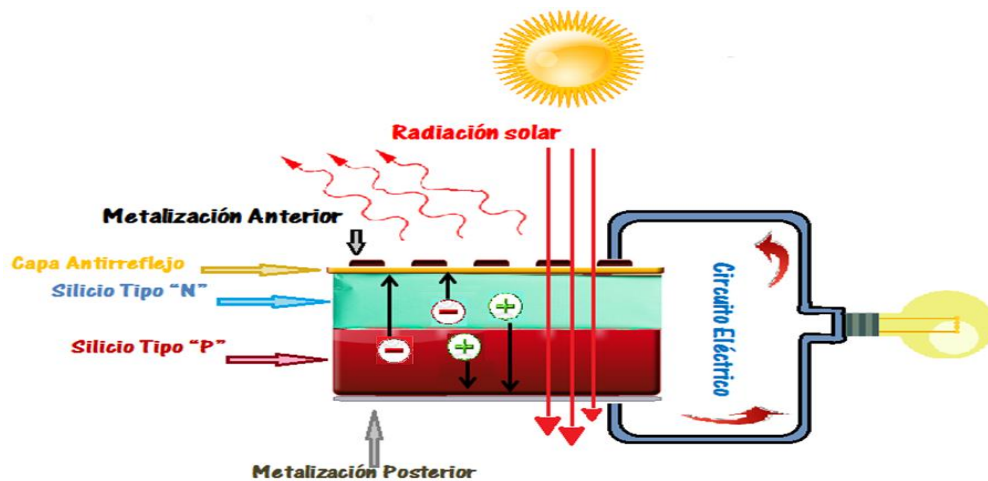


Figura 3. 8.- Funcionamiento de una celda solar fotovoltaica

Sin embargo la fabricación de las células fotovoltaicas resultan ser sumamente caras, además de que el rendimiento de las células fotovoltaicas de Silicio, oscila entre el 13% y el 25% (El rendimiento es la energía luminosa que realmente se transforma en electricidad).

Al ser muy pequeña la corriente que genera una célula fotovoltaica (1.1 a 1.7 V), son agrupadas de tal forma que se pueda conseguir una corriente mayor; al conjunto de células solares dan forma al llamado “Panel Solar Fotovoltaico”; esta corriente generada, es continua, por lo cual se necesitará posteriormente de un “inversor” el cual tendrá la función de transformar de corriente continua a una alterna.

El Silicio es el material más utilizado en la fabricación de células fotovoltaicas, abundante en la corteza terrestre, pero no de una forma pura, sino combinado con el Oxígeno, formando Oxido de Silicio (SiO_2); por esta razón al ser separados se obtienen distintos grados de pureza dando lugar a los siguientes:

◇ **Silicio Tipo Metalúrgico.** Se obtiene a partir de la Cuarzita, adecuado para usos industriales en la formación de algunas aleaciones, pero sin el suficiente grado de pureza para fabricar una célula fotovoltaica.

◇ **Silicio Tipo Solar.** Desarrollado especialmente para la industria especializada en la fabricación de Computadoras, a raíz del boom de la energía solar, es que la mayor parte de su producción es dirigida hacia esta área.

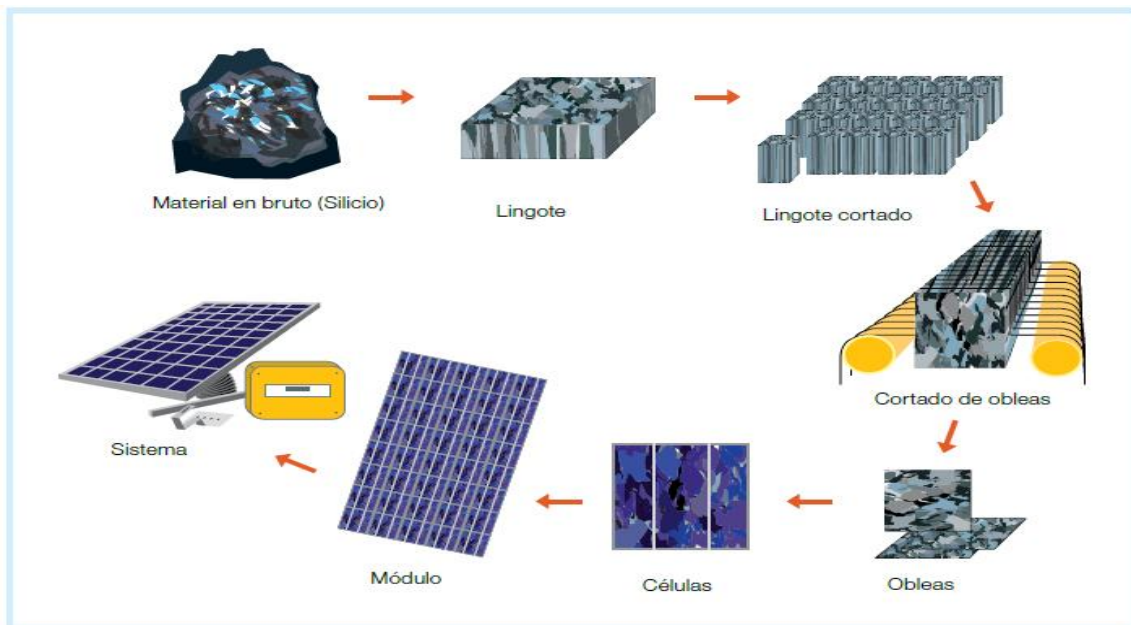


Figura 3.11.- Proceso del Silicio desde su extracción hasta el modulo solar fotovoltaico.

Ante la fuerte demanda de Silicio de tipo Solar, se produjo un alza importante a su precio; en cuanto a las formas comerciales de Silicio de tipo Solar, los más importantes son:

- Silicio Monocristalino: Fue el más usado en la mayoría de las células fotovoltaicas y el más caro.
- Silicio Policristalino: Tiene menor rendimiento que el silicio monocristalino por lo mismo es más barato; por ejemplo, una celda de 15 cm X 15 cm y 15% de eficiencia genera en su punto máximo alrededor de 3.4 watts. (Figura 3.12)

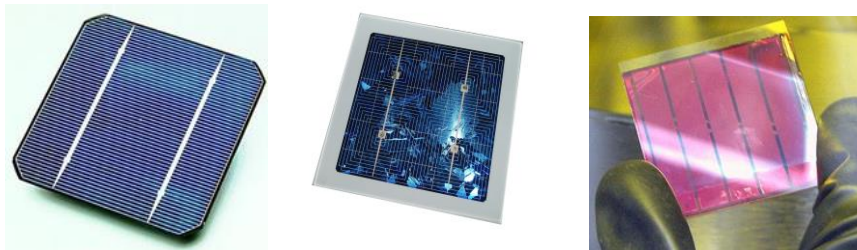


Figura 3.92.- Célula Solar de Silicio Monocristalino, Policristalino y Amorfo.
Fuentes: enrgiafotovoltaica.ws
alpe.wordpress.com

- Silicio amorfo: Es el más barato, por esta razón su rendimiento es el menor de los tres.

Otras células solares son las “células CIGS” hechas de Cobre, Indio, Galio y Diselenuro, las células de Sulfuro de Cadmio, Sulfuro de Cobre, de Arseniuro de Galio. En la actualidad algunos fabricantes garantizan sus módulos fotovoltaicos hasta por 25 años. (Figura 3.13)

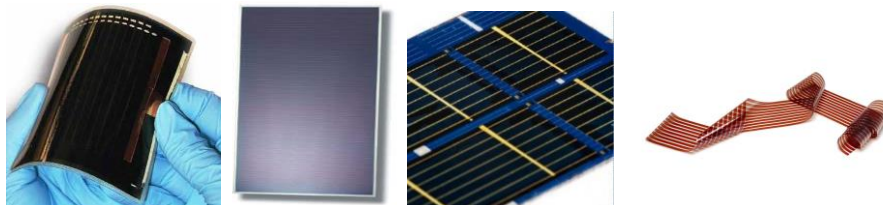


Figura 3.13.- Célula Solar CIGS, Sulfato de Cadmio, Arseniuro de Galio y Sulfato de Cobre.
Fuente: placa-solar.com

3.4 Paneles solares

Los paneles solares es el conjunto de las células solares conectadas en serie; para poder alcanzar un Voltaje establecido, es necesario unir las células fotovoltaicas de esta forma, las cuales son encapsuladas en plástico, vidrio transparente, etc.

En el siguiente diagrama (*Figura 3.14*) se especificaran algunas características típicas de los paneles solares.

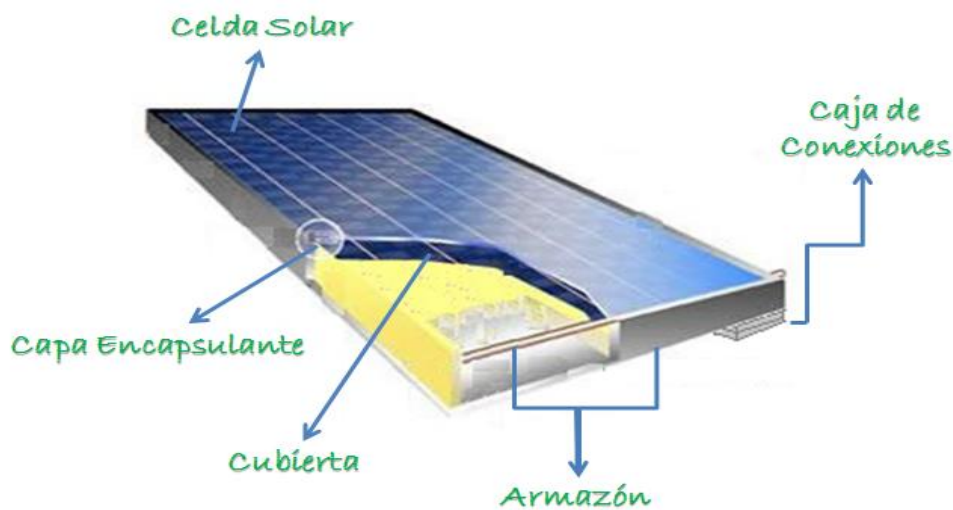


Figura 3.104.- Principales partes de un Panel Solar Fotovoltaica.

Armazón: Este suele ser resistente y a su vez ligero, regularmente es utilizado el aluminio con resinas para mantenerlo hermético.

Cubierta: El material que se utilice debe ser resistente a impactos, transparente para dejar pasar las radiaciones del sol, generalmente suele usarse el cristal templado.

Caja de Conexiones: Es donde podemos encontrar los contactos eléctricos de salida con los cuales podemos, ya sea recolectar la energía eléctrica o bien hacer la conexión con algún otro panel solar.

Celda Solar: Dispositivo hecho de silicio encargado de convertir la energía lumínica del sol en electricidad.

Capa Encapsulante: Son las encargadas de proteger las células solares y los contactos de interconexión; deben presentar sobre todo una excelente transmisión a la radiación solar, así como la nula degradación frente a las radiaciones ultravioletas, ya que si no podría disminuir el rendimiento del modulo.

3.5 Estructuras para el soporte de los paneles solares.

Podría parecer que los soportes donde se pondrán los paneles solares podrían no ser tan importantes, pero en realidad su función es de suma importancia, ya que también proporciona la orientación y el ángulo de inclinación necesario para el mejor aprovechamiento de la radiación; además de la forma de su diseño depende la resistencia de los paneles a soportar los elementos atmosféricos de la zona; por ejemplo el efecto del viento sobre los módulos solares, asimismo se debe tener cuidado con la nieve, lluvia (afectan la forma de soporte de sustentación), heladas y cercanía con las costas, (afectan el tipo de materiales empleados en su estructura).

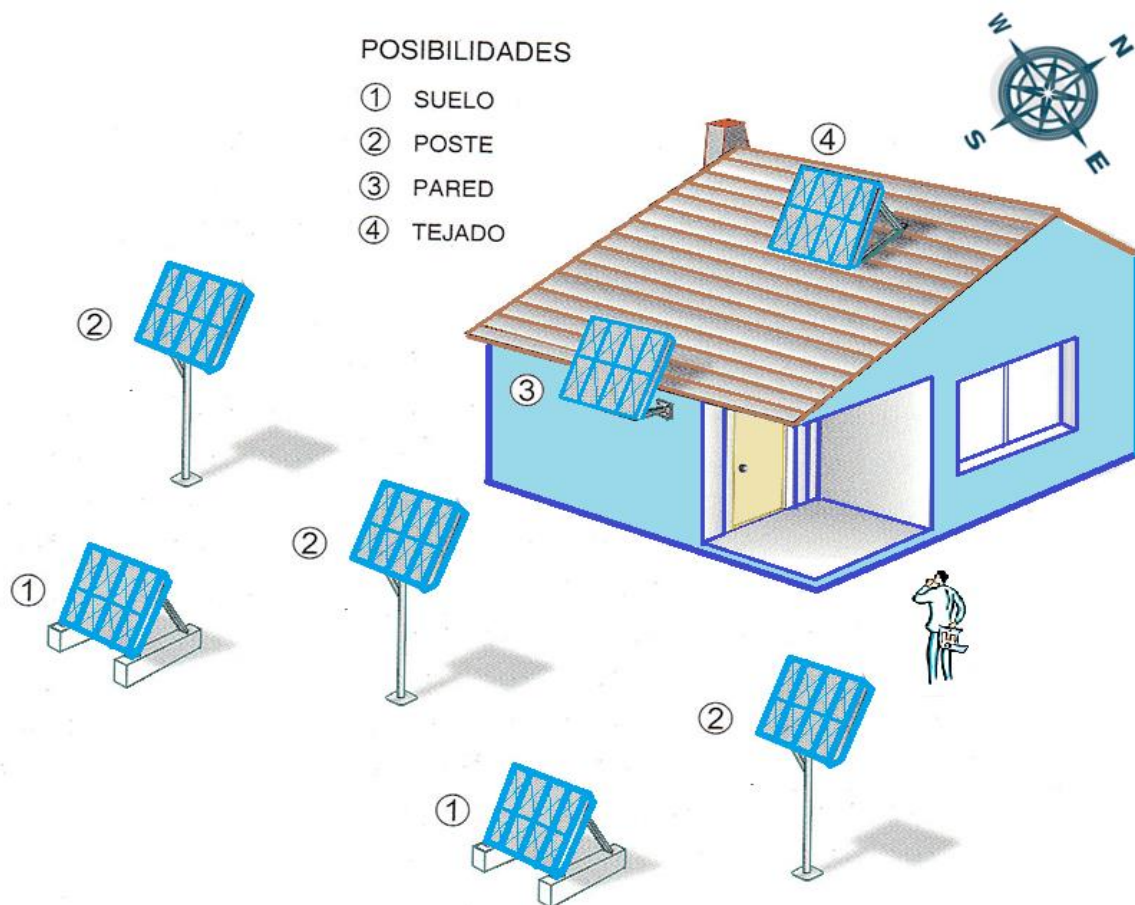


Figura 3.15.- Estructuras para la colocación de paneles solares

De la Figura 3.15 podemos observar los diferentes tipos de estructuras utilizados en la instalación de celdas fotovoltaicas.

Tipos de estructuras

1) SUELO

Es la forma tradicional de instalar grandes conjuntos de paneles solares.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
✓ La acción del viento es menor.	✗ Excesiva accesibilidad de personas y animales.
✓ Fácil montaje e instalación.	✗ Pueden producirse sombras parciales.
✓ Ahorro de material en su soporte.	

2) POSTE

Principalmente es usado en la mayoría de los campos solares.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
✓ Se mantiene alejado de sombras temporales.	✗ Se necesita mayor superficie terrestre para que entre postes no se den sombras.
✓ Se aísla de animales de la zona y del paso de personas.	✗ Mayor costo en los postes y su instalación.

3) PARED

Es la opción mas utilizada en instalaciones domesticas, ya que se acopla la estructura a una de las paredes del lugar donde va a hacer la intalación eléctrica.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventaja</i>
✓ Ahorro de estructura, ya que es anclada a la pared.	✗ <i>Es obligatorio que la fachada donde se va a instalar de hacia el sur.</i>
✓ Ocupa menor espacio.	
✓ El viento no representa problema al panel solar.	

4) TEJADO

La instalación en la cubierta de un edificio es una de las más fáciles, siempre y cuando sea plana, de lo contrario causará mayor problema su colocación.

Ventajas	Desventajas
✓ La acción del viento es menor.	✗ Puede ser limitada el espacio donde se instalarán los paneles.
✓ Fácil montaje e instalación.	✗ Dificultad de instalación si la superficie del edificio es irregular e inclinada.
✓ Ahorro de material en su soporte.	

Los materiales empleados para la construcción de las estructuras de los soportes pueden variar en función de caracteres como lo pueden ser: el medio ambiente al que son sometidos, resistencias, etc; los principales materiales utilizados son: el Aluminio, Acero, Acero Inoxidable, Fibra de Vidrio y algunos tipos de polímeros.

La orientación siempre debe ser hacia el Sur (si estamos en el hemisferio Norte), ya que en esta posición, aprovechamos totalmente la radiación emitida por el Sol a lo largo del todo día, como lo podemos ver en la Figura 3.16.

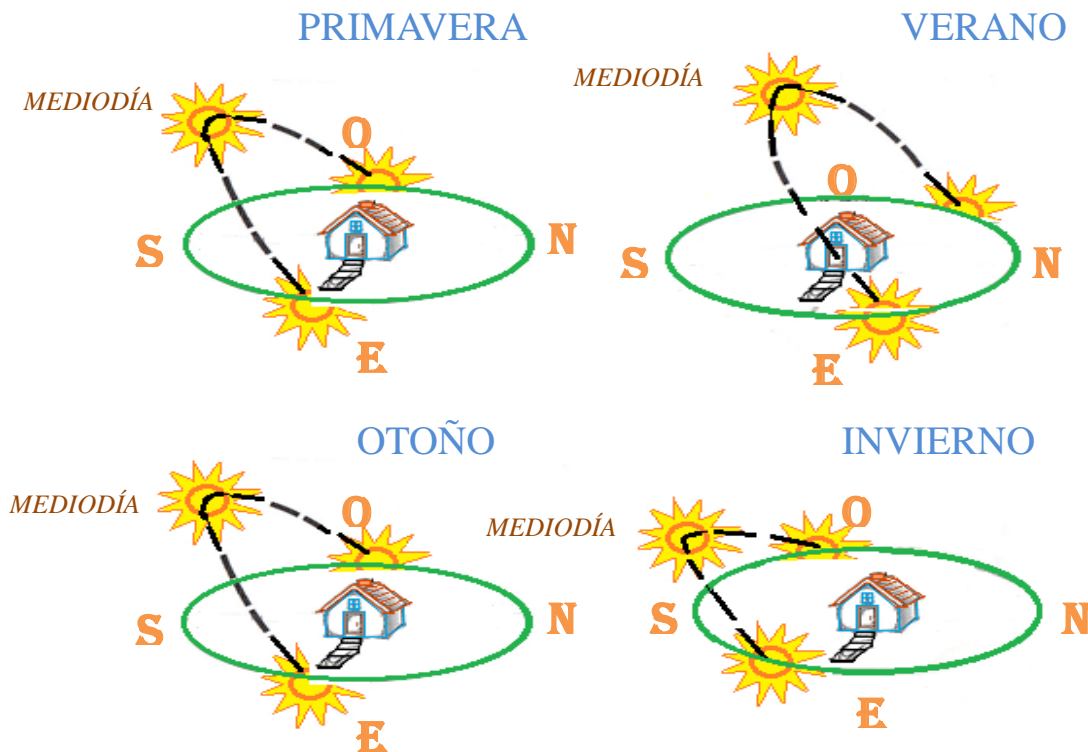


Figura 3.16.-Orientación ideal para el mejor aprovechamiento de la radiación solar.

3.6 Inversor y medidor eléctrico bidireccional

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación fotovoltaica, en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 50 Hz, no permite variaciones, con el fin de evitar perturbaciones sobre la red eléctrica de distribución.

Las características deseables para un inversor CC corriente continua – CA corriente alterna son las siguientes:

- ✓ **Alta eficiencia:** debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- ✓ **Alta fiabilidad:** resistencia a los picos de arranque.
- ✓ **Bajo consumo en vacío:** es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- ✓ **Protección contra cortos circuitos.**
- ✓ **Seguridad.**
- ✓ **Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida:** como ya hemos comentado debe ser compatible con la red eléctrica.

En la *Figura 3.17* y *3.18* se analizará los parámetros que se debe tener en cuenta para seleccionar el mejor inversor para la instalación fotovoltaica aislada que se va a colocar.

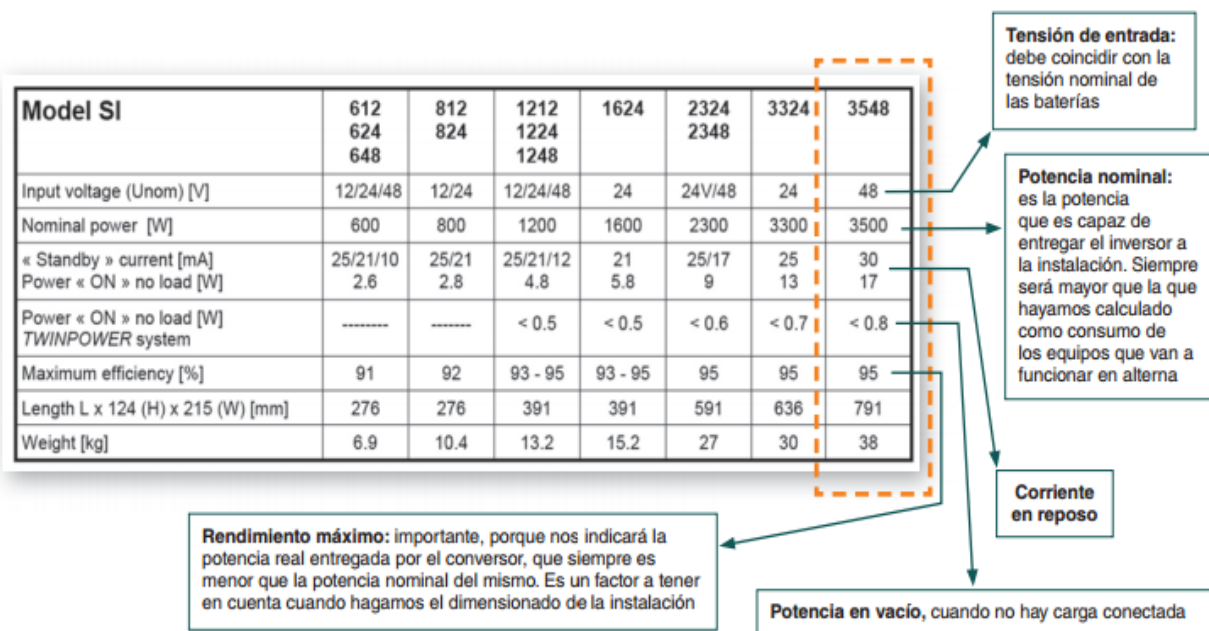


Figura 3.17.-Análisis de la ficha técnica de un inversor.

Las características de la salida del inversor están referidas a la corriente alterna. Algunos de los valores más importantes que el fabricante nos indicará son las siguientes:

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Output voltage	True sine 230 Vac \pm 3%
Distortion	< 2% (at Pnom)
Dynamic behaviour	From 0% to 100% load change. Normalization: 0.5 ms
Frequency	50 Hz \pm 0.01% (Crystal control)

Forma de la onda: en este caso se trata de una onda senoidal de 230 V de valor eficaz, y que puede tener una variación del 3 %

Distorsión: indica la posible degradación de la onda. Es menor de un 2 % trabajando a la potencia nominal

Frecuencia de la señal: debe coincidir con la de la red eléctrica y ser muy estable (en este ejemplo solamente tiene variaciones de un 0,01 %)

Figura 3.18.- Análisis de la ficha técnica de un inversor.

La frecuencia de señal en las instalaciones aisladas puede no ser demasiado importante, pero en las instalaciones conectadas a red es un parámetro que se debe tener en cuenta, ya que existe una normativa al respecto que fija cual es el valor máximo permitida de esta posible variación.

Como podremos observar en las siguientes figuras, la principal diferencia entre las instalaciones aisladas e interconectadas a la red; es que en las aisladas se cuenta con acumuladores o baterías para almacenar la energía y los reguladores de carga de los mismos, mientras que en las que están interconectadas a la red, la energía eléctrica se pone a disposición de CFE, además de contar con un equipo de medida (medidor bidireccional) el cual registra tanto la energía que se suministra a la red eléctrica, como el consumo eléctrico del usuario.

Instalaciones fotovoltaicas aisladas.

El inversor es un elemento indispensable en las instalaciones conectadas a red (Figura 3.20) y en la mayoría de las instalaciones aisladas. (Figura 3.19)

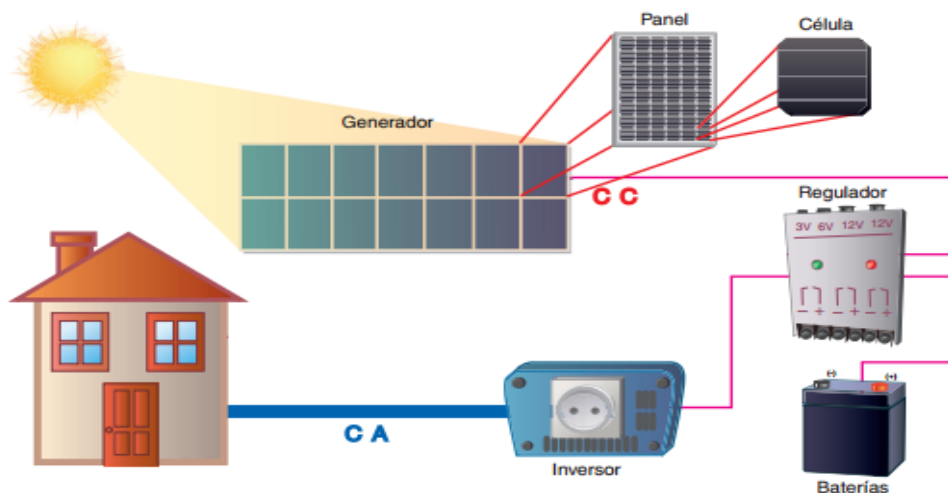


Figura 3.19.- Instalación fotovoltaica aislada

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

En el caso de las instalaciones fotovoltaicas aisladas, algunos inversores funcionan como reguladores de carga de las baterías como lo podemos observar en la *Figura 3.20*. En la misma figura observamos en el cableado los colores estándares utilizados en las conexiones de este tipo.

Para la parte de corriente continua:

- Cable color **rojo** – para el polo positivo.
- Cable color **negro** – para el polo negativo.

Para la parte de corriente alterna:

- Cable color **amarillo – verde** – para la conexión a tierra.
- Cable color **azul** – para el neutro en la instalación.
- Cable color **marrón** - para la fase

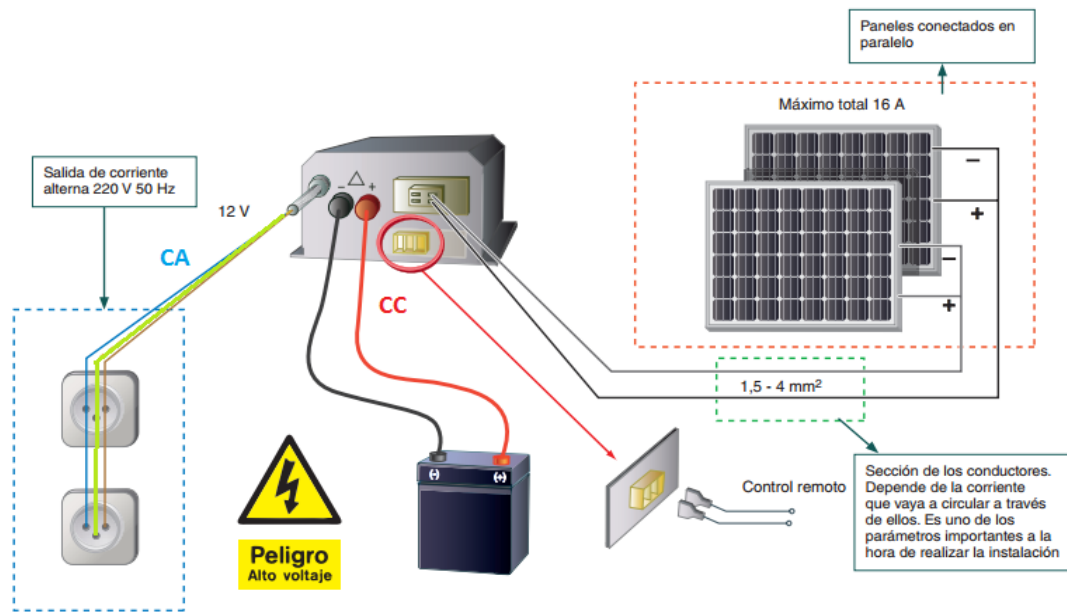


Figura 3.20.- Conexión de un inversor-regulador en una instalación aislada a 12 V, que además de convertir CC a CA también carga las baterías del sistema.

Instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red eléctrica.

El inversor dispone de funciones de protección, para garantizar tanto la calidad de la electricidad suministrada a la red como la seguridad de la propia instalación. Algunos parámetros que determinan las características y requerimientos de un inversor son las siguientes:

➤ **Potencia:**

Determinar la potencia máxima que podrá suministrar a la red eléctrica en condiciones óptimas, en este caso existen una gran variedad, sin embargo, para los sistemas domésticos existen desde 50 W o 400 W para pequeños campos fotovoltaicos. Muchos modelos están pensados para poderlos conectar en paralelo, a fin de permitir el crecimiento de potencial de total de la instalación.

➤ **Fases:**

Normalmente, los inversores cuya potencia es inferior a 5kW son monofásicos, los mayores de 15kW suelen ser trifásicos. Muchos modelos monofásicos pueden acoplarse entre sí para generar corriente trifásica.

➤ **Rendimiento energético:**

Debería ser alto en toda la gama de potencias a las que se trabajará, los modelos actualmente en el mercado tienen un rendimiento medio situado en torno al 90%.

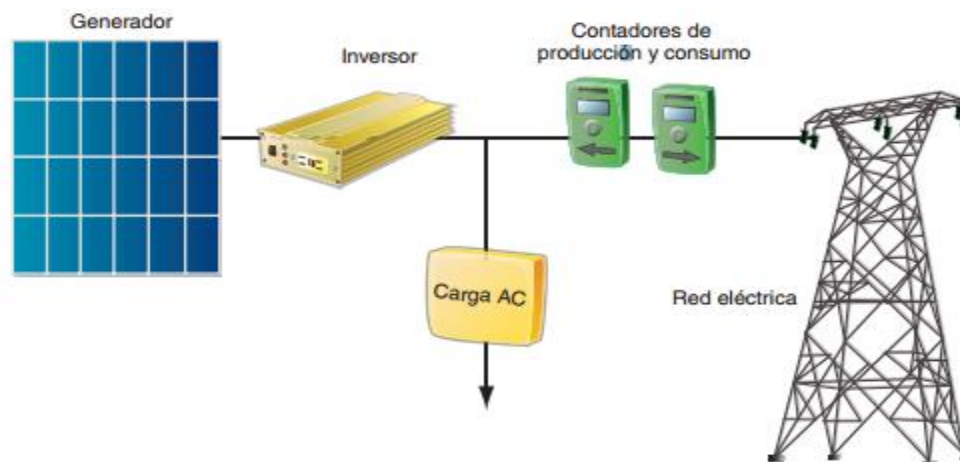


Figura 3.21.- Instalación fotovoltaico interconectado a red.

Cuando los paneles solares están conectados al inversor, el medidor de luz (bidireccional) reducirá su velocidad de giro si se estuviera usando algún aparato eléctrico, o bien girará en sentido contrario si no se está usando aparatos eléctricos, suministrando energía eléctrica a la línea de CFE.

Estos inversores usan paneles solares conectados en paralelo, maximizando así la salida de corriente directa del sistema de energía solar. Si un panel solar está defectuoso o no recibe luz solar la salida en la corriente directa solo se verá afectada al mínimo, resultando todo lo opuesto cuando los paneles solares están conectados en serie.

Medidor bidireccional

En instalaciones convencionales el medidor se encarga de indicar la cantidad de kilo watts hora (kWh), que consume el usuario. Cuando se hace el contrato para colocar una instalación fotovoltaica interconectada a la red, CFE hace el reemplazo del medidor actual por uno bidireccional.



Figura 3.22.- Medidor bidireccional proporcionado por CFE.
Fuente: CFE.

En primera instancia este medidor es capaz de girar en contra del sentido que comúnmente haría a un medidor convencional, esto con el propósito de registrar la cantidad de kWh que produce la instalación fotovoltaica instalada, es decir, si en un hogar se estuvieran consumiendo 100 kWh y de acuerdo a la radiación solar en ese instante los módulos fotovoltaicos estuvieran generando 80 kWh, el medidor bidireccional restará la energía consumida a la energía producida, en este caso solo se pagaría el consumo de 20 kWh.

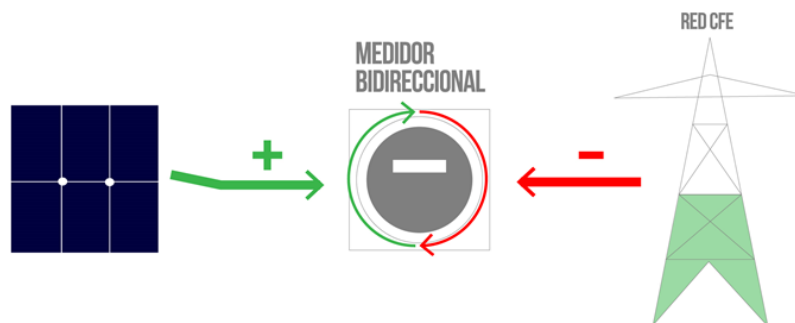


Figura 3.23.- Funcionamiento del medidor bidireccional.

3.7 Conexión de paneles fotovoltaicos.

Para realizar la conexión de los paneles solares, se utilizan los mismos fundamentos de la Electricidad Básica, nos referimos a que pueden ser conectadas en “Serie” o en “Paralelo”, además de poder alcanzar múltiples combinaciones de voltaje e intensidad de corriente; tomando en cuenta que todos los paneles solares que sean conectados deben tener las mismas características eléctricas.

Conexión en Serie: Se suman los voltajes (v), y se mantiene la misma Intensidad (I).

- **Ejemplo:** Si tenemos un modulo o panel solar que nos ofrezca un voltaje (v) de 12 [v], con una intensidad (I) de 1.5 [A], y ésta es conectada en “Serie” con otro panel fotovoltaico de las mismas características, recibiremos a la salida, un voltaje de 24[v], con una intensidad de 1.5 [A]. (Figura 3.24)

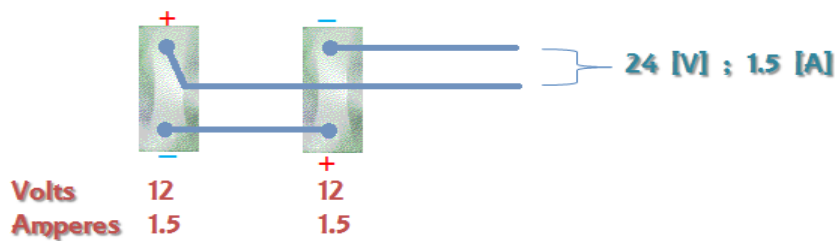


Figura 3.24.- Paneles Solares conectados en “Serie” incrementando así el Voltaje [V] a la salida.

Conexión en Paralelo: Se suman las Intensidades (I) y se mantiene el mismo Voltaje(v).

- **Ejemplo:** Si un panel fotovoltaico que entrega de salida un voltaje de 12 [v] y una intensidad de 1.5 [A], y está al ser conectada en “paralelo” con otro panel solar de iguales características, a la salida obtendríamos un voltaje de 12 [v] con una intensidad de 3 [A]. (Figura 3.25)

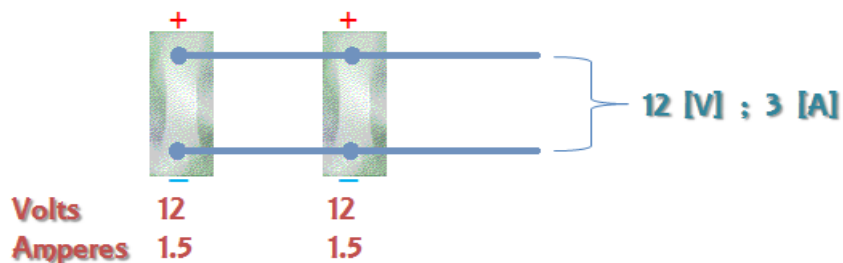


Figura 3.25.- Paneles Solares conectados en “Paralelo” incrementando así el Amperaje [A] a la salida.

A continuación se presentan algunos ejemplos de conexiones entre paneles solares con voltajes de 12 [v] y amperajes de 1.5 [A], obteniendo 24 [v] y 3 [A] a la salida. *Figura 3.26*

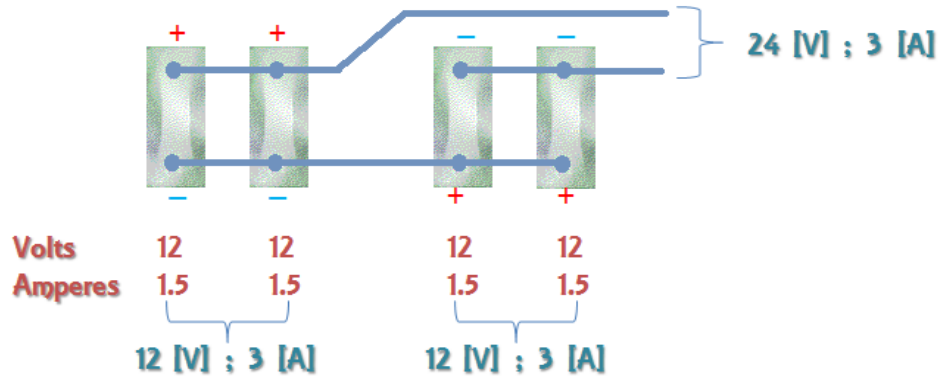


Figura 3.26.- Paneles Solares conectados en "Serie/Paralelo" dando como resultado aumentar el Voltaje y el amperaje en la salida.

De igual manera pueden hacerse combinaciones en las conexiones entre paneles para lograr a la salida un voltaje de 12 y 24 [v] con la intensidad de corriente deseada, suponiendo que cada panel solar tiene una obtención de 12 [v] y 1.5 [A] cada una, como se puede observar en el siguiente diagrama de la *Figura 3.27*.

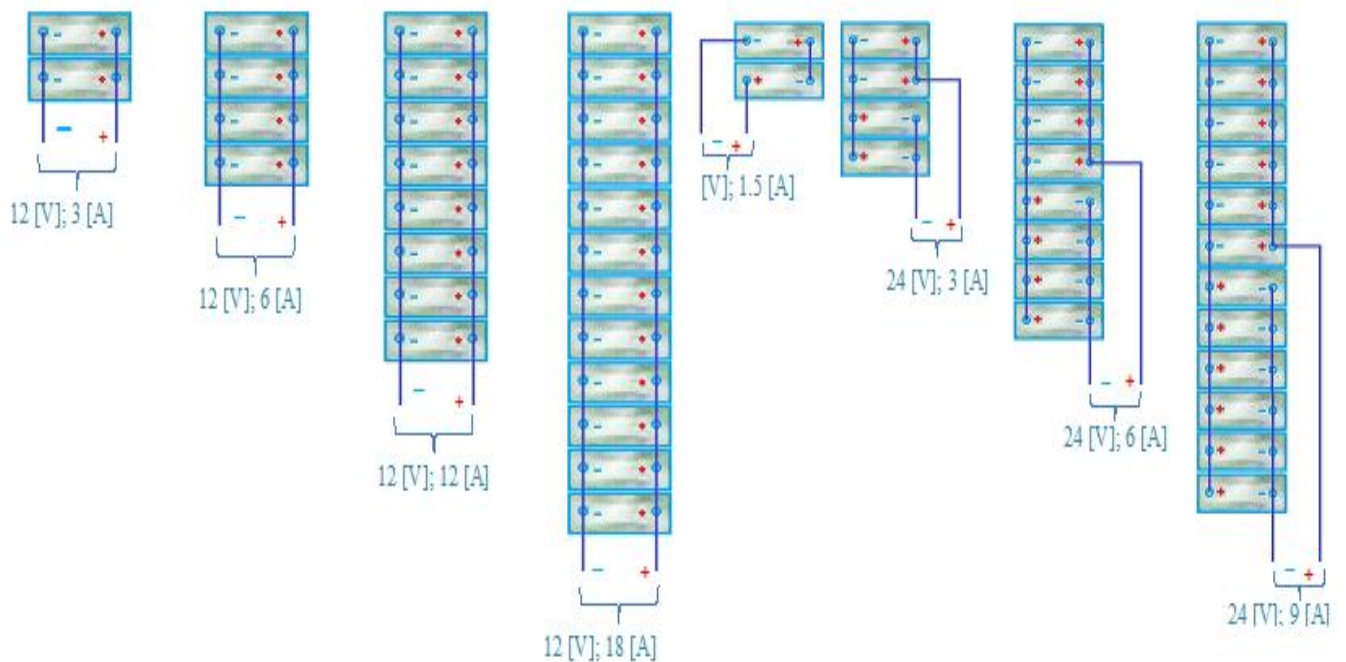


Figura 2.27.- Conexiones de paneles fotovoltaicos a 12 y 24 [v] variando la intensidad de corriente.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

De la misma forma en la *Figura 3.28* se ilustran conexiones de paneles solares con un voltaje de 36 y 48 [v] variando las intensidades de corriente suponiendo que cada panel solar tiene una obtención de 12 [v] y 1.5 [A] cada una.

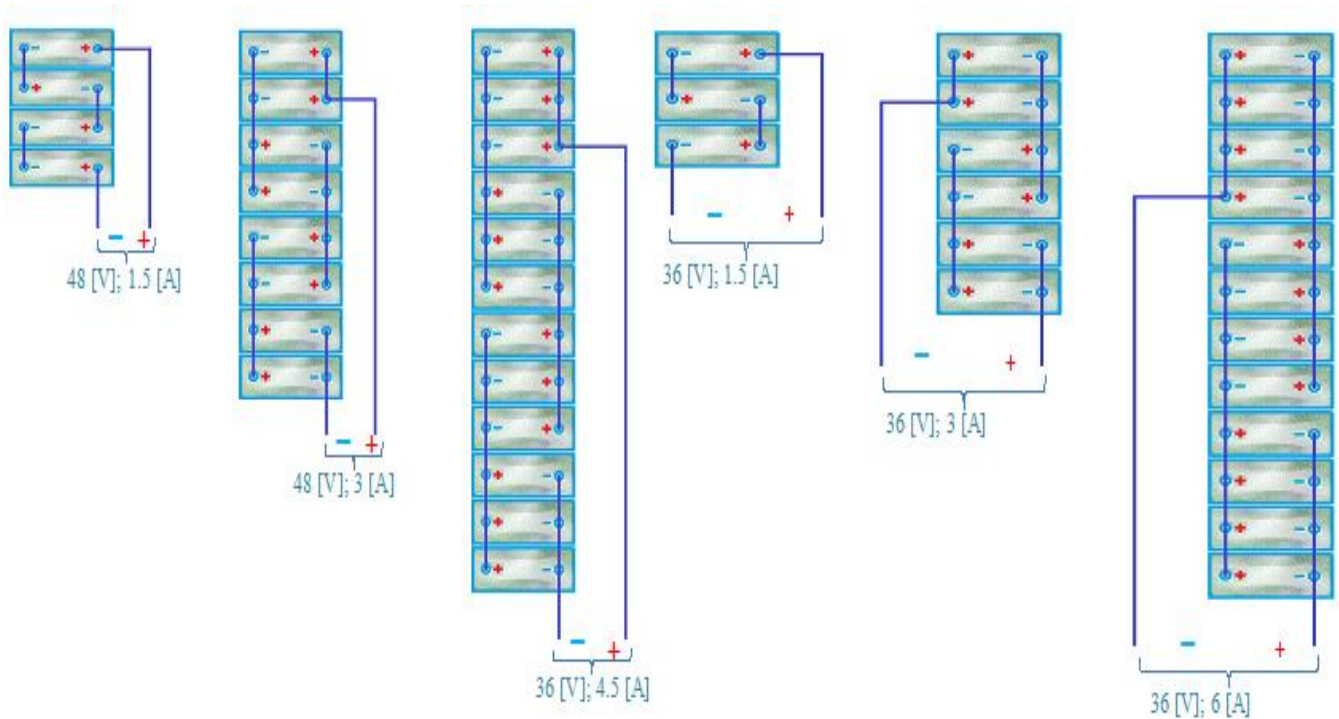


Figura 3.28.- Conexiones de paneles fotovoltaicos a 36 y 40 [v] variando la intensidad de corriente.

Capítulo 4

Estudio del proyecto.

4.1 Características principales del municipio de Coyuca de Catalán en la región denominada “Tierra Caliente” en el estado de Guerrero.

La región conocida como “Tierra Caliente” es una de las siete regiones geo-económicas del Estado de Guerrero, se ubica al nor-poniente de la entidad.

Es en esta región donde se encuentra el sitio en el que se enfocará la evaluación de una instalación fotovoltaica, por lo cual mencionaremos las principales características de esta zona.

Está conformada por 9 municipios:

- ✓ 3 - Ajuchitlán del Progreso
- ✓ 7 - Arcelia
- ✓ 22 - Coyuca de Catalán
- ✓ 27 - Cutzamala de Pinzón
- ✓ 50 - Pungarabato (Ciudad Altamirano)
- ✓ 54 - San Miguel Totolapan
- ✓ 64 - Tlalchapa
- ✓ 67 - Tlapachalapa
- ✓ 73 - Zirándaro



Figura 4.- Las siete regiones geo-económicas del Estado de Guerrero.
Fuente: travelmexico.com

El proyecto de estudio se localiza en el Municipio de Coyuca de Catalán ubicado al noroeste del estado, junto a la cuenca del Río Balsas, el cual presenta las siguientes características:

- La cabecera municipal se encuentra en las coordenadas Latitud 18° 19' N Longitud 100° 42' O. Este Municipio se sitúa a una Altitud de 250 msnm, con una extensión territorial de 3,403.5 km².
- Sus corrientes fluviales se componen principalmente por el Río Balsas y al menos otras 12 vertientes cortas y jóvenes pero no menos importantes, además de tres pozos profundos.
- Presenta tres tipos de relieves:
 - ✦ Zona accidentada, abarcando 45% de su superficie, donde sobresalen cerros de gran elevación, desarrollándose la industria pecuaria.
 - ✦ Zona semiplanas, con un 20% del territorio
 - ✦ Zonas planas, que cubren el 35%, en el cual se encuentra el mayor potencial agrícola del Municipio.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

- Los suelos de este municipio presentan características del tipo chernozem o negros, aptos para la agricultura, existen además las estepas praire o praderas con descalcificación propicio para fomentar la ganadería, además el territorio cuenta con importantes yacimientos de oro, plata, plomo, cobre, zinc, estaño, mercurio y amatista.
- Predominan tres tipos de climas en el municipio, como podemos ver en la *imagen 7*; cálido - subhúmedo, subhúmedo - semicálido y el Subhúmedo - templado; registrando temperaturas máximas de 38°C en Primavera - Verano y 25°C en Otoño – Invierno; con temporada de lluvias desde el mes de Junio hasta el mes de Septiembre.

La flora originaria de esta zona consiste principalmente en selva baja caducifolia, bosque de pino y encino con especies de mezquite verde y huizache.

En cuanto a la fauna nativa, existen varias especies de animales silvestres como: ardilla, tejón, iguana, zorrillo, mapache, víbora de cascabel, gavilán, venado, palomas, lagartijas, ratón, alacrán, y diferentes especies de pájaros, etc.

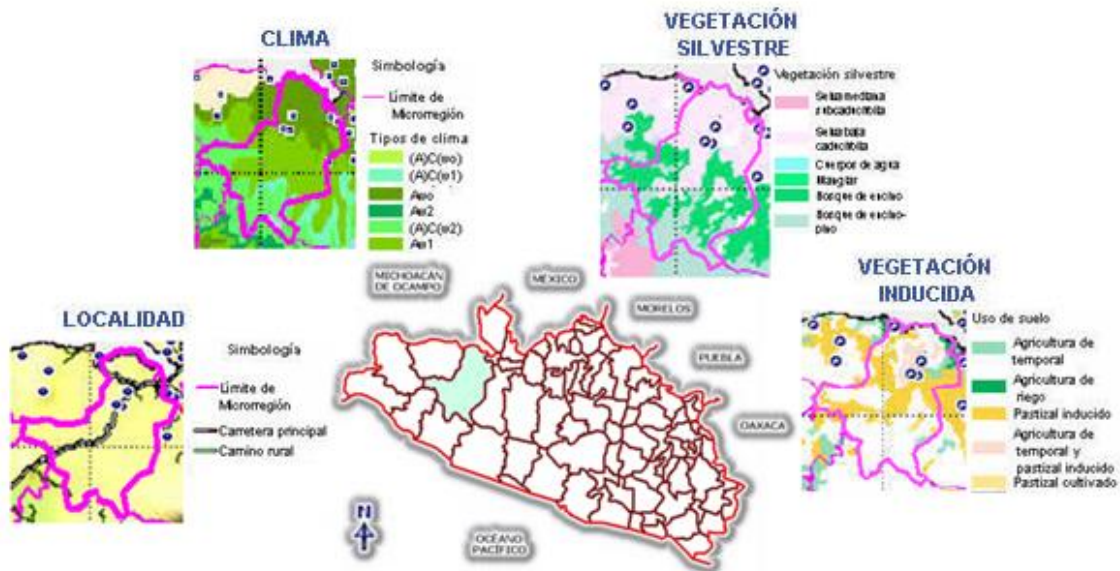


Figura 4.1.- Características geográficas del Municipio de Coyuca de Catalán, Guerrero, Mex.

El municipio de Coyuca de Catalán representa el 5.3 % del territorio en el Estado de Guerrero, como podemos observar en la *Tabla 4*, del último censo realizado en el año 2010 se registró 10,256 hogares en el municipio. Suponiendo que todos estos cuentan con energía eléctrica contratados con CFE, obtendríamos que de los 13,062 usuarios registrados en CFE, 10,256 son hogares y 2,806 estarían repartidos entre comercios, edificios gubernamentales, etc.

33,456 Mega watts-hora de energía eléctrica vendida en el año 2009

\$ 36,333,000 millones de pesos vendidos

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Costo del kWh = (33,456,000 kWh)/(36,333,000 pesos) = \$ 0.92 MN por kWh

Sin embargo el pago por el servicio eléctrico que se realiza cada bimestre es de \$ 1,324.8 MN por bimestre

2 meses = 1,440 horas

(1,400 horas. X \$ 0.92 MN por kWh) = \$ 1,324.8 MN por bimestre

Ahora bien, si el salario promedio diario en el Edo. de Guerrero es de \$ 196.73 MN estaríamos hablando de un ingreso promedio bimestral de \$ 11,803.8 MN del cual 11.22 % se destinaria al pago del servicio eléctrico.

\$ 11,803.8 MN es el 100% del ingreso de un trabajador

\$ 1,324.8 MN costo de la electricidad por bimestre, el cual representa el 11.22%

Actividades secundarias	Coyuca de Catalán	Guerrero	Porcentaje (%)	Fuente
Usuarios de energía eléctrica, 2009	13,062	935,754	1.40	Comisión Federal de Electricidad, División en el Estado.
Volumen de las ventas de energía eléctrica (Megawatts-hora), 2009	33,456	2,622,238	1.28	Comisión Federal de Electricidad, División en el Estado.
Valor de las ventas de energía eléctrica (Miles de pesos), 2009	36,333	3,720,055	0.98	Comisión Federal de Electricidad, División en el Estado.
Inversión pública ejercida en obras de electrificación (Miles de pesos), 2009	No disponible	559,382	-----	Comité de Planeación y Desarrollo del Gobierno del Estado.
Población total, 2010	42,069	3,388,768	1.24	INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.
Hogares, 2010	10,256	805,230	1.27	INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.

Tabla 4.- Producción y consumo eléctrico en Coyuca de Catalán, Guerrero.
Fuente: INEGI registros 2010

4.2 Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para una casa en esta región.

Los sistemas fotovoltaicos interconectados (SFVI) con la red constituyen una alternativa viable para reducir la facturación eléctrica.

Sin embargo (SFVI) requieren de una inversión de capital que puede llegar a ser significativa, por tal motivo como cualquier otro proyecto económico, se analizarán todos los aspectos involucrados para determinar el presupuesto necesario de este proyecto, estimando si el beneficio resultante cumplirá con nuestra expectativa de remuneración económica.

Análisis de los módulos fotovoltaicos (MFV)

Los MFV para sistemas interconectados con la red están disponibles en capacidades de 100 a 300 Watts-pico (Wp) nominales. Esta potencia corresponde a condiciones estándar de prueba: radiación solar $1\text{ kW}/\text{m}^2$, temperatura del modulo a 25 °C y sin viento.

Los voltajes nominales de módulos y arreglos en sistemas autónomos pueden ser de 12, 24 o 48 [V] para poder así acoplarse a bancos de baterías; sin embargo los sistemas interconectados a la red se configuran voltajes mas elevados, de 90 a 600 [V]

PROPIEDADES DE MFV	Con Silicio policristalino	De película delgada
Mayor eficiencia	✓	
Mayor capacidad de generación en áreas iguales	✓	
Menor área para su arreglo	✓	
Mayor producción eléctrica al año por kW instalado		✓
Mayor confiabilidad y estabilidad	✓	
Mejor eficiencia en climas cálidos y con nublados		✓
Mejor desempeño en climas fríos	✓	
Menor afectación a la eficiencia por sombreados		✓
Mayor versatilidad en la integración arquitectónica		✓

Tabla 4.1.- Comparación de las capacidades entre los módulos fotovoltaicos.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

Cabe mencionar que no se incluyó en esta tabla el MFV monocristalino por su alto costo sin dejar a un lado que para los tres tipos de MFV el voltaje que se produce es muy estable en un típico día soleado.

Sin embargo, la corriente que durante el día genera un MFV **no** es constante, es por esta razón que en las mañanas y tardes la producción eléctrica es baja y al medio día alta.

Pero al interconectarse con la red, se logra que esta actúe como una gran batería de respaldo, y que el servicio eléctrico sea constante.

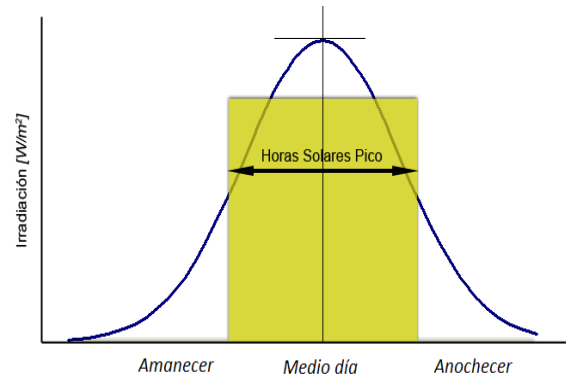


Figura 4.2.- Radiación solar durante el día.

Los MFV producen corriente eléctrica continua (también llamada corriente directa) por lo que se requiere su transformación a corriente alterna que es la misma que nos llega de la red de CFE, esto se realiza a través de equipos llamados **inversores** además de otros elementos para completar el sistema como: cables, cajas de conexiones, protecciones, interruptores y un medidor eléctrico bidireccional.

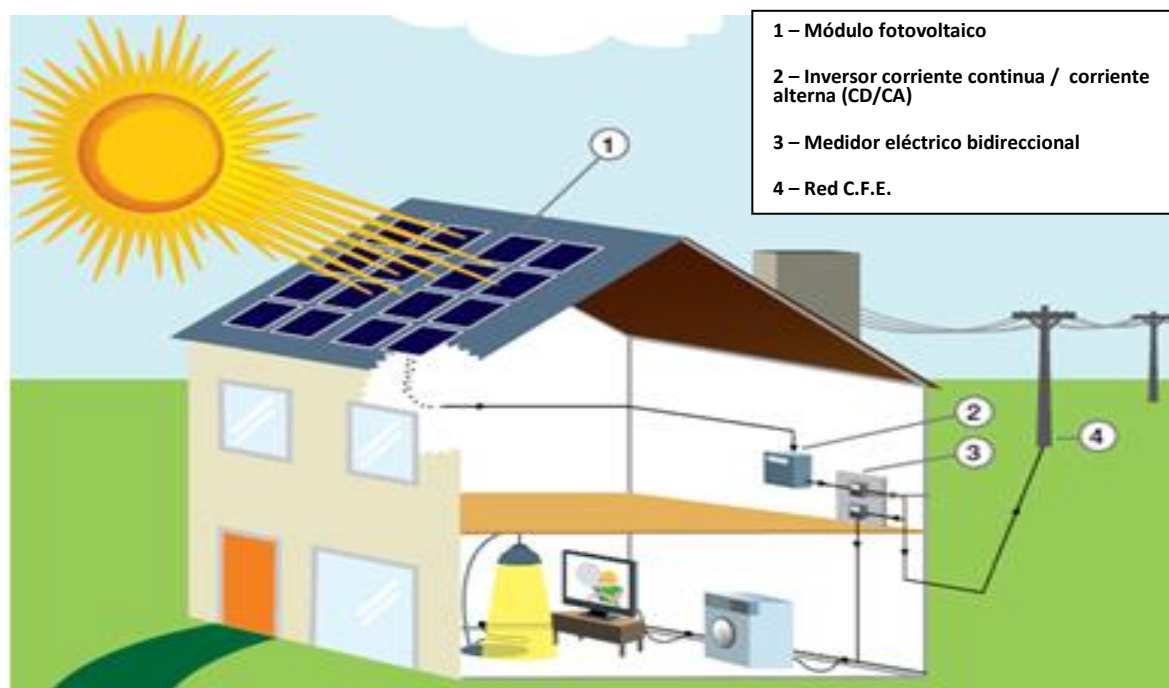


Figura 4.3.- Modelo de conexión de un sistema de módulos fotovoltaicos interconectado a la red

Análisis del área de instalación.

El territorio mexicano se encuentra en el hemisferio norte, donde la trayectoria del sol durante la mayor parte del año se observa hacia el sur; es por eso que la orientación e inclinación de nuestra instalación es determinante para la producción eléctrica, ya que si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales.



Figura 3.4.- Posición del panel solar.

Ángulo de inclinación	Resultado
Latitud	Máxima generación eléctrica promedio anual.
Latitud (-15°)	Máxima generación eléctrica en el verano.
Latitud (+15°)	Máxima generación eléctrica en el invierno.

Los techos horizontales son convenientes para la instalación de un arreglo FV, en caso de que los techos ya posean cierta inclinación, su orientación deberá ser preferentemente hacia el sur geográfico y en ningún caso al norte.

Estimación de la capacidad por requerimiento específico

Siempre es conveniente tener una estimación preliminar de la capacidad que se pretende instalar e interconectar. Para este propósito como punto de partida se requiere del recibo eléctrico, ya que este contiene el historial de consumo (medido en kilowatts – hora kWh).

Datos generales del servicio.

Información del consumo.

Historial de consumo.

Avisos importantes.

Cálculo del importe del consumo.

Detalles de cargos que integran la facturación.

Figura 4.511.- Datos que conforman el recibo eléctrico.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

En este caso tomaremos el consumo durante el año 2009, ya que este año fue en el que mayor consumo hubo por parte del usuario en donde se propone instalar MSFV.

- a) Rescatando el historial de consumo eléctrico del recibo anterior podemos analizar primeramente el consumo eléctrico promedio en (kWh) de la siguiente manera:

Historial de consumo						
Facturación	Ene	Mar	May	Jul	Sep	Nov
2009	412	274	209	108	143	866
2010	247	206	162	103	210	

Anual 2009 = 412 + 274 + 209 + 108 + 143 + 866 = 2012 [kWh] de consumo.

Consumo eléctrico promedio (kWh) bimestral = $\frac{2012 \text{ [kWh]}}{6} = 335.33 \text{ [kWh]}$.

- b) Necesitamos responder la siguiente pregunta ¿Qué porcentaje queremos que produzca nuestra instalación solar fotovoltaica? En este caso el usuario planea reducir su consumo en un 50%, es decir 167.665 [kWh].

$$(335.33) * (50) = 16,766.5;$$

$$\frac{16,766.5}{100} = 167.665 \text{ [kWh]}$$

- c) Entonces el requerimiento diario será de: 2.79 [kWh] \approx 3 [kWh] al día.

$$\frac{167.665 \text{ [kWh]}}{60 \text{ días}} = 2.794 \text{ [kWh] al día.}$$

- d) Basándonos en la *Tabla 2* de la página 31 tomaremos un promedio de radiación solar de 5 [kWh/m²] del estado de Guerrero. Con este dato y el requerimiento diario obtendremos la capacidad sin pérdidas.

$$\frac{3 \text{ [kWh] al día.}}{5 \text{ [kWh/m}^2]} = 0.6 \text{ [kWp]} ; \text{ para compensar las pérdidas dividimos } \frac{0.6 \text{ [kWp]}}{0.7} = 0.85 \text{ [kWp]}.$$

El resultado 0.85 [kWp] = 850 watts – pico, obtenido es la capacidad mínima requerida, la cual debe ser ajustado a la disponibilidad comercial de los MFV. Por ejemplo la mayoría de los módulos comerciales cuentan con las siguientes especificaciones:

Potencia:	175 [Wp]
Largo:	1.5 [m]
Ancho:	1 [m]
Espesor:	4.5 [cm]

Para obtener el número de módulos se calcula de la siguiente manera:

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

$$\text{Numero de módulos} = \frac{850 \text{ [Wp]}}{175 \text{ [Wp]}} = 4.8 \approx 5 \text{ módulos;}$$

$$(5 \text{ módulos}) * (175 \text{ [Wp]}) = 875 \text{ Wp.}$$

El montaje se puede realizar horizontal o vertical; en este caso necesitamos un área de 7.5 m^2 el cual puede ser distribuido de la siguiente manera:

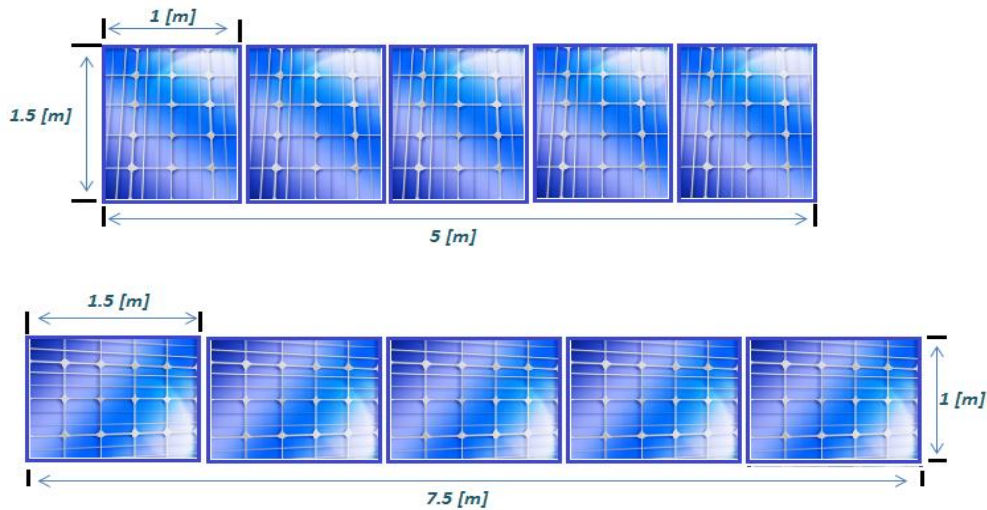


Figura 4.6.- Montaje vertical u horizontal de los paneles solares.

Cuando la instalación se realice en azotea, se recomienda que para fines de mantenimiento y por seguridad, se disponga de espacios libres adyacentes a la superficie la cual será destinada para arreglos, es conveniente destinar franjas de 1 metro de ancho tal como se muestra a continuación.

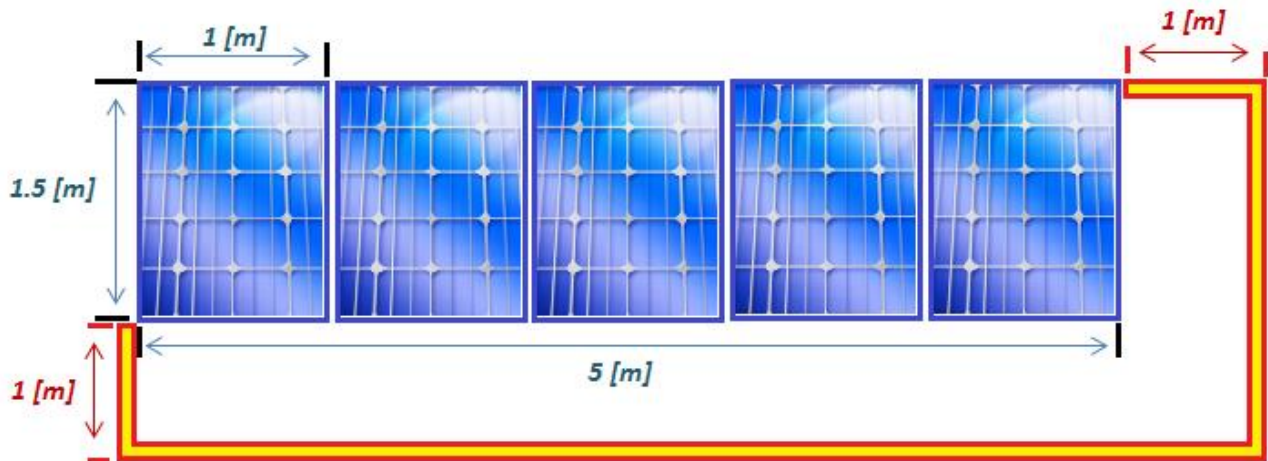


Figura 4.7.- Distancia recomendada para maniobras y mantenimiento en los paneles solares.

En la Tabla 4.1 se expone el área requerida para colocar diversos tipos de paneles solares.

Área requerida del arreglo FV con diversos tipos de modulos fotovoltaicos y capacidades en m2 (aproximados)								
Tipo de modulo	Eficiencia [%]	Para 0.5 kWp [m2]	Para 1 kWp [m2]	Para 2 kWp [m2]	Para 3 kWp [m2]	Para 5 kWp [m2]	Para 10 kWp [m2]	Para 30 kWp [m2]
Silicio policristalino	13 - 15	4	8	16	24	40	80	240
Silicio monocristalino	14 - 20	4	7	14	21	35	70	210
Silicio Amorfo	5 - 7.	8	16	32	48	80	160	480

Tabla 4.2.- Áreas necesarias para la colocación de diversos módulos fotovoltaicos.

Estimación de la capacidad por disponibilidad de espacio

También se podemos calcular la capacidad del sistema en base al espacio disponible, el cual debe de estar libre de sombras durante todo el año. Por ejemplo, en el caso de la propiedad donde se realiza el estudio se cuenta con los siguientes espacios en la azotea, la cual por su superficie plana y la inclinación de aproximadamente de 20° con la que cuenta por diseño, tiene también una magnifica radiación solar libre de sombras como podemos corroborar en las siguientes imágenes.



Figura 4. 8.- Vista aérea de la casa de estudio.
Fuente: Google Earth.



Figura 4. 9.- Vista de la casa a estudio.

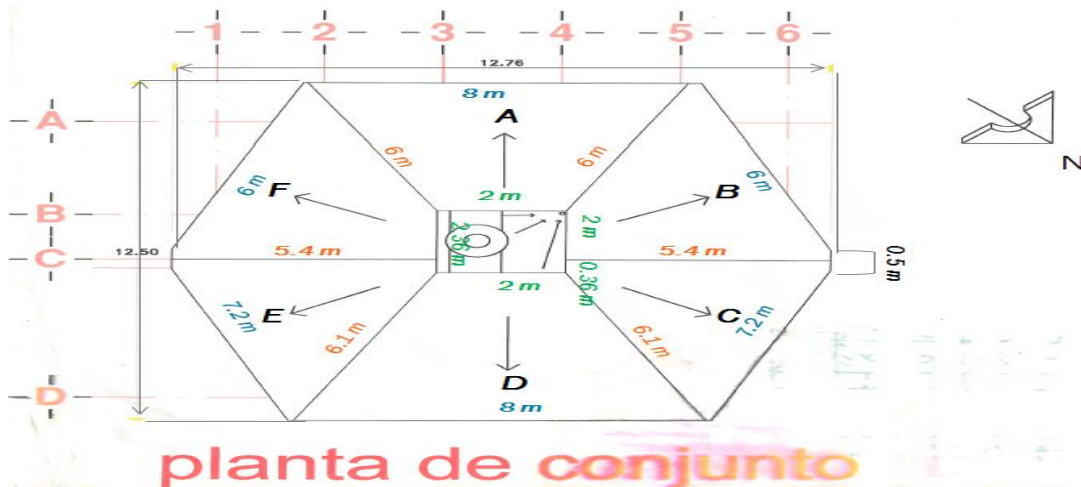


Figura 4. 10.- Planos de la casa de estudio.

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

En base a los planos podemos obtener las siguientes áreas.

PISO	ÁREA [m ²]	No. DE MODULOS CALCULADOS	No. REAL DE MODULOS A COLOCAR
A	26	4	3
B	21	4	3
C	20.5	4	3
D	26	4	3
E	20.5	4	3
F	21	4	3

Tabla 4.3.- Distribución de paneles solares que podrían ser colocados en el proyecto.

Por consiguiente calculamos una capacidad de 4 módulos fotovoltaicos por piso, pero esto nos quedaría justo y no cumpliríamos con el metro de seguridad para reparación e instalación, de tal forma que aconsejaríamos colocar tres en cada piso de esta forma.

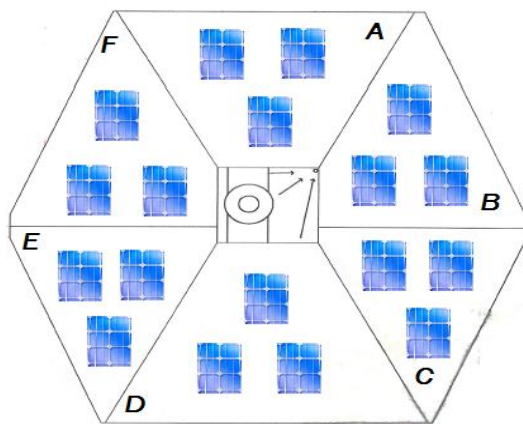


Figura 4.11.- Acomodo de módulos fotovoltaicos.

Con este acomodo obtendríamos la siguiente capacidad:

$$(18 \text{ módulos}) * (175 \text{ [Wp]}) = 3150 \text{ [Wp]} = 3.15 \text{ [kWp]}.$$

Ahora bien, si se considera una media anual de 6.14 horas de sol pico por día, y una eficiencia del 70 % en la conversión de corriente directa del módulo fotovoltaico a corriente alterna por medio de los inversores se tendría entonces una producción de:

$$(3.15 \text{ [kWp]}) * (6.14 \text{ [hr. de sol pico/día]}) * (365 \text{ [días del año]}) * (0.7 \text{ [eficiencia]}) * \left(\frac{1 \text{ año}}{6 \text{ bimestres}} \right) = 823.6 \text{ [} \frac{\text{kWh}}{\text{bimestre}} \text{]}.$$

Sobrepasaríamos el consumo e incluso produciríamos electricidad para abastecer toda la casa y el alumbrado exterior de esta.



Figura 4.12.- Consumo eléctrico por la noche.

Con esta producción eléctrica y considerando el consumo calculado en el inciso a) de la capacidad por requerimiento específico de la pág. 65, donde el requerimiento bimestralmente es de: 335.33 [kWh/bimestre], obtendríamos un ahorro del 100%, estamos hablando que no solo cubriríamos el consumo eléctrico de la casa, sino que estamos produciendo más del doble de consumo bimestral.

Análisis del costo

Existen dos conceptos de costo que se deben tomar en cuenta al considerar la instalación de un SFV: el costo de inversión y el costo de energía.

Costo de inversión.

Se necesita tener en claro los siguientes factores:

- La capacidad del sistema
- La preparación y ejecución del proyecto, esto incluye diseño, instalación, interconexión y puesta en marcha del sistema.
- Las características tecnológicas y económicas de los componentes, principalmente de los módulos y del inversor. Teniendo en cuenta que el costo de los módulos ha declinado durante los últimos años y se espera que continúe con esa tendencia.
- Si el sistema se instalará sobre el techo, nivel de piso o será una combinación de techo y fachada.

Costo de energía.

Este se refiere al costo por cada kilowatt – hora de electricidad producida por el sistema fotovoltaico. En el ámbito técnico se denomina costo nivelado de energía y se puede comparar directamente contra el precio de electricidad de la red. En su determinación intervienen los siguientes factores:

- El monto de la inversión
- La eficiencia con la cual estará efectuando la conversión de energía, de solar a eléctrica.
- La localidad donde se instalará el sistema ya que de esto depende la disponibilidad de energía solar aprovechable.
- La afectación a causa de sombras
- La vida útil del sistema

4.3 Selección del proveedor

Ya que nuestro campo de estudio se encuentra en el estado de Guerrero, lo ideal es encontrar un proveedor en el mismo estado o en su defecto cerca del mismo, ya que esto minimizaría los costos del envío, pero no está por demás abrirse a todos los proveedores buscando siempre el mejor precio del mercado. Cabe mencionar que dentro del estado de Guerrero no se encontró proveedor de SF, por lo que en este caso buscaremos proveedores en los estados aledaños al proyecto, de los cuales encontramos los siguientes:

ESTADO	PROVEEDOR
Morelos	<ul style="list-style-type: none">• CRYPLANT  <ul style="list-style-type: none">• SOLARTRONIC S.A. DE C.V. 
Oaxaca	<ul style="list-style-type: none">• INGENIERIA ELECTRICA ALTERNATIVA SUSTENTABLE, S.A. 
Estado de México	<ul style="list-style-type: none">• ENERGIA SOLAR DEL PACIFICO S.A. DE C.V. 
Puebla	<ul style="list-style-type: none">• DISTRIBUIDORA WALTHO, S.A. DE C.V. 

Tabla 4.4.- Proveedores de paneles solares existentes cerca del proyecto.

Estimación de la capacidad por limitación presupuestal

Si consideramos que quizás los módulos en el techo no contribuyen a la estética del inmueble y se considera colocarlos en el jardín cerca de esta, donde cumple con todas las condiciones para su instalación pero la única limitante que tenemos es el presupuesto, ya que solo se cuenta con \$50,000 MN.

4.4 Rentabilidad del proyecto.

Un SFVI para un usuario es rentable dependiendo de:

- ✓ El consumo eléctrico que tenga
- ✓ La tarifa que se le aplica
- ✓ El costo del sistema fotovoltaico
- ✓ La radiación solar en el sitio a instalar
- ✓ Plan financiero para el proyecto

Uno ejemplo de claro de rentabilidad es cuando el usuario supera la Tarifa de Alto Consumo (DAC) establecido por la C.F.E. de su localidad.

Mantenimiento del panel solar

Como todo artefacto tecnológico, las estructuras de los paneles solares necesitan de mantenimiento, pero en éste caso es mínimo y muy sencillo. Es conveniente hacer una inspección general dos veces al año para asegurarnos que las conexiones entre paneles y el regulador se encuentren bien ajustadas y libres de la corrosión; en ocasiones la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpiar los paneles.

Con respecto al regulador, podemos asegurar que las averías que pueden llegar a producirse en él son muy escasas; por eso lo único que debemos realizar son operaciones simples tales como observar su estado y funcionamiento, comprobar la conexión y el cableado, vigilar los valores del voltímetro y amperímetro para cerciorarnos del índice de comportamiento.

Dentro de todas las estructuras de los paneles solares, el que requiere mayor atención es el acumulador; lo que debemos hacer aquí es comprobar el *nivel del electrolito* cada 6 meses, éste debe mantenerse entre los márgenes de “máximo y mínimo”; luego se debe comprobar el estado de las terminales de la batería, limpiarse los posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.

Capítulo 5. Medidas de seguridad

5.1 Causas que provocan el alto consumo.

En las instalaciones eléctricas existen diversos factores que provocan el alto consumo por el mal estado de está, frecuentemente donde podemos encontrar deterioro son las siguientes:

- **Interruptores:**

Su función es la conexión y desconexión de la instalación eléctrica protegiéndola de sobrecargas o cortos circuitos.

Los interruptores de cartucho no son recomendables ya que originan problemas en su restablecimiento y por su deterioro es fácil sustituir el fusible con materiales indebidos como: alambres, monedas, etc.

Se recomienda utilizar los interruptores termomagnéticos (ITM), ya que una vez subsanada cualquier falla en la instalación eléctrica basta con restablecerlo, por lo que no requiere de algún cambio ni adecuaciones.

- **Apagadores:**

Su función es la conexión y desconexión únicamente de alumbrado y de acuerdo a su capacidad deberán ser metálicos o de material no combustible y colocados en lugares sin humedad, a la vista y fuera de instalaciones de gas.

- **Cableado:**

En una instalación eléctrica deberá de utilizarse cable de cobre seleccionando el calibre de acuerdo a la carga que vaya a soportar, en este caso, en una instalación domiciliaria se utiliza como mínimo el calibre no. 14, el cableado no debe de estar embutido en las paredes, deben de ir en ductos con una holgura del 40% del diámetro del mismo.

- **Cordones paralelos:**

Aunque por norma son prohibidos es común encontrar instalaciones utilizando este tipo de material y aun mas grave utilizarlas con abrazaderas plásticas o grapas metálicas provocando el degollé del aislamiento y generando cortos circuitos que a su vez ocasionan calentamientos, en el menor de los casos se manifiestan en el consumo del usuario, pero esta es la principal causa de incendios.

- **Empates o uniones deficientes:**

Son utilizados en dos casos: para unir dos conductores y formar uno solo ó para hacer derivaciones. Los empalmes y uniones deben ser realizados garantizando una unión perfecta entre los cables, no deben usarse conexiones y empalmes con el fin de unir tramos de cable de longitudes pequeñas, porque de esta manera se generan posibles puntos de falso contacto entre conductores, los cuales ocasionan sobre calentamiento, deterioro del aislamiento y posibles cortos circuitos.

Con el paso del tiempo los problemas que puede presentar una instalación eléctrica son causados por el deterioro de los elementos que la conforman a causa del envejecimiento y el incremento de la carga eléctrica en la instalación.

Recomendaciones para tener una instalación eléctrica segura

Una instalación eléctrica segura y confiable es aquella que reduce al mínimo la probabilidad de presentar algún accidente que pueda poner en riesgo la vida y la salud de algún usuario, además de reducir la posibilidad de fallas en los equipos eléctricos evitando así la inversión de dinero para su reparación o reposición.

Para que una instalación eléctrica sea confiable está sujeta a parámetros como:

- ✓ Un buen diseño
- ✓ El uso de mano de obra calificada y certificada para realizar la instalación.
- ✓ Buena calidad de los materiales
- ✓ Instale una conexión a tierra
- ✓ Revisar que en la instalación no existan puntos calientes o “fugas a tierra”
- ✓ Nunca conectar varios aparatos en un mismo contacto.

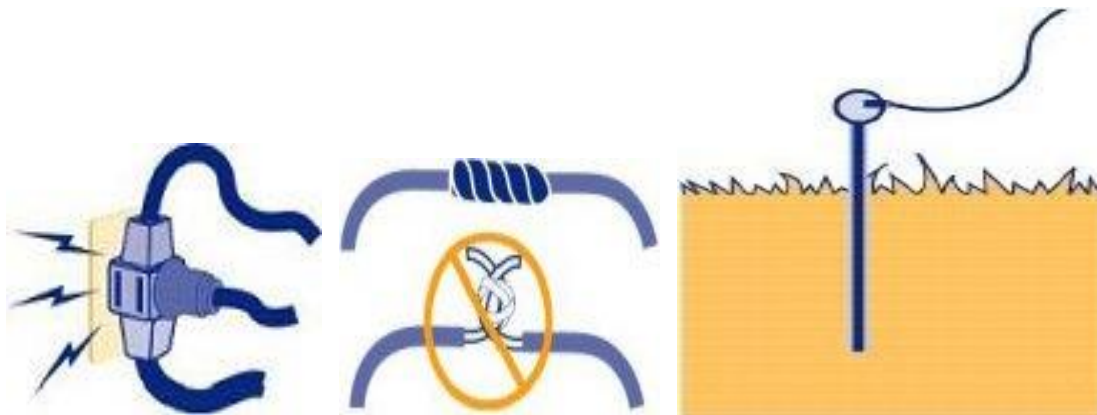


Figura 4.- Causas más comunes que provocan accidentes

¿Cómo evito que me cobren la tarifa DAC?

Eficientizar al máximo los consumidores de energía en el hogar, como:

- Cambiar aparatos viejos por modernos con ahorro de energía.
- Si aun con todo el ahorro que podría tener al cambiar sus aparatos supera el consumo promedio, una de las soluciones sería un sistema de interconexión a CFE.

5.2 Tramite de interconexión

Derivado de diversas disposiciones establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, su Reglamento, así como en el Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012; ahora puedes instalar en tu domicilio o

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

negocio, tu propia fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña o mediana escala y realizar un contrato de interconexión con CFE.

Requisitos	Contrato de interconexión
<p>Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con C.F.E. son:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Tener contrato de suministro normal en baja tensión.✓ Las instalaciones deben cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de la C.F.E.✓ La potencia de tu SFV no debe ser mayor de 10kWp en domicilio y de 30kWp en algún negocio.	<ul style="list-style-type: none">• La duración del contrato es indefinida y puede terminar cuando lo desees notificando a la C.F.E. con al menos 30 días de anticipación.• Al establecer un contrato de interconexión, C.F.E. te cambiara el medidor, instalando uno que permitirá registrar tanto la energía eléctrica que consumes de la red, como la que reinyectas a la red.

Pasos para realizar el contrato de interconexión

1. Solicitud Acude a la agencia comercial de CFE más cercana llevando el formato de solicitud lleno.

La persona que deberá realizar el trámite deberá ser el titular del contrato de suministro normal, si es persona física, o el representante legal, si se trata de persona moral. En ambos casos se requiere presentar identificación oficial. Si se trata de persona moral, el representante deberá presentar también la documentación que acredite la constitución de la sociedad y el otorgamiento de facultades de la misma hacia la persona que realiza el trámite.

2. Número de solicitud Recibirás un número de solicitud. Con este número podrás dar seguimiento a tu solicitud de interconexión.

3. Revisión de la instalación y requerimiento de obras Personal del área técnica de CFE acudirá a tu domicilio para revisar que el sistema FV cumpla con los requisitos técnicos correspondientes. CFE te informará de los resultados de la revisión, y en su caso, de las obras que se requiere construir o modificar para efectuar la interconexión, mismas que correrán a cargo del solicitante.

4. Firma de contrato y pago del importe Una vez que haya sido aprobado técnicamente, la persona que realiza el trámite acudirá nuevamente a la agencia comercial de CFE más cercana a firmar su contrato de interconexión y a pagar el importe correspondiente a la diferencia de costos de los medidores.

5. Instalación del medidor bidireccional Personal técnico de CFE acudirá a tu domicilio a cambiar el medidor.

6. Contrato de interconexión A partir de ese momento, ya tendrás un contrato de interconexión con CFE.

Para mayor información o actualización del proceso de interconexión en la siguiente tabla facilitamos la ubicación de documentos y reglamentos para este trámite.

Sitio de CFE en internet http://www.cfe.gob.mx/	Ubicación de agencias comerciales:	Inicio → Contacto → CFEmáticos y oficinas de atención
	Descarga de solicitud y documentos:	Inicio → Responsabilidad Social → Energía renovable

5.3 Incentivos

Actualmente, existen en México tres tipos de incentivos para la realización de proyectos de SFVI:

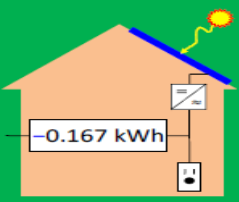
- ✓ Medición neta
- ✓ Depreciación acelerada
- ✓ Apoyo financiero

Medición neta.

“El Programa Sectorial de Energía 2007 – 2012, definió como lineamiento de política el establecimiento de mecanismos que permitan el funcionamiento de sistemas de medición neta, entre la red eléctrica y los usuarios que opten por tener capacidad de generación con energía renovable en sus hogares y pequeñas empresas. Esta directriz se concreto en junio de 2007, con la publicación del modelo de contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala, y que en 2010, se ha sustituido por el contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala.”¹³

Esquema de medición neta

- Se rige por un **Contrato de Interconexión** celebrado entre el usuario (persona física o moral) y la CFE, con duración indefinida.
- Es aplicable a servicio residencial hasta 10 kW_p.
- Es aplicable a servicio de uso general en baja tensión (< 1 kV) hasta 30 kW_p.
- Los medidores requeridos se instalan por la CFE, con cargo equivalente a la diferencia en costo con el medidor convencional.
- El usuario puede instalar y mantener a su propia costa medidores adicionales, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas de CFE.



Facturación de la medición neta

Para fines de facturación la medición neta se determinará como la diferencia:

energía eléctrica recibida de CFE *menos* energía eléctrica entregada a CFE

diferencia mayor que cero	diferencia igual a cero
Consumiste más energía que la que entregaste. Se considerará como un saldo a favor de la CFE y se facturará en la tarifa aplicable de acuerdo al contrato.	Consumiste la misma cantidad de energía que la que entregaste a CFE, por lo que se facturará el mínimo establecido en la tarifa en la que tienes tu contrato de suministro normal.

diferencia menor que cero

Entregaste más energía que la que consumiste, por lo que se considerará como un crédito energético a tu favor que podrá ser compensado dentro de los 12 meses siguientes, de no ser así dicho crédito se cancela. La facturación procede de la siguiente manera:

- a. se factura el mínimo establecido en la tarifa en la que tienes tu contrato de suministro normal y
- b. se te guarda virtualmente la energía que quedó a tu favor, para regresártela automáticamente en las siguientes facturaciones en las que se presenten diferencias mayores que cero.

Figura 5.1.- Información básica de la medición neta.

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)

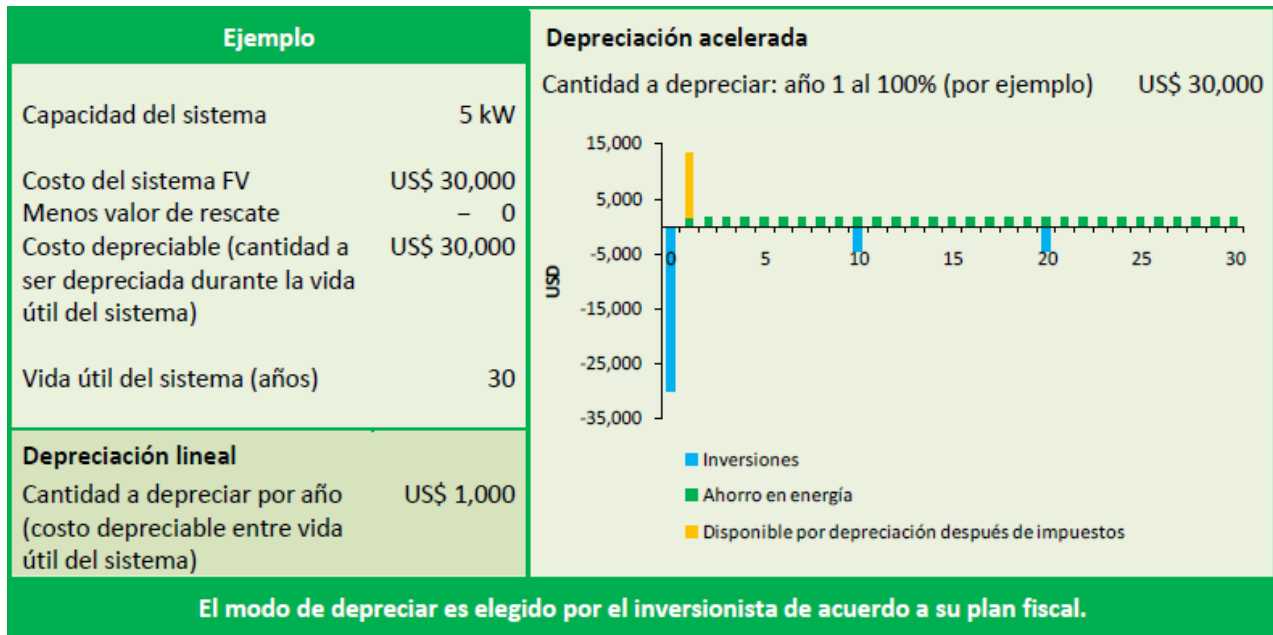
Depreciación acelerada

“Es un beneficio fiscal que se otorga solo a personas morales para la inversión en proyectos de energía renovable y se encuentra establecida en el artículo 40 de la Ley del impuesto Sobre la renta (LISR) desde el 2005 este mecanismo fiscal es aplicable a proyectos comerciales y sus características principales son las siguientes:

¹³ Guía de usuario SFVI con la red, Aplicaciones de pequeña escala. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Primera edición, 2010 pp.9

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

- Impulsa el uso de energía proveniente de fuentes renovables.
- Prevé la depreciación acelerada hasta por el 100% durante el primer año, de la maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables.
- Se sujeta a una operación mínima de 5 años. Esta es una condición para asegurar el cumplimiento del propósito de generación limpia.¹⁴



La depreciación acelerada es permitida por la ley y puede ser apropiada dependiendo de las necesidades de flujo de efectivo de una empresa. Cuando se aplica, se difiere el pago de impuestos y se libera flujo de efectivo.

Figura 5.2.- Ejemplo de depreciación acelerada de un sistema fotovoltaico.

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

Apoyo financiero.

“El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) financia la utilización de fuentes de energía renovable para la generación de electricidad, lo que incluye a los SFV conectados a la red, con capacidad hasta por 500 kW. Este apoyo financiero para la inversión tiene las siguientes características:

- Monto de financiamiento → 100% del proyecto.
- Interés → Tasa preferencial por debajo de la banca comercial.
- Plazo → Hasta 20 pagos trimestrales fijos (5 años).

¹⁴ Guía de usuario SFVI con la red, Aplicaciones de pequeña escala. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Primera edición, 2010 pp. 10

Instalación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica.

- *Sujetos de financiamiento*  *Personas morales.”*

Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)		
Mariano Escobedo 420 Col. Anzures 11590 México, D.F.	Tel. (55) 1101-0520 (Conmutador) FIDETEL 01-800-34-33-835 http://www.fide.org.mx/	El FIDE cuenta con oficinas en numerosas ciudades de la República Mexicana
Mecanismo de Operación de los Financiamientos FIDE para la utilización de fuentes de energía renovable		
<ol style="list-style-type: none">1. El usuario entrega al FIDE: (a) solicitud de apoyo, (b) carta de Buró de Crédito, (c) recibos de energía eléctrica, y (d) monto de la inversión.2. El FIDE consulta al Buró de Crédito y responde al usuario en 24 horas.3. La propuesta técnica, es responsabilidad del usuario, la cual elabora y entrega al FIDE.4. FIDE analiza la propuesta técnica–económica.5. De comprobarse la factibilidad técnico-económica, se aprueba el proyecto.6. Firma del contrato entre el usuario, el FIDE y el consultor/proveedor.7. Se lleva a cabo la ejecución del proyecto.8. Proyecto concluye satisfactoriamente (puesta en operación del sistema).9. El usuario inicia el reembolso del financiamiento y continúa haciéndolo hasta el plazo previsto.10. El FIDE da seguimiento hasta recuperar totalmente el financiamiento.		

Figura 5.3.- Requisitos para el financiamiento de fuentes de energía renovables.

Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

Conclusión.

Durante el estudio realizado y en base a la información recopilada en este documento, podemos corroborar la inigualable posición geográfica que tiene nuestro país a nivel mundial para la captación solar, sin embargo podemos ver que dentro de los proyectos realizados por la Comisión Federal de Electricidad no ha sido valorada como otras energías renovables.

Sin embargo hemos descubierto que para uso doméstico puede ser muy provechosa, resolviendo uno de los grandes problemas de inconformidad de la población cuando ven el alto costo en su recibo de consumo eléctrico. Es una solución que a mediano o corto plazo es redituable en ganancias.

Al realizar un análisis de consumo eléctrico en esta casa del municipio de Coyuca de Catalán en el estado de Guerrero, se realizó en tres bases fundamentales:

- Disponibilidad de espacio para la colocación de módulos fotovoltaicos.
- Reducción del consumo eléctrico.
- Limitación en el presupuesto para el proyecto.

Obteniendo como resultados en el primero, una excelente área para la colocación de los módulos fotovoltaicos con todas las condiciones favorables para su alto rendimiento y con ello no solo reducir el consumo eléctrico, sino tener la capacidad de producción eléctrica del más del doble de lo consumido bimestralmente.

Por consecuencia, la inversión realizada a un plazo de 4 años es retribuida por el nulo consumo eléctrico de la red distribuida por CFE.

De tal forma que este excedente de electricidad puede ser aprovechada para colocar un sistema de riego, a sabiendas que el principal recurso económico de esta región es la agricultura o bien mejorando el servicio público en la región como: alumbrado público, electrificación de escuelas, hospitales, etc.

Bibliografía

Libros

- La vulnerabilidad financiera de México: Entonces y ahora.
Erwan Quintin y José Joaquín López.
- Curso de energía solar; Antonio Madrid Vicente;
- CFE. Informe anual 2010
- "Instalaciones Solares Fotovoltaicas"
- Guía de usuario SFVI con la red, Aplicaciones de pequeña escala. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Primera edición, 2010.
- Energía Solar, Lluís Jutglar, Mcgraw-hill.

Revistas

- Boletín de prensa PDVSA
- Ecoosfera.
- INAH
- INEGI
- NREL, The Silicon Cell; Tums 50, con permiso de AT&T Bell Labs
- The Tribune News
- Greenergy
- Photon, La revista de fotovoltaica,

Diarios

- El Universal
- El economista,
- La Jornada Periódico La Jornada
- CNN México, Jueves, 17 de febrero de 2011
- larepublica.com.uy
- Zocalo.com.mx

Referencias de Internet

- www.cfe.gob.mx
- Diariportal.com
- EnLlineaDirecta.Info
- Campeche.com.mx

- SIPSE.com
- Greenpeace.com
- enrgiafotovoltaica.ws
- swera.unep.net
- alpe.wordpress.com
- placa-solar.com
- sustainable-tech.inf.um.es
- www.enova-sea.com
- Google Earth.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).