



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**ANÁLISIS DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR  
FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED PARA USO  
DOMESTICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

**PRESENTA**

**LUIS ANTONIO AGUILAR AVILA**

**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. ABEL VERDE CRUZ**

**Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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:**

Dedicado a mis padres Raúl y Juana; gracias por estar a mi lado para darme su apoyo y poder salir adelante, por sus palabras de aliento para terminar con bien esta etapa de mi vida ya que sin ellos esto no hubiera sido posible a ellos todo mi amor y cariño.

Gracias a mis hermanos que siempre han estado conmigo, a mis profesores por sus enseñanzas, a mis familiares y amigos por su apoyo en todo momento, a la FES Aragón y a la UNAM por formar parte de ellas.

Pero sobre todo gracias a Dios por darme los mejores padres y hermanos, por el gusto de conocer a todas estas grandes personas que han estado a mi lado y por formar parte de la universidad.



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITULO 1 LA ENERGÍA SOLAR .....</b>	<b>7</b>
1.1 Radiación solar, fuente de energía .....	7
1.2 Efecto fotovoltaico.....	10
1.3 Conversión fotovoltaica .....	10
<b>CAPITULO 2 LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>13</b>
2.1 Desarrollo de la energía fotovoltaica.....	13
2.2 Rentabilidad de la energía fotovoltaica.....	14
2.3 El ambiente y la generación de energía eléctrica fotovoltaica .....	15
<b>CAPITULO 3 GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO .....</b>	<b>17</b>
3.1 Producción .....	17
3.2 Capacidad y generación.....	18
3.3 Futuro de la energía fotovoltaica.....	20
<b>CAPITULO 4 EL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>21</b>
4.1 Tipos de instalaciones .....	21
4.2 Elementos del sistema .....	22
4.3 Células fotovoltaicas .....	23
4.4 Inversores.....	31
4.5 Controlador de carga .....	34
4.6 Acumulador.....	37
4.7 Estructura de soporte.....	40
4.8 Protecciones.....	43
4.9 Conductores .....	43
<b>CAPITULO 5 CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>45</b>
5.1 Análisis del sistema fotovoltaico y de consumo eléctrico .....	45
5.2 Calculo del sistema solar fotovoltaico .....	46
5.3 Trámites para la instalación .....	57
5.4 Costo de la instalación .....	60
5.5 Amortización del sistema.....	61
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
Anexo A: Módulo Solartec S60PC-270 .....	67
Anexo B: Inversor Fronius Galvo 2.0-1 .....	69
Anexo C: Solicitud de interconexión.....	71
Anexo D: Contrato de interconexión:.....	72
Anexo E: Programa especial del cambio climático 2014-2018 .....	75
Anexo F: Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México. ....	76
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>



# INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovable se encuentran a nuestro alrededor por esta razón en México y el mundo el uso de este tipo de energía esta aumentado considerablemente, en algunos países se ha llegado a generar lo suficiente para cubrir la demanda a cierta escala para su uso doméstico e incluso para su uso industrial.

La energía solar es aquella en la que se aprovecha la radiación de la luz solar para producir energía de una manera totalmente limpia y sin dejar residuos, la energía que se produce gracias al sol es prácticamente infinita ya que podremos contar con él durante muchos miles de millones de años, en definitiva el sol es una fuente de energía renovable de la cual podemos obtener energía térmica que es básicamente la captación del calor que produce el sol y la energía eléctrica fotovoltaica esta se produce de la captación de la radiación solar para producir electricidad.

Como objetivo de esta tesis se pretende hacer el análisis para obtener la viabilidad de la instalación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red para uso doméstico esto para el aprovechamiento de la energía solar y saber si el costo del sistema se justifica en un ahorro económico para no depender totalmente de una la energía suministrada por la red eléctrica.

Se dará a conocer cómo se puede generar energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos para así aprovechar la energía del sol en nuestra vida diaria.

A si mismo también en el capítulo dos se verá la historia de los módulos fotovoltaicos, su funcionamiento, distintas opciones de módulos que existen actualmente así como las configuraciones en su instalación.

Se analizara en el capítulo cinco un sistema de generación fotovoltaico con una configuración de uso doméstico conectada a la red de energía eléctrica, viendo desde la demanda de energía que se tenga que cubrir pasando por el equipo que se necesite así como las acciones legales y las normativas necesarias que se tengan que llevar acabo para tener el sistema en pleno funcionamiento y cumpliendo con las normas requeridas.



# CAPITULO 1

## LA ENERGÍA SOLAR

El sol es la estrella más cercana que tenemos a la Tierra y la principal fuente de energía con la que contamos, la radiación de este proporciona la energía que el planeta necesita, la energía solar con la que cuenta el planeta es prácticamente ilimitada ya que está disponible durante toda la vida del sol y esto debe ser suficiente para abastecer nuestras necesidades en el futuro próximo, ya que el sol irradia suficiente energía a la tierra para abastecer las necesidades mundiales de energía.

Los primeros registros que se tienen de la utilización de la energía solar provienen de los escritos de Grecia, Roma y China. En donde se hace mención de que dominaban la creación de fuego utilizando lentes y espejos quemantes que tenían como propósito la defensa de sus tierras. Durante los siglos XVII y XVIII se construyeron hornos solares en los cuales se usaba la radiación solar para realizar experimentos de cerámica, metalurgia y química.

### ***1.1 Radiación solar, fuente de energía***

La radiación del sol se mide en langleys por minuto esto equivale a una caloría de energía de radiación por centímetro cuadrado, la intensidad de radiación solar que se alcanza en cualquier punto de la tierra puede variar ya que esta depende del lugar, la hora y el clima que se tenga en ese momento, estos son factores que se deben tener en cuenta ya que dependiendo de dónde nos encontremos es que podemos depender con mayor tiempo y eficacia de ella.

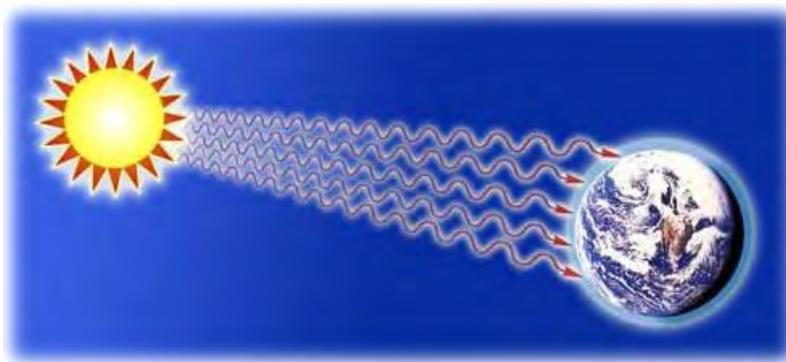


Figura 1: radiación solar llegando a la tierra

Para poder utilizar la radiación solar como fuente de energía la unidad que se usa es la *irradiación-pico* esta se obtiene con la medición de un captador en forma horizontal a nivel del mar al medio día solar el cual recibe una irradiación solar aproximada de 1000 W/m<sup>2</sup> el cual es su valor, por lo cual a la irradiación solar recibida por un captador durante una hora se le llama *hora-pico* por lo tanto su unidad se escribe:

$$1 \text{ hora-pico} = 1000 \text{ Wh/m}^2$$

Cuando se quiere saber las horas-pico de un lugar en específico se debe dividir el valor de irradiación diaria de ese sitio en Wh/m<sup>2</sup> entre 1000 W/m<sup>2</sup> así obtendremos el número de horas pico aproximadas en las que un captador (en nuestro caso una celda fotovoltaica) recibirá la mayor cantidad de irradiación solar.

La radiación solar es un fenómeno físico que se da gracias a la emisión de energía por parte del sol en forma de radiaciones electromagnéticas, también se debe tener en cuenta que no toda la energía del sol alcanza la superficie terrestre ya que aproximadamente un 20% se pierde al reflejarse en la atmosfera y regresando al espacio exterior.

La energía del sol que llega a la tierra para ser aprovechada en módulos fotovoltaicos corresponde a la suma de tres componentes que tienen la misma procedencia:

- Radiación directa: incide de manera directa en los objetos iluminados por el sol.
- Radiación difusa: se genera por la reflexión de la radiación solar absorbida por el aire y el polvo de la atmosfera.
- Radiación de albedo: esta es parte de la difusa pero con la diferencia que esta proviene del reflejo de la superficie de un material.



Imagen 2: componentes de la energía del sol aprovechada por los módulos fotovoltaicos.

La radiación total que incide en una superficie inclinada como será en una modulo fotovoltaico ya instalado es la suma de las componentes indicadas.

$$I_t = I_D + I_{dif} + I_{albedo}$$

Teniendo su valor de referencia en  $1000 \text{ Wh/m}^2$ .

-Horas pico solares (*hp*)

Este es un parámetro fundamental ya que interviene directamente en el dimensionamiento de las instalaciones donde se quiera aprovechar la energía solar, corresponde al número de horas en las que cada metro cuadrado de superficie captadora obtiene de modo constante 1000W de energía.

Los parámetros de la radiación solar se cuantifican mediante un conjunto de instrumentos destinados a diferentes situaciones, dentro del Instituto de Geofísica de la UNAM se cuenta con la siguiente estructura y recursos.

Un área de la Sección de Radiación Solar, cuenta con un área de investigación en donde se desarrollan las siguientes líneas:

- 1 Observatorio de Radiación Solar
- 4 Estaciones de la Red de Aerosoles Roboticas (AERONET por sus siglas en inglés)
- 1 Estación de medición de Ozono Estratosférico.
- 1 Laboratorio de registro y procesamiento de datos.

Y del Servicio de Radiación Solar:

- 12 Estaciones Solarimétricas distribuidas en todo el país.
- 12 Estaciones Meteorológicas.
- 1 Laboratorio de instrumentación con equipo estándar de calibración de sensores de radiación solar.
- 2 Radiómetros de Cavidad (HF y PMO)

## ***1.2 Efecto fotovoltaico***

Se llama así al efecto fotoeléctrico que es el resultado de la interacción de la luz con la materia caracterizado por la producción de una corriente eléctrica esto a partir de la absorción de radiación solar por medio de un material semiconductor en este caso las llamadas células o celdas fotovoltaicas hechas a partir del silicio, la principal característica del efecto fotovoltaico es que los materiales semiconductores dependen de una fuerza que los excite en este caso es la radiación solar.

Este efecto fue descubierto en el siglo XIX por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, pero no fue hasta que se desarrolló la física moderna que se pudo explicar dicho fenómeno. El efecto fotovoltaico aparece con la unión de dos materiales especialmente en semiconductores sólidos de diferente conductividad eléctrica y es en estos donde se han encontrado las mejores eficiencias de conversión, aunque también puede aparecer el efecto en líquidos y gases. Los materiales semiconductores que más se destacan para este uso son como ya se había mencionado el silicio ya sea cristalino o amorfo, así como también el arseniuro de galio, telurio de cadmio y cobre-indio-galio-selenio.

La generación de la corriente eléctrica se produce cuando la energía de los fotones incidentes es cedida a un material semiconductor en el que aparecen una cantidad de electrones portadores de corriente superior a la de equilibrio, el exceso en la concentración de los portadores que se produce y que tienen carga de signos opuestos se debe separar en el interior del semiconductor para que se pueda generar corriente eléctrica útil en el exterior. Un método de separación de cargas consiste en incorporar en algunas zonas del dispositivo un campo eléctrico, el dispositivo semiconductor más sencillo que reúne estas condiciones es una unión pn pues en ambas regiones se produce un campo eléctrico de alto valor, una célula solar se diseña de tal forma que la luz pueda penetrar en el material semiconductor.

## ***1.3 Conversión fotovoltaica***

Este método consiste en emplear los fotones de la radiación solar que interactúan sobre los electrones de las celdas fotovoltaicas para la generación eléctrica, estas celdas son colocadas en un panel el cual puede ser móvil para que se pueda tener la mejor exposición al sol o bien puede estar en un punto donde se le irradie la luz por medio de espejos direccionados hacia él, actualmente existen varias centrales generadoras pero al ser una tecnología con altos costos se tiene de manera experimental o en zonas que se

encuentran lejos de la red de distribución y que se tenga buen suministro de radiación solar.

Cualquier otro método que se utiliza hasta ahora primero necesita producir calor para después producir energía mecánica o eléctrica.

El silicio es el material que general mente se usa para la fabricación de células fotovoltaicas, dentro ellas se tendrá en dos capas las cuales deberán estar separadas por una junta para que sean capas neutras, a una de estas capas se le dopa con fosforo para tenga una carga negativa a la que se le llamara "capa N" y la otra será dopada con boro para tener una carga positiva a la que se le llamara "capa P".

El campo eléctrico se crea cuando los fotones que provienen de la radiación del sol llegan a la célula fotovoltaica con suficiente energía provocando que los electrones de la capa N la absorban haciendo que se conviertan en conductores, el circuito eléctrico se crea conectando las capas positiva y negativa de la célula por medio de un cable conductor y estará en funcionamiento mientras este reciba la radiación del sol es por esto que se puede tener mayor generación al medio día, también dependiendo de la zona en que se encuentra y por los meses del año pueden ya que se pueden tener diferentes tipos de climas.

Además de los semiconductores las células están formadas por una malla metálica superior que sirve como contacto para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico, también en la parte superior de la célula hay un vidrio o mica plástica que sirve de material encapsulante transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales y una capa antireflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

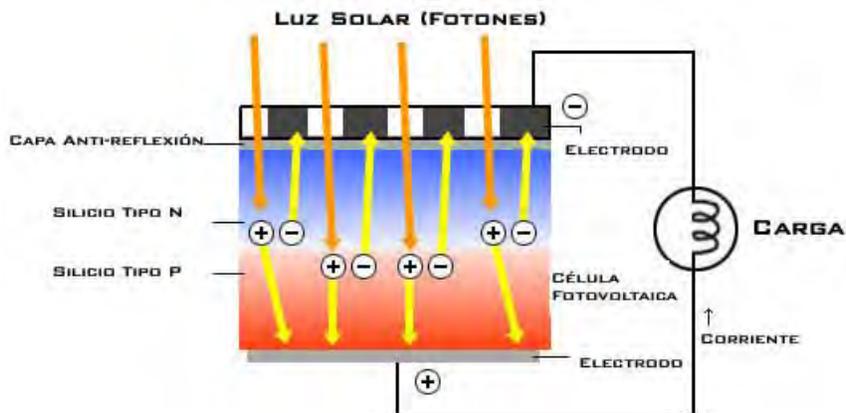


Imagen 3: funcionamiento de la célula fotovoltaica.

Las células dentro de su encapsulado protector son conectadas para formar el módulo fotovoltaico los cuales están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje, las estructuras de estos módulos protegen la células del medio ambiente y otros factores además son flexibles y durables.

El rendimiento de conversión es la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, es fundamental que la el rendimiento sea el mejor posible esto para que la generación de energía solar fotovoltaica sea competitiva ante otras fuentes de energía principalmente ante las fuentes de origen fósil.

Para aprovechar la conversión fotovoltaica se usan los sistemas fotovoltaicos y estos se pueden clasificar en autónomos y conectados a la red eléctrica y se pueden usar en diferentes aplicaciones como lo son:

- Electrificación rural: se usa en lugares de difícil acceso como pueden ser en viviendas de uso temporal o refugios de montaña.
- Electrificación urbana: se usa en el alumbrado público y de edificios públicos como museos o colegios.
- Electrificación doméstica: su uso generalmente es en viviendas unifamiliares, casas particulares o en comunidades y cooperativas.
- Telecomunicaciones terrestres: se usa para dar energía a aparatos de telefonía terrestre y móvil, comunicación para navegación aérea y marítima, repetidores y reemisores de radio y televisión, etc.
- Telecomunicaciones espaciales: se usa para que los paneles solares de los satélites les dan una autonomía indefinida.
- Seguridad y señalización: se usa en dispositivos como las alarmas, señalización, faros, pasos de trenes, aeropuertos, autopistas.

# CAPITULO 2

## LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

### *2.1 Desarrollo de la energía fotovoltaica*

-En 1838 el francés Alexandre Edmond Becquerel descubrió por primera vez el efecto fotovoltaico consistente en la aparición de una tensión entre los bornes de un material semiconductor expuesto a la luz, pero hasta 1839 publicó su primer artículo donde habla sobre los efectos de la temperatura en la emisión de luz fosforescente con lo cual demostró que la luz se estimula por frecuencias de luz específicas y que en ocasiones el resplandor fosforescente parecía detenerse inmediatamente después del corte de rayos luminosos.

-En 1873 el ingeniero eléctrico inglés Willoughby Smith mientras trabajaba con cableado eléctrico submarino para telégrafo descubrió algo inusual en el selenio y era su extraordinaria sensibilidad a la luz, cuando se iluminaba su resistencia eléctrica disminuía pero al sumergirlo en el mar y estando en la oscuridad su resistencia aumentaba mucho. Esto era un problema para probar cables telegráficos, pero una propiedad con gran utilidad para muchas otras cosas, así fue como se obtuvo el primer semiconductor fotosensible. La investigación que surgió a partir de su descubrimiento la publicó en "Nature" con el título "Effect of Light on Selenium during the passage of an Electric Current" (Efecto de la luz sobre el selenio durante el paso de una corriente eléctrica).

- En 1877 El inglés William Grylls Adams profesor de Filosofía Natural en la King College de Londres junto con su alumno Richard Evans Day descubrieron que cuando exponían selenio a la luz generaba electricidad. De esta forma crearon la primera célula fotovoltaica de selenio, para poder comprobar que este material respondía a la luz hicieron varias pruebas con velas encendidas hasta que pudieron ver que la generación eléctrica se debía al haz de luz de la vela y no al calor que generaba la llama de ella.

- En 1921 Albert Einstein gana el Premio Nobel de Física por su investigación sobre el efecto fotoeléctrico en donde descubrió que al iluminar con luz violeta (que es de alta frecuencia) los fotones pueden arrancar los electrones de un metal y producir corriente eléctrica. Descubrieron cómo controlar la introducción de las impurezas necesarias para transformar el silicio de un conductor pobre a un superior de electricidad.

- El 25 de abril de 1954 los ejecutivos de Bell celebraron una conferencia de prensa donde impresionaron a los medios con la “batería solar Bell” esta alimentaba un transmisor de radio que transmitía voz y música.

- En 1955 los laboratorios de la Bell Telephone en EUA realizaron las primeras pruebas al alimentar un repetidor telefónico en Georgia alimentado por energía fotovoltaica, sin embargo su principal desarrollo se debió a su utilización en satélites artificiales esta técnica se probó por primera vez en el año de 1958 en el satélite Vanguard I el cual tenía transmisor de radio que estaba alimentado por células de silicio.

- Las células solares se utilizaron en los satélites de EEUU y soviéticos lanzados a partir de finales de los 50.

- Las primeras células solares disponibles comercialmente no aparecieron sino hasta 1956 aunque su costo aún era muy elevado para la mayor parte de la gente hasta llegar a 1970 aproximadamente, cuando el precio de las células solares baja aproximadamente un 80%.

## ***2.2 Rentabilidad de la energía fotovoltaica.***

Este tipo de generación eléctrica generalmente se utiliza en lugares alejados de la red eléctrica pues este motivo hace que sea más rentable la inversión en este sistema que hacer llegar la red a esos puntos.

El incremento de los costos de las tarifas de energía eléctrica hace que mucha gente se interese en otros tipos de generación que le resulten mejores para su economía una de estas opciones es la energía fotovoltaica la cual en estos momentos tiene altos costos de inversión pero al mismo tiempo las empresas que realizan instalaciones de estos sistemas tienen atractivos planes de financiamiento para que se pueda adquirir el sistema fotovoltaico pagando mensualmente esto hace que se pueda tener una recuperación de inversión en un aproximado de cinco años.

El retorno de inversión en costo y en tiempo dependen del tipo de instalación que se quiera poner y de la facturación de energía eléctrica que se pague ya que por los costos de los equipos que forman parte del sistema fotovoltaico en México se recomienda la instalación en lugares donde los consumos sean elevado esto quiere decir que se esté pagando en la tarifa de alto consumo (DAC) pues de esta manera lo que se pagaba de

electricidad a la Comisión federal de Electricidad se estará pagando por el sistema de generación fotovoltaica.

La energía fotovoltaica en México es un mercado muy atractivo para invertir sin embargo su producción se encuentra sumamente rezagada, incluso respecto a otros tipos de energías renovables. El mercado emergente de producción de electricidad con energía fotovoltaica es sumamente rentable, México es el quinto país con mayor potencial para su desarrollo.

### ***2.3 El ambiente y la generación de energía eléctrica fotovoltaica***

La mayor parte de la energía eléctrica en el mundo es generada por combustibles fósiles los cuales al ser quemados producen emisiones de gases de efecto invernadero los cuales son causantes del calentamiento global, con el uso de sistemas de generación amigables al medio ambiente en este caso de la energía fotovoltaica se pueden evitar las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Además existe un beneficio económico al generar este tipo de energía eléctrica son “los bonos de carbono” los cuales consisten en que al no generar emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmosfera estos se pueden vender y depende del país que se puede dar diferentes precios de los bonos pero esto es más rentable para compañías que producen energías limpias en grandes cantidades.



# **CAPITULO 3**

## **GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA EN MÉXICO**

Gracias a la ubicación geográfica del país México tiene una gran oportunidad para aprovechar este tipo de producción ya que cuenta con buenas zonas de radiación solar que pueden ser aprovechados para la generación eléctrica por este sistema.

En varios estados de la republica existen puntos que tienen altos niveles de radiación solar esto se puede medir gracias a una red de 130 estaciones automáticas con sensores de radiación solar del Sistema Meteorológico nacional pero se necesitarían más para tener una medición exacta (estos sensores fueron puestos para medir precipitaciones pluviales).

Actualmente se cuenta con varias centrales de generación fotovoltaica en México; dos de Comisión Federal de Electricidad, seis de autoconsumo y una de Pequeña Producción:

### ***3.1 Producción***

Comisión Federal de Electricidad:

- “C.S.F.V. Cerro Prieto” ubicada en el estado de Baja California con una capacidad instalada de 5 MW.
- “C.S.F.V. Santa Rosalía (Tres Vírgenes)” ubicada en el estado de Baja California Sur con una capacidad instalada de 1 MW.

Autoconsumo:

- “Autoabastecimiento renovable, S. A. de C. V.” ubicada en el estado de Aguascalientes con una capacidad instalada de 0.8 MW.
- “Coppel, S. A. de C. V.” ubicada en el estado de Sonora con una capacidad instalada de 1 MW.
- “Generadora Solar Apaseo, S. A. P. I. de C. V.” ubicada en el estado de Guanajuato con una capacidad instalada de 1 MW.

- “Iusasol Base, S. A. de C. V.”, ubicada en el estado de México con una capacidad instalada de 0.9 MW.
- “Plamex, S. A. de C. V.”, ubicada en el estado de Baja California con una capacidad instalada de 1 MW.
- “Tai Durango Uno, S. A. de C. V.”, ubicada en el estado de Durango con una capacidad instalada de 15.6 MW.

Pequeña producción:

- “Servicios Comerciales de Energía, S. A. de C. V. (Aura Solar)”, ubicada en el estado de Baja California Sur con una capacidad instalada de 30 MW.

### 3.2 Capacidad y generación



Imagen 4: Capacidad y generación de energía eléctrica fotovoltaica en México.

El incremento de la capacidad instalada y la generación de energía eléctrica fotovoltaica ha ido incrementando esto de 18.5 MW y 8.8 GWh en el año 2007 a 170.24 MW y 190.26 GWh en el año 2015, esto se debe al crecimiento de contratos de interconexión de pequeña y mediana escala que han tenido un incremento desde 2010.

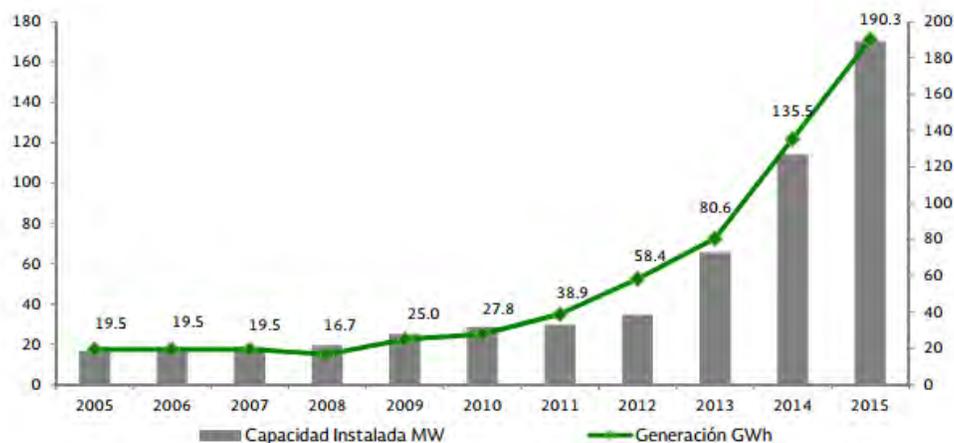


Imagen 5: Capacidad instalada y generada en centrales fotovoltaicas en México.

Según la secretaria de energía en 2014 la producción de energía solar fue de 0.1%

Con la reforma energética se han abierto la puerta a la creación de nuevas centrales de energía solar fotovoltaica ejemplo de esto son la que se ubicaran en el estado de Aguascalientes teniendo una capacidad instalada de 395 MW en conjunto.

- En el municipio de EL Llano se ubicara la centras “Pachamama” con una capacidad instalada de 300 MW, en el municipio de Pabellón Arteaga se ubicara la central “Horus AG” con una capacidad instalada de 95 MW.

En el estado de sonora también se llevara a cabo la construcción de cinco centrales fotoeléctricas que representaran una capacidad instalada de 498 MW.

- Se construirán las centrales “Tastiota” de 100 MW de capacidad instalada, central “El Mayo” de 99 MW de capacidad instalada, central “Platan Solar FV Bacabachi” de 200 MW de capacidad instalada, central “Abril 99” de 99 MW de capacidad instalada.

### ***3.3 Futuro de la energía fotovoltaica***

En el mundo la energía fotovoltaica está comenzando a crecer de manera importante esto se debe a que han ido disminuyendo los costos para la generación de energía solar fotovoltaica con esto tiene mayores posibilidades de competir con otros tipos de generación, pues así está más al alcance de la población poder adquirir estas tecnologías de generación.

México tiene proyectado un crecimiento de 568.2% en el cual contando con 1,031.2 MW en 2016 a 6,890.9 MW para el año 2030.

# CAPITULO 4

## EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los sistemas fotovoltaicos no solo están formados por diferentes elementos para su pleno funcionamiento también dependiendo de los requerimientos que se tengan de energía eléctrica depende su configuración, en el presente capítulo se presentaran estas configuraciones así como los elementos que conforman el sistema.

### 4.1 Tipos de instalaciones

Existen dos tipos de instalaciones para este tipo de sistemas; los autónomos y los que tienen conexión a la red eléctrica.

#### - Sistema autónomo

Estos generalmente son utilizados en zonas rurales o de difícil acceso, pues el tendido de la red eléctrica en estos lugares no es rentable por lo tanto es más económico usar este tipo de sistemas.

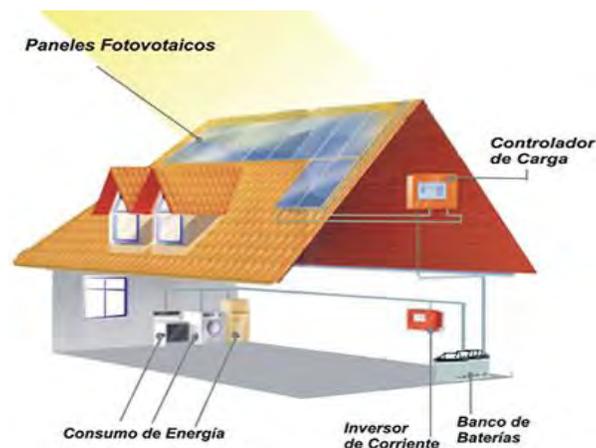


Imagen 6: elementos del sistema autónomo.

- *Sistema conectado a la red para uso domestico*

Estos sistemas son pequeñas centrales de generación eléctrica ya que el tener una interconexión los excedentes de energía se pueden ir directo a la red y así mismo durante las horas con falta de luz solar la red le proporciona la energía que necesite.



Imagen 7: elementos del sistema conectado a la red para uso doméstico.

## **4.2 Elementos del sistema**

Los elementos o equipos que forman parte de un sistema fotovoltaico son indispensables ya que estos hacen que tenga un funcionamiento óptimo, a continuación se mencionaran cuáles son los componentes que conforman cada tipo de instalación.

Sistema autónomo:

- Modulo fotovoltaico
- Inversor
- Regulador de carga
- Banco de baterías
- Cargas eléctricas

Sistema conectado a la red:

- Modulo fotovoltaico
- Inversor
- Protecciones
- Medidor bidireccional
- Conexión a la red eléctrica
- Cargas eléctricas

También se debe mencionar que en ambos tipos de sistemas se debe tener en cuenta elementos como lo son las estructuras de soporte para los módulos, las protecciones para la instalación así como el cableado que se utilizara en ella.

#### ***4.3 Células fotovoltaicas***

Las células fotovoltaicas es el único sistema capaz de convertir de forma inmediata y directa la radiación luminosa en electricidad, esto quiere decir que cuando la radiación solar se refleja en un material conductor se liberan electrones dando así la generación eléctrica.

El silicio es elemento que se utiliza principalmente para la creación de las células fotovoltaicas de los paneles solares, la célula básicamente es una lámina de este elemento dopado y de un espesor de 0.3 mm aproximadamente, formada con los siguientes elementos:

- Recubrimiento anti reflectante; esto para aprovechar al máximo la luz solar que llega evitando que se refleje y dándole el rendimiento más óptimo.
- Contacto metálico superior; realiza el contacto con los equipos exteriores y está formado por una fina lámina metálica que se encuentra en forma de peine ya que al encontrarse en la parte expuesta al sol de panel debe dejar pasar la mayor cantidad de radiación a él.
- Capas tipo N y P
- Contacto metálico inferior; es una lámina metálica también destinada a realizar contacto con los equipos exteriores, como su nombre lo dice se encuentra en la parte inferior del panel.

En las capas N y P los electrones circulan de una capa a la otra y la corriente que se genera circulan al circuito exterior esto del contacto superior al inferior, sus polos positivo y negativo son la cara superior (iluminada) y la inferior respectivamente.

Las células son conectadas den serie hasta conseguir el voltaje nominal que se requiera y en paralelo para obtener su potencia nominal. Estas células son muy frágiles por tal motivo están provistas de protección que es una capsula de plástico las cuales al estar en su configuración deseada se colocan dentro de un panel metálico (aluminio) en su borde y parte inferior así como en la superior una cubierta de vidrio para protegerlas de los fenómenos atmosféricos y agentes externos.

- Recombinación en la zona de carga espacial (lob)

En esta zona los portadores se recombinan originando una corriente que es predominante en bajas polarizaciones y en la oscuridad, para ser evaluada la corriente se representa por la característica  $I(V)$  similar a la del diodo de unión pero con un factor de idealidad superior a la unidad e igual a 2. Esto quiere decir que la dependencia de corriente con la tensión tendrá la forma  $\exp(V/2V_T)$  y se represente con un diodo en el circuito equivalente.

### Resistencia

El circuito equivalente de los paneles está formado por un generador, un diodo y dos resistencias una en serie y otra en paralelo, simulando así las imperfecciones del panel.

- Resistencia en serie ( $R_s$ )

Es un parámetro que tiene en cuenta las caídas de tensión y quizá es el parámetro secundario más importante en el dispositivo esto porque además de condicionar el rendimiento individual de una célula solar también en la mayoría de las aplicaciones deben asociarse varias en serie, el origen de este parámetro puede variar siendo algunos de ellos la resistencia del emisor debida al flujo transversal de corriente, la resistencia de los peines metálicos. En una célula individual las expresiones más comunes que se utilizan son:

- Componente de la base (Rb)

Este simplemente es la resistencia del volumen.

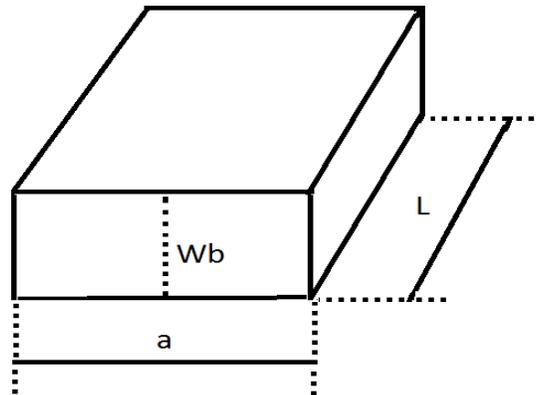


Imagen 8: resistencia del volumen

Y se da con la expresión:

$$R_b = \rho_b \frac{W_b}{\alpha L}$$

La resistividad de la base  $\rho_b$  es inversamente proporcional al dopado de la misma.

- Componente de la región difundida (Rj)

Este componente es el emisor de la célula y contribuye también a la resistencia serie total, se da con la expresión:

$$R_j = \frac{\rho_j \alpha}{12n^2 L}$$

Donde  $\rho_j$  es la resistencia de cuadro de la capa difundida y n el número de dedos del peine colector.

- Componente del peine colector ( $R_c$ )

Este componente puede ser pequeño esto a que se pueden utilizar metales los cuales tienen una resistividad muy pequeña frente a la de la capa difundida, y se da con la expresión:

$$R_c = \frac{\rho_m L}{3\gamma_m a}$$

Donde  $\rho_m$  es la resistencia del cuadro de metal y  $\gamma_m$  es el coeficiente del área del metal y el área total del dispositivo.

- Resistencia paralelo ( $R_{sh}$ )

Esta resistencia engloba fugas de corriente que se producen en zonas periféricas del dispositivo esto se debe a defectos que se pudieron haber producido en el proceso de fabricación, esto generalmente es despreciado en dispositivos de alto rendimiento.

- Circuito equivalente

La operación de la célula solar puede representarse con el siguiente circuito equivalente:

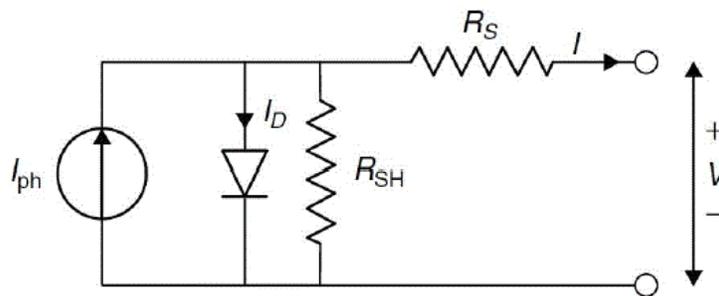


Imagen 9: circuito equivalente de la célula solar

- Factor de forma o factor de llenado (FF)

Es la relación entre la potencia máxima que puede proporcionar el panel y la que podría generar si fuera capaz de suministrar la intensidad de corto circuito a la tensión del circuito abierto.

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{(V_{oc} * I_{sc})}$$

Para que un módulo fuera perfecto se necesitaría que las resistencias serie y paralelo fueran nulas en él así la tensión máxima sería igual a la de circuitos abierto ( $V_{mp} = V_{oc}$ ) y la corriente máxima sería igual a la de cortocircuito ( $I_{mp} = I_{sc}$ ) de esta forma el comportamiento que se tendría sería el ideal.

De esta manera la potencia máxima de un elemento ya sea la célula o el modulo puede calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$P_m = V_{mp} \cdot I_{mp}$$

$$P_m = FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}$$

Para que el rendimiento de un elemento sea alto se necesita que su resistencia serie sea baja y que su resistencia paralelo sea alta, en resumen que su factor forma FF sea próximo a la unidad.

- De igual manera el circuito equivalente para una célula solar iluminada es:

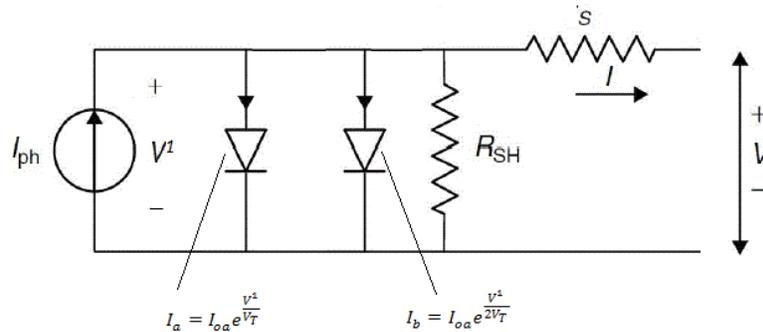


Imagen 10: circuito equivalente célula solar iluminada

Así del circuito equivalente con la célula iluminada se puede deducir la relación corriente-tensión en los terminales de dispositivo.

$$I = I_{ph} - I_a - I_b - \frac{V + IR_s}{R_{sh}}$$

Donde

$$I = A J_o \left( e^{\frac{V+IR_s}{V_T}} - 1 \right) = I_{oa} \left( e^{\frac{V+IR_s}{V_T}} - 1 \right)$$

$$I_b = I_{ob} \left( e^{\frac{V+IR_s}{2V_T}} - 1 \right)$$

Y

$$I_{ph} = (A - A_c)J_{ph}$$

Siendo  $A_c$  el área cubierta por la metalización.

De la primera ecuación se deduce que la corriente generada y la de corto circuito coinciden cuando la resistencia en paralelo es muy grande y la resistencia en serie muy pequeña. En ocasiones para simplificar la ecuaciones antes mencionadas, se supone que el área cubierta por la metalización es mucho menor que el área total.

*Características:*

- Curva (I-V)

Al exponerse a la luz y tener una conexión con un circuito exterior las células o paneles fotovoltaicos generan una diferencia de potencial entre sus bornes y circula una intensidad determinada el par de valores varia al modificar la resistencia del circuito exterior dando una representación gráfica de esta relación.

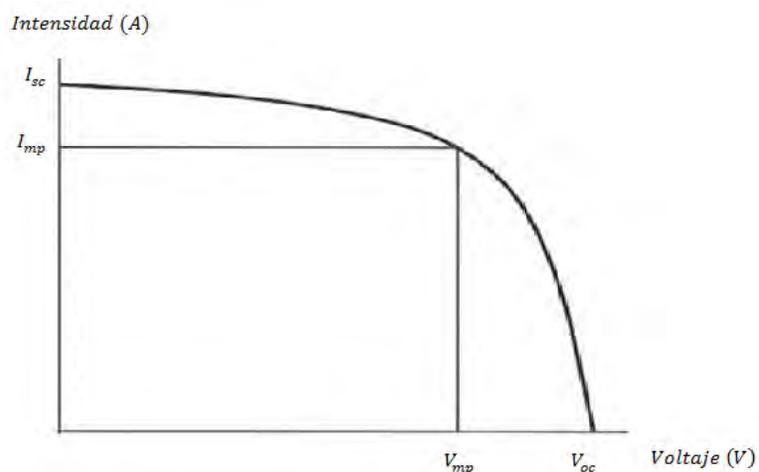


Imagen 11: curva (I-V)

- Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ )

Es la intensidad máxima que se puede generar; es la corriente que circula por el panel cuando la tensión entre los bornes es nula se puede obtener al medir con un amperímetro de impedancia.

- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )

Es la tensión máxima que se puede suministrar y es superior a la del panel; es la tensión que suministra el panel cuando la resistencia exterior es infinita se puede medir con un voltímetro de impedancia.

- Potencia máxima ( $p_m$ )

La potencia generada está dada por el producto tensión-intensidad, como la potencia es nula cuando lo es la tensión o la intensidad entre estas dos condiciones se alcanzara un punto donde la potencia será la máxima posible.

- Intensidad máxima ( $I_{mp}$ )

Es el punto de trabajo de máxima potencia, siempre se cumple la desigualdad  $I_{mp} < I_{sc}$

- Tensión máxima ( $V_{mp}$ )

Es el punto de trabajo de máxima potencia, siempre se cumple la desigualdad  $V_{mp} < V_{oc}$

- Rendimiento

Es la relación entre la potencia generada y la potencia de la radiación incidente, a medida que las condiciones de trabajo del panel se alejan del punto máximo de potencia el rendimiento va disminuyendo y cuando la tensión sobrepasa la máxima potencia este cae bruscamente.

Dependiendo de su composición las celdas se catalogan en monocristalinas, policristalinas y amorfas (capa fina):

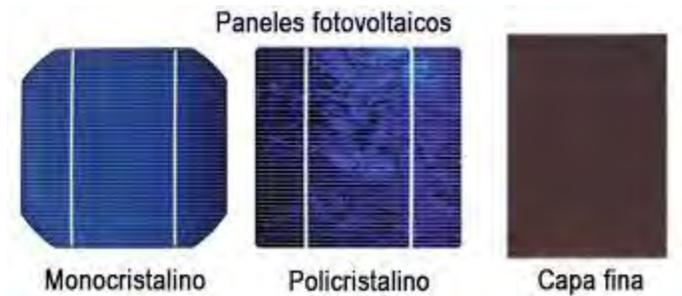


Imagen 12: composición de celdas fotovoltaicas.

- Monocristalinas:

Este tipo de celdas se obtiene cortando un cristal de silicio en forma octagonal o circular, este tipo de celdas es de costo elevado ya que para su fabricación se realiza un solo corte aun así se puede mencionar que son las mas eficientes que existen en este momento.

- Policristalinas:

Al igual que las monocristalinas estas celdas están hechas con silicio pero a diferencia de ellas estas se hacen con un conjunto de partículas cristalizadas de silicio, son menos costosas pero también tienen menos eficiencia y se deben montar en marcos para su protección.

- Amorfas:

Estas celdas son hechas sobre con silicio no cristalizado en una base de diferentes materiales, tienen una eficiencia mucho menor que las anteriores su potencia se ve reducida al inicio de su instalación pero con el tiempo se empieza a estabilizar y su reducción de potencia es menor, su costo es más económico que las anteriores y su montaje es más fácil ya que por el material en el que se montan son ligeras y flexibles.



Imagen 13: paneles solares instalados

También se debe recordar que dependiendo de la demanda que se necesite de energía eléctrica es la configuración y número de paneles que se tengan dentro de una instalación estos paneles deben tener cierta inclinación ya que esta ayudara a que los fotones provenientes de la radiación solar lleguen con más fuerza y se tenga mejor rendimiento, los paneles cuentan con un recubrimiento de vidrio el cual los protege del medioambiente así como de una capa anti reflexiva la cual ayuda a que se obtenga la mayor cantidad de fotones dándole el mejor rendimiento posible a la instalación.

El tipo de conexión dentro de un sistema fotovoltaico también es muy importante pues este tiene que ver con las necesidades que se tengan para el sistema; por ejemplo una conexión en serie es para obtener la tensión deseada y en paralelo para obtener la intensidad eléctrica adecuada esto para obtener la potencia eléctrica deseada, en serie-paralelo se puede aumentar la tensión o la intensidad.

#### ***4.4 Inversores***

Son un elemento capaz de convertir la energía de corriente continua en energía de corriente alterna esto es indispensable dentro de un sistema fotovoltaico ya que estos sistemas generan energía de corriente continua, esto quiere decir que suministrara energía eléctrica con la menor cantidad posible de distorsión armónica, para que al

utilizarla se puedan evitar daños en los aparatos eléctricos que se tengan conectados al sistema.

Esta conversión se puede hacer de diferentes métodos y estos dependen de la utilización que se le dará a la corriente de salida ya que entre más pura sea la señal senoidal se podrá utilizar en equipos más complejos así como proporcionar una mayor seguridad en los equipos.

### *Tipos de convertidores*

- Convertidor continua-alterna (DC/AC)

Se encargan de convertir la corriente continua en alterna, son los más usados en la generación fotovoltaica ya que esta genera corriente continua y para poderla usar dentro de una instalación doméstica se necesita alterna además que en sistemas interconectados se tiene que convertir para poder enviarla a la red eléctrica nacional.

- Convertidor continua- continua (DC/DC)

Se encarga de convertir la tensión de la corriente continua en entrada en corriente continua de salida pero con una tensión distinta, suele usarse en sistemas de regulación con seguimiento del punto de máxima eficiencia de los paneles en un sistema fotovoltaico.

- convertidor alterna-continua (AC/DC)

Se encarga de convertir corriente alterna en continua y se les conoce más como rectificador.

- Convertidor alterna-alterna (AC/AC)

Se encarga de convertir la corriente alterna de alimentación en corriente alterna pero con distinta frecuencia esta puede ser mayor o menor, a esto se le conoce más como invertir.

*Existen dos tipos de forma de onda de la corriente alterna de salida*

- Onda cuadrada, onda sinusoidal modificada (MSW):

La mayoría de los inversores usan un transformador en el cual se hace pasar la corriente continua varias veces de una dirección a otra, la corriente cambia de polaridad mientras pasa por la cara primaria del transformador y al salir por la secundaria cambia su frecuencia el flujo de la corriente que pasa por el primario es muy rápida por esta razón se tiene una onda cuadrada. Este tipo de inversores son más baratos pero también generan armónicos lo que los hace menos eficientes, se recomienda su uso para aparatos eléctricos de bajo consumo o luminarias, no son recomendado para equipos con un alto consumo como los motores de inducción ya que pueden generar picos al momento de encenderlos.

- Onda sinusoidal pura (PSW)

Este inversos genera una corriente de salida que divide en ciclo en intervalos de tiempo más pequeños, para poder generar una forma de onda lo más pura posible. Esto para que se puedan alimentar equipos eléctricos más sofisticados como televisores o computadoras así como tener la posibilidad de tener la conexión bidireccional con la red eléctrica nacional.

### *Características*

- Entrada

Tensión máxima de la corriente continúa.

- Salida

Tensión eficaz de la corriente alterna de salida, potencia (VA) y su frecuencia.

- Consumo en vacío

Potencia que consume el convertidor cuando la carga no está conectada.

- Eficiencia

Relación entre potencia suministrada y potencia consumida en condiciones nominales de funcionamiento.

- Calidad de la corriente de salida

Depende de la estabilidad de la tensión, frecuencia de la corriente de salida y distorsión de onda.

#### ***4.5 Controlador de carga***

Un controlador de carga o regulador es un dispositivo que se encarga de controlar el voltaje y la corriente que generan los paneles solares, esto para poder tener control de la carga de un banco de baterías y regular su intensidad de carga esto para tener la protección adecuada y un óptimo funcionamiento de ellas y poder alargar su vida útil, ya que sin los controladores no se podría tener control de la carga que entra a las baterías estas al sobre cargarse se podrían calentar y generar en riesgo a la instalación fotovoltaica.

Para seleccionar el tipo de voltaje de un controlador se necesita que sea compatible con el sistema esto quiere decir que si nuestro banco de baterías funciona a 12v el controlador también tiene que ser de 12v, generalmente se les puede encontrar de voltaje fijo pero también existen algunos con mayor tecnología que les permite operar a diferentes voltajes este al ser conectado al banco de baterías automáticamente selecciona el voltaje de operación.

También se tiene que tener en cuenta la corriente de corto circuito que es la corriente máxima que puede generar un panel solar esta se puede encontrar en los datos de placa del panel o en su hoja de datos, se recomienda tener un cierto porcentaje extra por seguridad ya que se podría generar un exceso de corriente con algún evento aislado como podría ser nieve al rededor del panel o un espejo de agua.

Los acumuladores tienen diferentes funciones dentro del sistema esto para que pueda tener el mejor funcionamiento de este.

- Sobredescarga

Controla los niveles de carga del banco de baterías ya que durante su descarga puede llegar a niveles muy bajos que pueden alterar su funcionamiento, esto puede suceder durante las noches o en situaciones meteorológicas que no permitan una buena generación esto puede ser durante los días de lluvia o nublados cuando se tienen estas situaciones el regulador desconecta los acumuladores del generador.

- Sobrecarga

Controla el nivel de carga en los acumuladores esto para evitar que se sobrecarguen ya que puede provocar emisión de gases y pérdida de electrolitos además de que se pueden calentar y generar situaciones de alto riesgo en el sistema, cuando desaparece el riesgo de sobrecarga el regulador vuelve a conectar los acumuladores al generador.

- Temperatura del electrolito

Controla la tensión de carga esto en función de la temperatura del electrolito ya que las características de los acumuladores dependen de su temperatura de trabajo.

- Voltaje flotante

El control de la regulación de carga con voltaje flotante ayuda con el problema que se genera con la operación del sistema ya que la apertura y cierre del circuito entre el generador y los acumuladores puede acortar la vida útil de estos.

- Desconexión del acumulador

Como se mencionó anteriormente durante las noches o en situaciones de poca luz no se genera la suficiente energía por esta razón el regulador aísla los acumuladores del generador.

- Temporizador de desconexión

El temporizador retrasa durante unos segundos la desconexión de la carga para evitar cortes no deseados, esto puede suceder cuando los niveles de carga son aceptables pero la tensión está por debajo de los niveles aceptados.

- Igualación de niveles de carga

Controla el paso de energía a las baterías esto cuando no todas tengan el mismo nivel de carga, consiste en someter de manera periódica y controlada las baterías a una ligera sobrecarga.

- Circuito de desvío

Controla la carga del acumulador cuando esta al máximo desviando la corriente generada a un circuito de descarga o a otras cargas de la instalación.

Los acumuladores cuentan con alamas acústicas y luminosas, un control asistido por microprocesador o un ordenador, algunos más modernos también tienen una pantalla en la cual se pueden visualizar los diferentes parámetros de la instalación los cuales pueden ser la potencia que se genera y se consume, la temperatura del banco de baterías, etc...

En función de sus configuraciones internas existen dos tipos de reguladores.

- Regulador serie

Este tipo sirve para interrumpir la conexión del generador y acumulador cuando las baterías están cargadas para así evitar alguna sobrecarga y así mismo descarga las baterías a través de los colectores de polaridad inversa, de igual forma cuando se tiene un nivel bajo de carga en las batería realiza una desconexión.

La ventaja es que no necesita de un diodo en su instalación para asegurar el sentido de la corriente ya que esta función la realiza el interruptor.

- Regulador paralelo

Como variable de control también utiliza la tensión de las baterías pero, este deriva el exceso de corriente a un circuito de disipación de potencia conectado en paralelo con el acumulador.

Se le debe instalar un interruptor o un diodo para así evitar la descarga de las baterías a través del circuito de disipación.

Cabe mencionar que este tipo de reguladores se suele utilizar en instalaciones de baja potencia ya que su rendimiento es bajo pues disipa una pequeña parte de la energía generada.

#### ***4.6 Acumulador***

El acumulador es un dispositivo que almacena energía eléctrica mediante el uso de procedimientos electroquímicos, para después devolverla de nuevo en forma de energía eléctrica. Su funcionamiento se basa en la reacción electroquímica de dos sustancias las cuales una se oxida y otra se reduce, cuando se conectan eléctricamente se puede establecer un intercambio de electrones creando una corriente eléctrica; para esto se debe tener dos electrolitos, un electrolito para el intercambio de iones y estar conectada a un circuito el cual permita la circulación de electrones.

##### *Tipos de baterías*

- Arranque

Estas baterías generalmente son usadas para arrancar automóviles, no tienen buen funcionamiento cuando se utiliza una corriente de baja intensidad y soportan mal descargas profundas, tienen un tiempo de vida útil corto pero se les puede encontrar en gran variedad de modelos y a precios accesibles.

- Estacionaria solar (monobloc)

Generalmente este tipo de baterías se les puede utilizar en pequeñas instalaciones ya que tienen una mayor capacidad de almacenamiento de electrolitos y mejor comportamiento de carga y descarga que las de arranque, suelen proporcionar 12 v de tensión y están constituidas de un conjunto de células formando un solo bloque.

- Estacionaria tubular

Se les puede usar en instalaciones de potencias elevadas; generalmente están formadas por una célula que suministrar una tensión de 2.2 V por lo cual para obtener una tensión deseada se deben conectar varias en serie, tienen un buen comportamiento en descargas profundas y tienen una vida útil más larga que las anteriores, pero son más caras.

- Herméticas

Son básicamente las baterías anteriormente mencionadas pero con la diferencia que pueden presentarse en versión hermética la diferencia es que se encuentran selladas por lo cual no se puede acceder a su interior la ventaja de este tipo de baterías es que su mantenimiento es casi nulo por lo cual solo se requieren limpieza en el exterior.

- Gel

Son baterías que también se encuentran selladas su principal diferencia de las anteriores es que el electrolito dentro de ellas se encuentra en forma de gel, se debe tener cierto cuidado ya que las condiciones de funcionamiento extremas en tensión o intensidad pueden acortar su vida útil.

### *Características*

- Tensión nominal

Es la tensión (V) de trabajo de las baterías su valor sirve para calcular el número de baterías que se utilizaran en un sistema fotovoltaico ya que la tensión de estas debe coincidir con la de los paneles fotovoltaicos.

- Capacidad

Es la cantidad eléctrica que puede almacenar la batería se mide en amperios hora (Ah), la capacidad se define como el producto de la intensidad que puede suministrar la batería, multiplicada por el tiempo que dure la descarga esto medido en horas.

- Capacidad específica

Es el cociente entre la energía eléctrica que puede almacenar una batería y su peso (Wh/Kg).

- Eficiencia

Es el cociente entre la energía realmente almacenada y la consumida durante la carga y depende de las condiciones en que se efectuó dicha carga: tiempo empleado en la carga, temperatura de la batería, etc.

- Tiempo de carga

Es el tiempo que tarda en cargarse la batería conectada ininterrumpidamente al generador y a una tensión determinada.

- Autodescarga

Se le conoce así al fenómeno en el cual las baterías se descargan lentamente sin estar conectadas a un circuito externo esto es debido a imperfecciones como pueden ser falsos contactos.

- Impedancia interna

Dentro de las baterías circulan iones positivos y negativos que se mueven hacia los electrones de signo opuesto, generándose alrededor de cada electrón una zona en la que la densidad de cargas de signo opuesto es mayor que en el resto del electrolito. Este

comportamiento es una oposición al paso de corriente que se conoce como impedancia o resistencia interna.

- Numero de ciclos

Los ciclos son el proceso de carga y descarga de la batería, a medida que van acumulándose ciclos la misma va deteriorándose paulatinamente. Debe entenderse que el número de ciclos es un dato orientativo ya que depende del funcionamiento, esto es el número de descargas, sobrecargas, etc.

- Profundidad de descarga

Este se mide en un tanto por ciento de la carga total, por ejemplo para las baterías de plomo se estima que la descarga es suave si es menor o igual a 20% y profunda si es mayor a 80%.

- Relación número de ciclos-profundidad de descarga

El número de ciclos está íntimamente relacionado con la profundidad de descarga de tal forma que el número de ciclos disminuye a medida que aumenta la profundidad de descarga.

- Temperatura de trabajo

La temperatura en la que trabaja una batería puede afectar drásticamente su capacidad de carga y eficiencia haciendo que ambas disminuyan.

#### ***4.7 Estructura de soporte***

Este componente es muy importante ya que es quien garantiza la posición deseada del módulo para poder tener la generación requerida por el sistema. Se debe tener en cuenta varios factores ya que la estabilidad de los módulos es indispensable no solo para la generación de energía eléctrica sino también por seguridad pues algunos vientos, peso

excesivo provocado por la caída de nieve o algún otro movimiento fuerte provocado por agentes externos pueden afectar su estabilidad y provocar daños tanto en el módulo como en la instalación eléctrica.

Las estructuras cuentan con diferentes configuraciones esto por las diferentes situaciones en las que se necesiten así como por los costos que se tengan presupuestados.

#### -Estructura de superficie plana

Este tipo de estructura está diseñada para lugares donde se tenga una superficie plana la cual puede ser: el suelo en un terreno grande para poner un campo de generación, el jardín de una casa o en superficies superiores planas como los techos, terrazas o en las paredes.

Se tiene diferentes tipos de estructuras de superficie plana como son los “rodantes con ajuste de inclinación” estos tienen la posibilidad de ser movidos a diferentes puntos para tener un mejor aprovechamiento y también cuentan con un ajuste de inclinación, otros más son los “fijos para suelo plano” estos son fijos pues son anclados al lugar de donde serán instalados y finalmente los de “barras de apoyo a suelo plano con ajuste” de inclinación estos son similares a los anteriores pues también son fijos pero con la diferencia que cuentan con un ajuste a su inclinación.



Imagen 14: estructura de superficie plana

#### -Estructura para superficie inclinada

La disposición de ciertas estructuras donde se cuenta con un ángulo ya establecido como lo son las casas donde se tiene un tejado facilita la instalación en la estructura ya que generalmente tiene una orientación hacia el sur, el inconveniente es el ángulo de

inclinación que se tenga en los tejado pues este no podría ser el deseado para tener la mejor captación de radiación solar esto por la latitud del lugar donde esté situado.

La ventaja de este tipo de estructura es que solo se necesita que este bien anclada el tejado, esto da gran seguridad a los módulos frente a fuertes vientos ya que la misma disposición de los tejados los protegen.



Imagen 15: estructura para superficie inclinada

#### -Seguidores solares

Este tipo de estructura optimiza el rendimiento energético de la instalación ya que la estructura cuenta con un seguidor el cual le da un movimiento automático a los módulos para tener la mayor captación de radiación solar durante el día dándole un rendimiento extra, algunos como los DEGERtracker<sup>®</sup> de DEGERIBERICA tienen el récord mundial de producción de seguidores de 1 solo eje la cual puede llegar hasta una 31% y los DEGERtraker de doble eje llegan a generar hasta un 45% de rendimiento extra.

Los módulos se integran sobre los brazos de la estructura donde se encuentra el seguidor el cual puede dar seguimiento a la luz del sol en inclinándose de arriba hacia abajo y trazando un arco de este a oeste de manera automática para tener la mayor captación de radiación solar posible.



Imagen 16: seguidores solares

## 4.8 Protecciones

Los módulos fotovoltaicos en su cara opuesta al sol cuentan con una caja de bornes la cual cuenta con las conexiones necesarias para la alimentación de los circuitos externos, dentro de esta se cuenta con un diodo el cual está destinado a proteger el módulo de las sombras que se puedan producir.

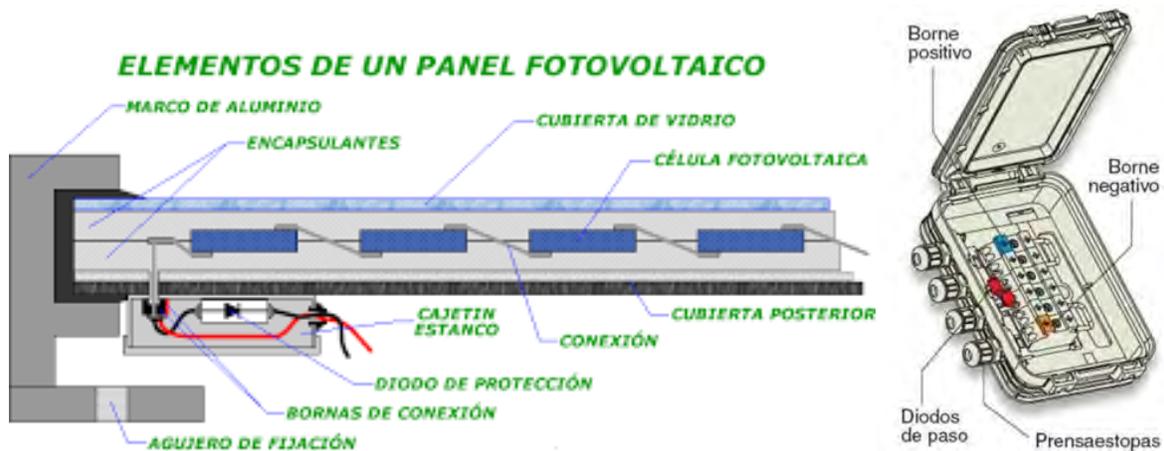


Imagen 17: localización del diodo de protección en el panel fotovoltaico

Esto además de las protecciones como son los interruptores termomagnéticos o fusibles que se tengan en el lugar donde se realizara la instalación el sistema fotovoltaico.

## 4.9 Conductores

El cableado eléctrico es una parte fundamental dentro de la instalación fotovoltaica por esta razón es que se debe elegir un cable que cumpla ciertos requisitos para que ayude a proporcionar el mejor rendimiento en la instalación a mediano y largo plazo.

El cableado que se tenga entre los módulos debe soportar condiciones extremas que exijan una máxima eficiencia:

-Tener una vida útil de 30 años y que pueda soportar temperaturas de 90°C a 120°C en forma permanente.

-Tiene que ser un cable apto para servicio móvil. Es frecuente la utilización de seguidores para aprovechar al máximo la radiación solar. No hay que olvidar que en estos casos los cables de conexión entre las estructuras móviles y las partes fijas están sometidos a movimiento, por lo que los cables convencionales no son aptos.

-Más cómodo de instalar por su extraordinaria flexibilidad y reducido diámetro. El cable recomendado es el formado por un conductor de cobre estañado flexible de clase 5, aislamiento de etileno propileno de alta calidad y cubierta de etil vinil acetato (EVA). Su reducido diámetro exterior hace que el cable sea más manejable y ocupe menos espacio en las canalizaciones.

-Resistencia térmica, resistencia climática y resistencia al fuego, esto para que pueda soportar altas temperaturas, humedad o posibles incendios que puedan surgir.

# CAPITULO 5

## CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTVOLTAICO

### 5.1 Análisis del sistema fotovoltaico y de consumo eléctrico

#### 1-Conexión a la red

Para poder iniciar con el análisis y cálculo de nuestro sistema fotovoltaico se debe realizar antes un análisis del consumo de energía eléctrica que se pretende cubrir, en nuestro caso se cuenta con un domicilio en el cual se está buscando obtener la viabilidad que se tendría al instalar un sistema solar fotovoltaico para uso doméstico por tal motivo los resultados de este análisis los podemos encontrar de forma directa de en el “aviso recibo” en la sección de “promedio diario en kWh”.

**AVISO RECIBO**



**Comisión Federal de Electricidad**  
 Av. Paseo de la Reforma Núm. 164, Col. Juárez, Ciudad de México C.P. 06600.  
 RFC: CSS160330CP7  
 CFE SUMINISTRADOR DE SERVICIOS BASICOS

**Nombre y Domicilio**

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
 XXXXXXXXXXXXXXX

Cuenta	Uso	Tarifa	Hilos
xxxxxxx	Doméstico	DAC	1

Medición de consumo				
Num. de Medidor	Lectura actual	Lectura anterior	Mult.	Consumo kWh
xxxxxxx	05743	05153	1	590

Apoyo gubernamental	
Costo de producción	\$2,710.00
Aportación Gubernamental	\$0.00

Gráfica de consumo en kWh

**Total a pagar del periodo facturado**  
\$3,143.00  
(TRES MIL CIENTO CUARENTA Y TRES PESOS 00/100 M.N.)

**Número de servicio**  
 XXXXXXXXXXXXXXX

**Fecha límite de pago**  
07 DIC 2017

**Información importante**  
 Corte a partir de 08 DIC 2017.  
 Su consumo anual acumulado de energía eléctrica supera los 3,000 kWh.

Período Consumo	Días	Promedio Diario en kWh	Promedio Diario en \$
22 SEP 17 AL 22 NOV 17	61	9.67	<b>51.52</b>

Facturación			
Concepto	kWh	Precio	Subtotal
Cargo fijo (2)		97.710	195.42
Básico	590	4.262	2,514.58
Suma	590		2,710.00

Imagen 18: aviso recibo de Comisión Federal de Electricidad

Así de esta sección se puede tomar el promedio diario de consumo el cual es de 9.67 kWh, para poder realizar una instalación para uso doméstico Comisión federal de Electricidad pide una generación máxima de 10kWh (los requisitos para este tipo de instalación se podrán ver en la sección “5.3 Trámites para la instalación”).

Teniendo el consumo diario en kwh que se requiere cubrir se puede iniciar con el análisis de la estación para esto lo primero que se debe tener en cuenta es el lugar de instalación ya que de esto depende que se pueda colocar el equipo suficiente para que el sistema cumpla con la demanda que se requiere, también el lugar y su posición ya que para tener la mayor captación de radiación debe estar en la una posición óptima.

La propiedad que se usara para realizar el análisis está ubicada en la Ciudad de México y consta de una superficie de 8m\*22m lo que nos da un total de 1776m<sup>2</sup> de los cuales se consta con construcción en poco más de la mitad del predio contando con una medida de 8m\*12m teniendo así 96m<sup>2</sup> de techo para poder hacer la instalación de los paneles.

Teniendo lo anterior en cuenta para iniciar con los cálculos se debe seleccionar el modelo de panel fotovoltaico e inversor esto para tener en cuenta sus capacidades y poder dar un rendimiento óptimo al sistema y suministrar la energía requerida por este.

Los equipos que se tomaran para iniciar los cálculos requeridos son los siguientes “módulo solartec S60PC-270” de 270W y del “inversor FRONIUS GALVO 2.0-1” el cual tiene una capacidad de 2kw.

## ***5.2 Calculo del sistema solar fotovoltaico***

### **2-Modulo fotovoltaico**

- Número de paneles del sistema

Para poder obtener la cantidad de módulos que se necesitan para cubrir la demanda de energía tenemos que realizar una operación con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{Ec}{(V_M)(I_M)(h_p)}$$

Dónde:

$M$  = número de módulos requeridos

$Ec$  = energía consumida diariamente

$V_M$  = tensión máxima del módulo (hoja de datos)

$I_M$  = corriente máxima del módulo (hoja de datos)

$h_p$  = radiación solar (horas pico de sol en el sitio donde se instalara el sistema)

Para obtener le  $h_p$  de radiación requerido en la ecuación se hace un promedio diario anual este se obtiene de los datos de geofísica de la UNAM en los cuales se tiene un promedio mensual de horas diarias las cuales son:

Enero	Febrero	Marzo	abril	mayo	junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
4.6	5.4	6.0	5.9	5.9	5.2	5.3	4.9	4.5	4.4	4.5	4.3

$$ht = 4.6+5.4+6.0+5.9+5.9+5.2+5.3+4.9+4.5+4.4+4.5+4.3 = 60.9$$

$$h_p = \frac{60.9}{12} = 5.075 \text{ hp}$$

Sustituyendo:

$$M = \frac{9.67kWh}{(32.82V_M)(8.22Am)(5.075h_p)} = 7.062 \approx \text{se utilizaran 7 módulos}$$

Para no pasar el límite de 10kw para contrato de uso doméstico y siendo que este es el que estará más próximo a la capacidad de generación deseada se utilizar 7 módulos se comprobaran con la siguiente formula:

$$kWh/dia = ((WMP)(num. de modulos))(hp/dia)$$

Sustituyendo:

$$kWh/dia = ((270W)(7))(5.075hp) = 9591.75W \approx 9.592kWh$$

Teniendo así una generación máxima diaria de 9.592kWh comprobando que no sobrepasa la limitante de 10 kWh diarios que pide Comisión Federal de Electricidad para poder iniciar un contrato de uso doméstico con un sistema de generación fotovoltaico.

El siguiente punto es el arreglo que tendrán los paneles esto quiere decir la configuración que se tendrá, se obtiene con la siguiente ecuación y de los datos de entrada del inversor y los datos de salida del módulo.

$$No. de filas en serie = \frac{V_{inv}}{V_M}$$

$$No. de columnas en paralelo = \frac{I_{inv}}{I_M}$$

Para tomar solo un valor de la tensión del inversor se considerara un promedio de esta entre los intervalos de rango de voltaje MPPT de carga completa la cual es de 190~400 Vcd.

$$V_{inv} = \frac{120 + 420}{2} = 270v$$

Sustituyendo:

$$No. de filas en serie = \frac{270v}{32.82v} = 8.22 \approx 8$$

$$\text{No. de columnas en paralelo} = \frac{17.9\text{Amp}}{8.22\text{Amp}} = 2.17 \approx 2$$

Con este cálculo podemos obtener una configuración del sistema en la cual se pueden tener hasta dos columnas donde hasta ocho módulos quedarían en serie de esta forma comprobamos que se pueden tener sin problemas los 7 módulos en una sola columna, para corroborar que se tiene una tensión del inversor aceptable se comprueba multiplicando el número de módulos por la tensión de salida de cada módulo.

$$(7 \text{ modulos})(32.82\text{v}) = 229.74\text{v}$$

Así comprobamos que la tensión está dentro del rango de la tensión del inversor que es de 120~420.

De igual manera para corroborar que se tiene una corriente correcta para el inversor se multiplica la corriente de salida del módulo por el número de módulos en paralelo:

$$(1 \text{ modulo})(8.22\text{Amp}) = 8.22\text{amp}$$

Comprobando así que la corriente de los módulos se encuentra bajo el valor máximo de corriente del inversor que es de 9.1Amp.

### **3-Inversor**

-Número de inversores del sistema

Para determinar la cantidad de inversores que requerirá el sistema usamos la siguiente ecuación:

$$\text{No de inversores} = \frac{M}{\text{No de modulos del sistema}}$$

Sustituyendo:

$$No\ de\ inversores = \frac{7}{7} = 1\ inversor$$

Para corroborar que el inversor cumpla con el requerimiento de nuestro sistema debemos tener en cuenta la potencia de consumo está la podremos obtener dividiendo el promedio de horas de consumo con el promedio de horas que estará generando energía el sistema, en este caso usaremos la máxima producción de los módulos que es de 9.591kw:

$$potencia\ de\ consumo = \frac{9.591kWh}{5.075h} = 1.889kW$$

Ahora con los datos obtenidos se multiplica el número de inversores por la potencia de salida del inversor:

$$(1inversor)(2kw) = 2kW$$

Con esto se comprueba que la potencia de salida del inversor es suficiente para cubrir la demanda de potencia de consumo del sistema que es de 1.891kW.

#### **4-Tablero de distribución**

Un centro de carga o tablero de distribución es uno de los componentes principales de una instalación eléctrica, en él se protegen cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación a través de fusibles o protecciones termomagnéticas

La utilidad de los tableros de esta marca se divide en dos puntos principales:

- Distribuir la energía eléctrica que viene de un transformador hacia el interior de la planta, para alimentar la maquinaria y los servicios como contactos o alumbrado.
- Proteger al circuito contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas de tierra.

Para saber la cantidad de interruptores termomagnéticos que se tendrán en la instalación se debe dividir el consumo entre la tensión que se tienen el sistema en este caso tenemos que la generación del sistema es de 9.592kWh y tiene una tensión de 229.74v.

$$I = \frac{P}{V}$$

Sustituyendo:

$$\frac{9.592kWh}{229.74v} = 41.7515ampers \approx 42 ampers$$

Teniendo en cuenta que los interruptores termomagnéticos que se usaran serán para 10 ampers se puede observar que se usaran 5, aun así se tiene en cuenta que son con los que se cuenta en el domicilio que se realizara la instalación por tal motivo se corrobora que estos son adecuados para la protección que se necesita.

#### -Conductores

Para calcular el calibre de los alimentadores principales el procedimiento se debe determinar la carga total del domicilio donde se realizará la instalación en este caso tenemos un consumo de 9.67 kw/h.

Se aplica la fórmula:

$$I = \frac{P}{(V * 0.9)}$$

Dónde:

I - es la corriente que pasará por los conductores (amperes).

P - es la carga total (Watts).

V - es el voltaje en la instalación residencial (127 V).

0.9 - es el factor de potencia el cual regularmente es del 90% por la combinación de cargas resistivas e inductivas existentes en la instalación eléctrica.

$$I = \frac{9670w}{(127 * 0.9)} = 84.6 amp$$

Con la  $I$  se determina una  $I_c$  (corriente corregida) multiplicándola por un factor de demanda o factor de utilización (f.d.) el cual tiene un valor que varía dependiendo en los valores dentro de norma oficial pero para hacerlo más acorde se toma un valor de 80%

Para calcular la Corriente Corregida simplemente se multiplica la  $I$  por el f.d. o sea:

$$I_c = (I)(f.d)$$

Con la  $I_c$  se busca el calibre del conductor en las tablas correspondientes.

$$I_c = (84.6)(0.80) = 67.68amp$$

En las tablas correspondientes se puede verificar el calibre que se usara en la instalación en este caso el cable será de un calibre 6. Utilizando para la conexión entre módulos y al inversor la cantidad de 35m.

-Colocación de los módulos

Para la colocación de los módulos en el domicilio primero debemos comprobar que se tenga la superficie necesaria esto lo obtener con el área de la superficie donde se colocaran así como el área total de los módulos.

Teniendo en cuenta que la superficie de instalación tiene una medida de 96m<sup>2</sup> solo resta obtener el área total de los módulos esto lo hacemos de la siguiente manera.

Cada módulo tiene una dimensión de 1640mm de largo por 992mm ancho por lo tanto cada módulo consta de:

$$area\ modulo = (1.640m)(0.992m) = 1.626m^2$$

Para obtener el área total se multiplica el área de cada módulo por el número de módulos en el sistema:

$$A_{tm} = (1.626m^2)(8) = 13.015m^2$$

Con esto comprobamos que se tiene una superficie suficiente para su instalación.

Además de lo anterior se debe tener en cuenta otros aspectos para la instalación tales como la inclinación, la distancia entre los módulos y las sombras.

Para la colocación de los paneles de manera fija se tomara en cuenta para su inclinación la latitud del lugar donde se colocaran en este caso la latitud de la tierra es de  $19.27689^\circ \approx 20^\circ$  y cuando es semifijo se tomaran en cuenta una diferencia de  $\pm 15^\circ$  dependiendo de la época del año ya que se debe posicionar para obtener el mejor rendimiento posible de este modo en el punto máximo del verano se tendrá una inclinación de hasta  $5^\circ$  y en invierno una inclinación de hasta  $35^\circ$ , la orientación de los módulos debe ser mirando hacia el sur esto se debe a la inclinación terrestre que es de  $23.5^\circ$ .

La sombra en los módulos debe ser nula esto para que puedan ofrecer un alto desempeño y se pueda aprovechar toda la radiación solar que llegue a ellos. Por este motivo si no se tienen objetos alrededor de la superficie de instalación que afecten de esta forma a los módulos solo se deberá tener en cuenta que la distancia entre ellos sea suficiente para que no generen ninguna sombra que les afecte así como tener suficiente espacio para el mantenimiento futuro.

Al ser pocos módulos no se tendría ningún problema si se tuviera la superficie necesaria para que todos los módulos estuvieran en una sola fila, pero por la orientación del lugar de instalación se deberá tener cierta distancia entre ellos.

Para evitar sombra entre ellos se debe calcular la distancia que se tendrá entre los módulos de forma que a medio día la sombra de la arista superior de un primer módulo quede por debajo de la arista inferior de un segundo módulo.

$d_{min}$  = distancia mínima entre módulos

L = longitud del modulo

h = altura dela arista superior con respecto a al inferior tomando en cuenta la inclinación

$\beta$  = inclinación del panel respecto a la horizontal

$\theta$  = ángulo de la sombra

$\alpha$  = distancia arista inferior m2 a la superior m1

b = distancia de arista superior e inferior de m1 respecto a la horizontal

El primer caso es calcular la altura  $h$  esto se hace teniendo en cuenta la inclinación del panel que tomamos directamente de la latitud  $20^\circ$  y la longitud del panel que es de  $1.640m$  con la siguiente ecuación:

$$h = (\text{sen}\beta)(L)$$

Sustituyendo:

$$h = (\text{sen}20^\circ)(1.640m) = 0.56091m$$

Ahora usando estos mismos datos calculamos la distancia  $b$

$$b = (\text{cos}\beta)(L)$$

Sustituyendo:

$$b = (\text{cos}20^\circ)(1.640m) = 1.54109m$$

Tomando el ángulo de inclinación del panel y los ángulos rectos que se forman se complementa los demás ángulos y de esta forma obtenemos que  $\theta = 70^\circ$  y con este dato se calcula la distancia  $a$  de la siguiente manera:

$$a = \frac{h}{\tan\theta}$$

Sustituyendo:

$$a = \frac{0.56091}{\tan 70^\circ} = 0.2041$$

Por ultimo para obtener la distancia total entre los módulos se suman las distancias  $a$  y  $b$

$$d_{min} = a + b$$

Sustituyendo

$$d_{min} = 0.2041m + 1.54109m = 1.74519m \approx 1.8m$$

De este modo la distancia mínima entre las aristas inferiores de los módulos m1 y m2 debe ser por lo menos de 1.8m

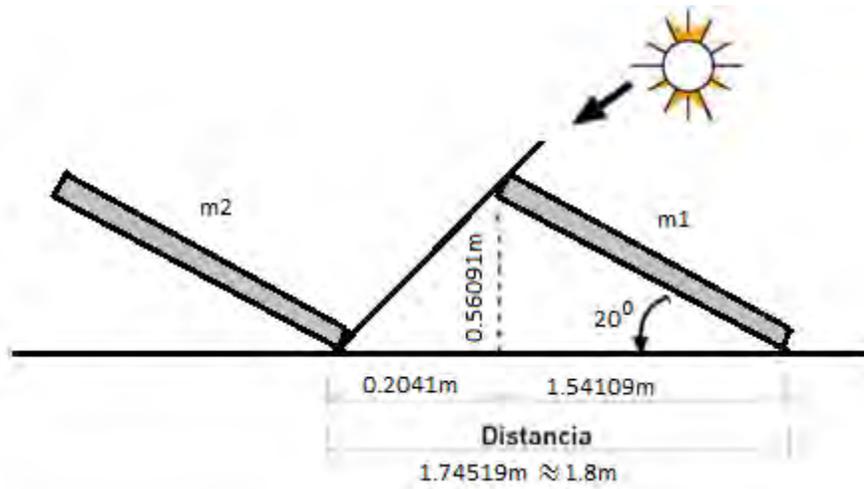


Imagen 19: distancia mínima entre módulos

#### -Colocación de la estructura

Para la colocación de los módulos se usaran dos estructuras con capacidad para cuatro módulos esto porque la orientación del domicilio donde estará el sistema no permite que se pongan los siete módulos en una sola hilera, en la siguiente imagen podemos observar el lugar donde se instalaran:



Imagen 20: lugar de instalación del sistema fotovoltaico

La zona marcada es el domicilio y la parte sombreada es la construcción donde se instalará la estructura para los módulos.

Dentro de la zona sombreada los módulos se colocaran en la parte central esto para evitar sombras de futuras construcciones aledañas, tomando en cuenta las medidas entre módulos, la orientación sur y su inclinación, quedando de la siguiente forma.

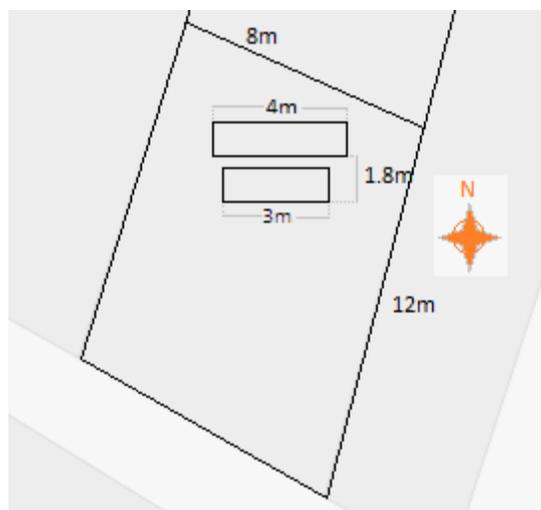


Imagen 21: colocación de los módulos

### 5-Cargas y medidor bidireccional

Por ultimo para poder encender el sistema se necesita estar conectado a la red para lo siguiente se necesita un medidor bidireccional el cual debe ser instalado por parte de la empresa suministradora los trámites para llevarlo a cabo lo podremos ver más adelante en el punto “5.3 trámites para la instalación”.

Finalmente teniendo lo anterior en regla se podrá hacer la interconexión a la red para poder utilizar el sistema en el domicilio de este modo ya no se tendrá una total dependencia de la red eléctrica pues con este tipo de instalación se podrá tener un autoconsumo de energía eléctrica y se podrán alimentar las cargas que se tengan en el domicilio y estas son los artículos que necesiten electricidad para funcionar por ejemplo los electrodomésticos que se utilizan en la vida diaria.

-Diagrama unifilar

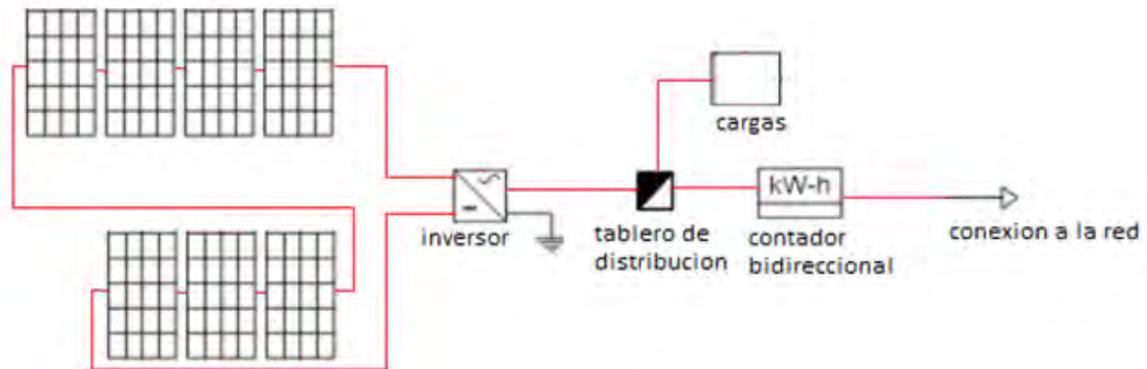


Imagen 22: diagrama unifilar de la instalación

### 5.3 Trámites para la instalación

La ley en México en materia de energía eléctrica establece que cualquier persona puede conectar un sistema solar fotovoltaico a la red eléctrica (con las disposiciones establecidas en el plan nacional de desarrollo 2013-2018 en la ley de transición energética, en los programas especiales del cambio climático 2014-2018 y de desarrollo de sistema eléctrico nacional 2016-2030 y a las disposiciones generales en materia de generación distribuida). En sistemas residenciales solo puede llegar hasta la generación de 10 kw de potencia pico y de 30 kw de potencia en sistemas comerciales.

#### - *Conexión de sistema residencial (10kw):*

Para realizar el trámite administrativo se necesita tener el sistema instalado ya que para iniciarlo se solicitan datos esenciales de los equipos y el consumo promedio de las cargas que se tienen.

Comisión federal de electricidad (CFE) proporciona los formatos: solicitud de interconexión y contrato de interconexión los cuales debe tener los siguientes datos:

- Datos personales del titular del contrato en caso que este no pueda presentarse a realizar los trámites el responsable se tendrá que presentar con una carta poder.

- Dirección del domicilio donde se realizara la instalación.
- Croquis de ubicación.
- Datos del servicio, suministro actual
- Modalidad de solicitud: mediana o baja tensión.
- Sistema de generación (central eléctrica): capacidad bruta, generación mensual promedio.

Así mismo presentar los siguientes documentos:

- Copia de aviso-recibo CFE
- Solicitud para la conexión
- Contrato de interconexión.
- Identificación oficial del titular
- Carta poder en caso de ser un gestor
- Identificación oficial de gestor y de dos testigos
- Para una orientación del valor de consumos se pide; ficha técnica del equipo, diagrama unifilar y manual del inversor.
- Cuadro de carga medido en kw/h.

Esto se hace para poder tener los datos de consumo del servicio actual así como lo que se generara con el sistema fotovoltaico, esto quiere decir la capacidad bruta instalada, una posible capacidad para incrementar la producción y un estimado del promedio mensual de generación.

Para realizar el trámite para dar de alta la instalación se necesita llamar al número telefónico de CFE que es el 071 esto para que por medio del número de cuenta se proporcione la oficina correspondiente de la división o zona donde se deben presentar los documentos solicitados.

A partir de ese momento la solicitud para dar de alta la instalación da inicio y se tiene un tiempo de 13 días hábiles para que se programe fecha de la visita técnica por parte de los trabajadores de CFE esto para verificar que el equipo instalado corresponda con los datos que se proporcionaron al momento de iniciar el trámite y según sea el caso se cambie el medidor por uno bidireccional o reprogramar el medidor que se tenga en caso que ya cuente con esta función y a partir de ese momento se podrá encender el equipo de generación fotovoltaica para así ya tenerlo interconectado a la red eléctrica.

- *Conexión de sistema comercial (30kw):*

Para de este tipo de instalación se necesita realizar una verificación del sistema fotovoltaico la cual está a cargo de un UVIE (unidad de Verificación de Instalaciones Eléctricas), estas unidades son empresas que están certificadas por CFE para realizar este tipo de verificaciones el costo de los servicios que realizan pueden variar dependiendo de las características de sistema y tamaño del equipo instalado.

- *Interconexión de centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5MW:*

Para este tipo de interconexión se solicita que se tenga un contrato de suministro normal de mediana tensión, que las instalaciones cumplan con las normas oficiales mexicanas así como las de CFE y que la fuente de potencia no sea mayor a 500 kw.

- La duración de estos contratos es de tiempo indefinido pero CFE pide se de aviso por lo menos con 20 días de anticipación a la fecha del término de contrato.

Los generadores exentos que realicen contrato de interconexión podrán vender sus excedentes a través de un suministrador de servicios básicos esto siempre y cuando no comparta su equipo de carga con el suministrador básico y tendrá que cumplir con los siguientes puntos de contraprestación de medición neta de energía:

*“1. Medición neta de energía (Net metering).-* Es el intercambio de flujos de energía entre la Central Eléctrica y a uno o más centros de Carga con las Redes Generales de Distribución, compensando la energía entregada con la central eléctrica de generación distribuida con la energía recibida por uno o más usuarios finales .”

*“2. Factura neta (Net billing).-* Son los flujos de energía eléctrica recibidos y entregados desde y hacia las Redes Generales de Distribución.”

*“3. Venta total de energía.-* Cuando no existe un contrato de suministro eléctrico asociado al mismo punto de interconexión de la Central Eléctrica y se liquidara el valor de venta.”

Es posible deducir la inversión de este sistema de generación; “la ley del ISR. Artículo 34.Fracc.XIII.100% para maquinaria y equipo de generación proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente”.

#### **5.4 Costo de la instalación**

En el siguiente punto se analizara el costo que tendrá realizar la instalación del sistema fotovoltaico veremos el costo de los equipos que se utilizaran en ella para englobarlos en un costo general y al final se comparara con el costo de un “kit de instalación” de los que hoy en día muchas empresas ofrecen al público esto para dar una opinión de amplia de lo que realmente cuesta este tipo de instalaciones y tomar una decisión más concreta de que tan conveniente es realizar este tipo de instalación de manera propia o contratar los servicios de una empresa especializada.

- Costos de equipos

Equipo	Precio unitario	Cantidad	Total	Total pesos M.N. *
Modulo solar S60PC	\$ 135.20 Dls	7	\$946.40 Dls	\$17,820.2388
Inversor Fronius Galvo 2.0	\$1,447.84 Dls	1	\$1,447.84 Dls	\$27,262.10328
Estructura Everest para cuatro paneles solares de 250w a 320w	\$4586.00 M.N	2		\$9172.00
Cable 10 AWG	\$31.80 M.N.	35		\$1,113.00
			Total	\$55,367.34208
				≈\$55,368.00

Dls= Dólar Estadounidense

M.N.=Moneda Nacional (peso Mexicano)

\*Tipo de cambio interbancario al día 17/09/18 de \$18.8295 por dólar según el BANCO DE MÉXICO

### **5.5 Amortización del sistema**

Finalmente se realizara el cálculo del tiempo que el sistema fotovoltaico tendrá una amortización económica, para poder llevarlo a cabo se necesita saber el costo total del sistema que lo vimos en el punto anterior así como el costo de la producción mensual del sistema (ahorro de producción) el cual lo podemos tomar de la generación máxima diaria obtenida al inicio del cálculo del sistema multiplicándola por 30 para obtener el promedio mensual.

-Promedio mensual de generación máxima del sistema:

$$kWh/mensual = \frac{(kWh / dia)(dias del mes)}{1000}$$

Sustituyendo:

$$kWh/mensual = \frac{(9591.75kWh)(30)}{1000} = 287.7525 kWh/mensual$$

Teniendo la generación máxima mensual del sistema se multiplica por la tarifa del kWh que en este caso lo tomaremos del aviso recibo el cual es de \$4.262 para obtener el costo de producción mensual (ahorro mensual).

$$costo de produccion mensual = (kWh / mensual)(tarifa del kWh)$$

Sustituyendo:

$$costo de produccion mensual = (287.7525kWh/mensual)(\$4.262) = \$1,226.4011 \\ \approx \$1,227.00$$

El último paso es obtener el tiempo que se tardara en tener la amortización, se obtiene dividiendo el costo del sistema entre el costo de producción mensual esto para tener los meses y esto a su vez dividirlo entre 12 para obtener los años.

$$\text{amortizacion: } \frac{\text{costo de sistema} / \text{costo de produccion mensual}}{12}$$

Sustituyendo:

$$\text{amortizacion: } \frac{\$55,368.00 / \$1,227.00}{12} = \frac{45.124694 \text{ meses}}{12} = 3.7603911$$

$\approx 3 \text{ años } 10 \text{ meses}$

Con este cálculo obtenemos que el tiempo de amortización de nuestro sistema sea un aproximado de 3 años 10 meses.

-Comparación de costo del sistema con un kit de instalación.

En el mercado de la generación fotovoltaica existe la venta de kits listos para la instalación estos no son específicos para el consumo que se tenga en algún domicilio o el lugar donde se pretende su instalación más bien se tienen con una generación específica solo para realizar su instalación y tener cierto ahorro en los consumos.

El siguiente kit se eligió porque en sus especificaciones dice tener una generación aproximada la deseada en nuestra instalación.



Nuevo - 2 vendidos

**Kit Energía Solar  
Interconexión 1500w  
Genera 8.2kwh Por Día.**

**\$ 37,990**

18 meses de \$ 2,110<sup>00</sup> sin  
intereses

## Descripción

Sistema de Energía Solar de 1,600Watts para interconexión a CFE , incluye:

- 6 Paneles Solares Policristalinos de 270Watts, de dimensiones 1.64x1.00 m.
- 6 Bases de aluminio para los paneles solares
- 2 pares de conectores MC4 3 a 1
- 2 pares de conectores MC4 sencillos
- 4 extensiones de cable fotovoltaico de 1.5m
- 12 metros de cable uso rudo
- 2 Inversores de Interconexión a CFE de 1000W (con capacidad de hasta 4 paneles de 270w)
- Envío incluido a zonas con cobertura (favor de confirmar si su ciudad aplica para el envío gratis)
- Compra con hasta 18 meses sin intereses con tarjetas de crédito participantes

Beneficios:

Ahorro de hasta 8.2Kwh/día.  
2 Inversores con capacidad de 1,000Watts c/u para uso en interiores  
Puedes conectar varios Kits en serie o paralelo.  
Corriente de Salida 120VCA ó 220VCA (favor de indicar modelo al hacer la compra)

Inversor de Interconexión a CFE de 1,000Watts, 120VCA  
Características principales:  
Voltaje de entrada: de 20V a 45VCD  
Voltaje de Salida: 120VCA  
Factor de potencia: >96%  
Uso en interiores  
Dimensiones: 40x20x3.5cms.  
Peso: 2.2kg  
Cable incluido de Corriente Alterna: 2 metros

Como se puede ver en la descripción del producto se tiene un costo más bajo al calculado en nuestro sistema pero de igual manera podemos observar que se tiene una generación mucho más baja a la deseada para obtener el mayor ahorro posible.

Dentro de este mercado las empresas dedicadas a la venta de estos productos tienen la opción de hacer la instalación de todo el sistema y algunas de ellas también realizan los trámites correspondientes con Comisión Federal de Electricidad, para que se pueda dar un presupuesto del costo estas empresas piden realizar una visita al lugar de instalación, esta opción se puede hacer contactando a la empresa que se elija ya sea vía telefónica o por correo electrónico.



## CONCLUSIÓN

En la presente tesis se realizó el análisis de la instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red esto para probar la factibilidad que se tendría generar electricidad de autoconsumo y no depender totalmente de la compañía suministradora en este caso Comisión federal de Electricidad para así tener un ahorro en los costos de energía eléctrica por medio del aprovechamiento de la radiación solar, los resultados al final de este estudio nos muestra que para poder acercarnos lo más posible a no depender de la empresa suministradora se necesita una inversión aproximada de \$55,368.00 y para poder amortizar dicha inversión se necesitara un tiempo aproximado de tres años diez meses.

En los últimos años pocos son quienes se animan a realizar dicha inversión ya que no se cuenta con la suficiente solvencia económica para poder pagar este tipo de sistema, la ventaja que se tiene al día de hoy es que las diferentes empresas que se están dedicando a la instalación de estos sistemas están contando con planes de crédito para poder acceder a este tipo de generación eléctrica y la desventaja es el poco acceso que se tiene a la información para instalar estos sistemas.

Tomando en cuenta lo anterior se puede concluir que si se tiene la solvencia económica o se puede acceder a un crédito es una buena opción tener una instalación fotovoltaica ya que a partir del momento en que se conecte el sistema a la red eléctrica ya no se dependerá totalmente de la empresa suministradora y se tendrá un ahorro considerable pues los módulos tienen una vida útil de 25 años.



# ANEXOS

## Anexo A: Módulo Solartec S60PC-270

### BENEFICIOS

-  -Resistente a impactos de granizo con una velocidad de hasta 23 m/s.
-  -Amplios rangos de operación de [-40°C hasta +90°C].
-  -Soporta cargas mecánicas superiores a 5,400 Pa de nieve, y superiores a 2,400 Pa en viento.
-  -Libre de problemas de Degradación por Potencial Inducido (PID).
-  -Aislamiento eléctrico de 3,600 V por un segundo.
-  -Celdas libres de Micro Cracks.
-  -Resistencia de aislamiento mayor a los 100 MΩ.
-  -Alta resistencia a la corrosión por niebla salina y amoníaco.
-  -Libre del efecto de Degradación Inducida por la Luz (LID).
-  -Tolerancia positiva.

### ● 250 – 270 W SOLAR PANEL

## S60PC

**Módulo con 60 celdas**  
S60PC-250, S60PC-255, S60PC-260,  
S60PC-265, S60PC-270.

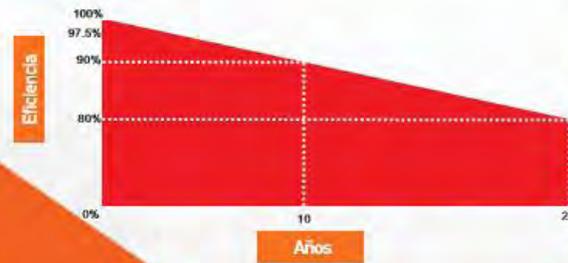


El módulo solar S60PC utiliza 60 celdas policristalinas solares, con un óptimo diseño integrando un sistema de manufactura robusto y automatizado con pruebas de calidad sobre la lista de materiales y con 3 pruebas de ELT antes de embarcar. Todos los módulos Solartec están diseñados y probados bajo las siguientes normas:

- IEC 61215 / Cualificación del diseño y homologación.
- IEC 61730 / Requisitos de seguridad del módulo.
- IEC 61701 / Prueba de corrosión por niebla y salinidad.
- IEC 62804 / Métodos de ensayo de detección de la degradación por potencial inducido.
- IEC 62716 / Prueba de corrosión por amoníaco.
- UL 1703 / Seguridad para módulos fotovoltaicos de placa plana.
- NMX-J-643 / Dispositivos fotovoltaicos parte 1 a la 11.
- NMX-J-618 / Seguridad módulos FV (construcción) parte 1 a la 6.
- G0100-04 / Especificación de CFE.

### CALIDAD DE GARANTÍA

Se garantiza un óptimo funcionamiento en los primeros 10 años ante los defectos de fábrica en el módulo fotovoltaico.



## S60PC

### GARANTÍA DE RENDIMIENTO

- Durante el primer año se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor a 97.5%.
- Del año 2 al año 10 se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor al 90%.
- Del año 11 al año 25 se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor al 80%, manteniendo una degradación lineal del 0,72% anual.

### Condiciones de Operación

Temperatura	-40°C hasta +90°C
Carga Máxima de Viento	2,400 Pa
Carga Máxima de Nieve	5,400 Pa.
Resistencia al Impacto de	Granizo con velocidad de 23 m/s
Conductividad a Tierra	≤ .1 Ω.
Resistencia de aislamiento	≥100 MΩ.
Humedad Relativa	85% /85°C

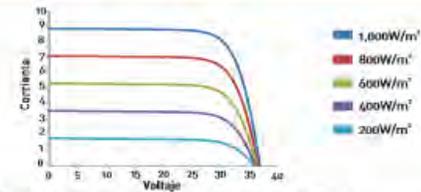
[www.solartec.mx](http://www.solartec.mx)

**250 - 270 W SOLAR PANEL**

**Especificaciones**

Tipo de Celda	Policristalina
Dimensiones de Celda	156 mm * 156 mm
Número de Celdas	60 (6 x 10)
Peso	18.5 Kg
Dimensiones de Módulo	1,640 mm x 992 mm x 40 mm, 22mm
Longitud del Cable	1,200 mm , Tipo THWN, 1,000V, 4mm <sup>2</sup>
Caja de Conexiones IP	IP65 / IP67
Número de Diodos de Derivación	3 / 6
Conectores	MCA Compatible / IP65
Hoja Trasera	Blanca
Vidrio	3.2mm, Antirreflejante, Templado y bajo en hierro
Marco	Aluminio anodizado (15 µm), Tipo 6063
Desempeño del Módulo al Fuego	Tipo 1 (UL1703) o Clase C (IEC 61730)
Aplicación de Acuerdo a la IEC	Clase A
Configuración de Empacado	26 piezas por pallet
Peso por Pallet	583 Kg
Piezas por Contenedor	40 ft <sup>3</sup> - 756 piezas / 53 ft <sup>3</sup> - 864 piezas

**CURVA DE I-V**



Características de corriente / voltaje dependiendo de la irradiancia

Voltaje máxima del sistema:	1,000 V	Valor máximo del fusible en serie:	15 A
-----------------------------	---------	------------------------------------	------

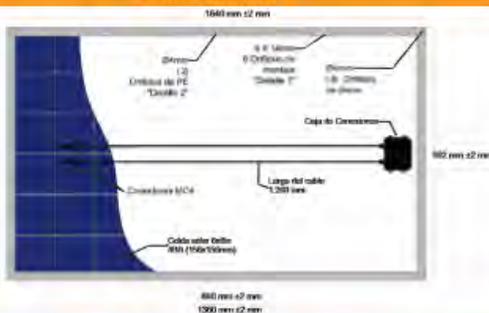
**Panel Solar con Celdas de 156mm de Silicio Policristalino**

Modelo	S60PC-250		S60PC-255		S60PC-260		S60PC-265		S60PC-270	
	STC	NOCT								
Condición de Medición										
Voltaje de circuito abierto (Voc)	36.30 V	36.23 V	36.40 V	36.33 V	36.70 V	36.63 V	38.28 V	38.21 V	38.28 V	38.21 V
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmpp)	30.60 V	30.53 V	30.70 V	30.63 V	30.90 V	30.83 V	32.70 V	32.63 V	32.82 V	32.75 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.71 A	7.85 A	8.80 A	7.73 A	8.89 A	7.20 A	8.61 A	6.90 A	8.73 A	7.80 A
Corriente en el punto de máxima potencia (Impp)	8.17 A	6.62 A	8.30 A	6.72 A	8.42 A	6.82 A	8.10 A	6.49 A	8.22 A	6.59 A
Potencia máxima (Pmax)	250 W	202 W	255 W	205 W	260 W	210 W	265 W	211 W	270 W	215 W
Eficiencia del módulo*	15.39%		15.70%		16.01%		16.29%		16.60%	

**Coefficientes de Temperatura**

de Isc (α)	+0.062% / °C	de Voc (β)	-0.33% / °C	de Pmax (γ)	-0.45% / °C
------------	--------------	------------	-------------	-------------	-------------

**Dimensiones**



**Garantías**

Durante el primer año se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor a 97.5%.

Del año 2 al año 10 se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor al 90%, y del año 11 al año 25 se garantiza una potencia nominal de salida del módulo no menor al 80%, manteniendo una degradación lineal del 0.7% anual.

Medido bajo condiciones de prueba estándar y bajo condiciones de temperatura de operación nominal de la celda (STC: 1,000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5. NOCT: 800W/m<sup>2</sup>, 45 ±2°C, AM 1.5).

Las características eléctricas de cada módulo fotovoltaico son monitoreadas individualmente dejando los resultados a disposición del cliente. Tolerancia Garantizada de 0 a 5W.

**Marco de Aluminio**



**Aplicaciones**

- Integración estructural
- Plantas de energía solar
- Sistemas de bombeo solar
- Reducción de costos en energía



Contacto **Carretera Libramiento Norte Km 4.6 Lote No. 9, Parque Industrial Apolo Irapuato, Gto. México CP 36826**  
Tel. +52 (442) 635 9828  
info@solartec.mx



[www.solartec.mx](http://www.solartec.mx)

Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso. PRECAUCIÓN: Lea el manual de usuario antes de utilizar el producto

ES217 V.2.0

## Anexo B: Inversor Fronius Galvo 2.0-1

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



# FRONIUS GALVO

/ The future-proof inverter for small self-consumption systems.



/ SnapInverter Technology



/ HF transformer switchover



/ Integrated data communication



/ Smart Grid Ready



/ Zero feed-in



/ With power categories ranging from 1.5 to 3.1 kW, the Fronius Galvo is perfect for households – and is especially suitable for self-consumption systems. The integrated energy management relay allows the self-consumption component to be maximised. A host of other smart features make the Fronius Galvo one of the most future-proof inverters in its class: for example, the integrated datalogging, the simple connection to the internet by WLAN, or the plug-in card technology for retrofitting additional functions.

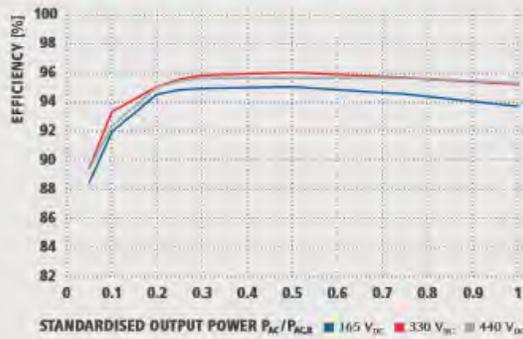
### TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO

INPUT DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
Number of MPPT trackers			1		
Max. input current ( $I_{dc,max}$ )	19.8 A	17.8 A	16.6 A	19.8 A	20.7 A
Max. array short circuit current	20.0 A	26.8 A	24.8 A	29.6 A	31.0 A
DC input voltage range ( $U_{dc,min} - U_{dc,max}$ )	120 - 420 V			165 - 550 V	
Feed-in start voltage ( $U_{dc,start}$ )	140 V			185 V	
Usable MPPT voltage range	120 - 335 V			165 - 440 V	
Number of DC connections			3		
Max. PV generator output ( $P_{dc,max}$ )	3.0 kWpeak	4.0 kWpeak	5.0 kWpeak	6.0 kWpeak	6.2 kWpeak
OUTPUT DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
AC nominal output ( $P_{ac,n}$ )	1,500 W	2,000 W	2,500 W	3,000 W	3,100 W
Max. output power	1,500 VA	2,000 VA	2,500 VA	3,000 VA	3,100 VA
AC output current ( $I_{ac,nom}$ )	6.5 A	8.7 A	10.9 A	13.0 A	13.5 A
Grid connection (voltage range)	1-NPE 230 V (+17 % / -20 %)				
Frequency (frequency range)	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)				
Total harmonic distortion	< 4 %				
Power factor ( $\cos \varphi_{ac}$ )	0.85 - 1 ind. / cap.				
GENERAL DATA	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm				
Weight	16.4 kg			16.8 kg	
Degree of protection	IP 65				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC) <sup>2)</sup>	2 / 3				
Night-time consumption	< 1 W				
Inverter concept	HF transformer				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	-25 - +50 °C				
Permitted humidity	0 to 100 %				
Max. altitude	2,000 m / 3,500 m (unrestricted / restricted voltage range)				
DC connection technology	3x DC+ and 3x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
AC connection technology	3-pin AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Certificates and compliance with standards	OVE / ÖNORM E 8001-4-712, AS 4777-2, AS 4777-3, AS3100, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1-2, IEC 62116, IEC 61727, CER 06-190, CEI 0-21, EN 50438, G83, G59, NRS 097				

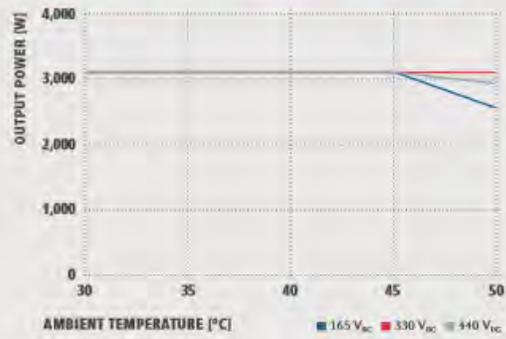
<sup>1)</sup> Available for countries where 3 kW restrictions apply. <sup>2)</sup> Testing to IEC 62109-1.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

### FRONIUS GALVO 3.1-1 EFFICIENCY CURVE



### FRONIUS GALVO 3.1-1 TEMPERATURE DERATING



### TECHNICAL DATA FRONIUS GALVO

EFFICIENCY	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
Max. efficiency	95.9 %	96.0 %		96.1 %	
European efficiency (η)EU	94.5 %	94.9 %	95.2 %	95.4 %	95.4 %
MPP adaptation efficiency			~ 99.9 %		

PROTECTION DEVICES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
DC insulation measurement		Warning/shutdown (depending on country setup) at $R_{iso} < 600 \text{ k}\Omega$			
Overload behavior		Operating point shift, power limitation			
DC disconnect		Included			

INTERFACES	GALVO 1.5-1	GALVO 2.0-1	GALVO 2.5-1	GALVO 3.0-1 <sup>1)</sup>	GALVO 3.1-1
WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solarweb, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs and 4 digital inputs/outputs		Interface to ripple control receiver			
USB (A socket) <sup>2)</sup>		Datalogging, inverter update via USB flash drive			
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>2)</sup>		Fronius Solar Net			
Signalling output <sup>1)</sup>		Energy management (floating relay output)			
Datalogger and Webserver		Included			
External input <sup>2)</sup>		50-Meter Interface / Input for overvoltage protection			
RS485		Modbus RTU SunSpec or meter connection			

<sup>1)</sup> Available for countries where 3 kW restrictions apply. <sup>2)</sup> Also available in the light version. Further information and technical data can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

31.09.091.BN v11 Feb 2017 4417 Text and images correspond to the current state of technology at the time of printing. Subject to modifications. All information is without guarantee in spite of careful editing. Liability excluded. Copyright © 2011 Fronius™. All rights reserved.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

### WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,700 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 800 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

v06 Apr 2016 BN

Fronius India Private Limited  
GAT no 312, Nanekarwadi  
Chakan, Taluka - Khed District  
Pune 410501  
India  
[pv-sales-india@fronius.com](mailto:pv-sales-india@fronius.com)  
[www.fronius.in](http://www.fronius.in)

Fronius Australia Pty Ltd.  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
[pv-sales-australia@fronius.com](mailto:pv-sales-australia@fronius.com)  
[www.fronius.com.au](http://www.fronius.com.au)

Fronius UK Limited  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
[pv-sales-uk@fronius.com](mailto:pv-sales-uk@fronius.com)  
[www.fronius.co.uk](http://www.fronius.co.uk)

Fronius International GmbH  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
[pv-sales@fronius.com](mailto:pv-sales@fronius.com)  
[www.fronius.com](http://www.fronius.com)

## Anexo C: Solicitud de interconexión.

Fecha \_\_\_\_\_ Número de Solicitud \_\_\_\_\_

I. Datos del Solicitante			
Nombre, Denominación o Razon Social			
Domicilio			
Calle	Número exterior	Número Interior	Código Postal
Colonia/Poblacion		Delegación/Municipio	Estado
Teléfono		Correo Electrónico	Fax

II. Datos de Contacto			
Nombre		Puesto	
Domicilio			
Calle	Número exterior	Número Interior	Código Postal
Colonia/Poblacion		Delegación/Municipio	Estado
Teléfono		Correo Electrónico	Fax

III. Datos de la Solicitud			
Modalidad de la Solicitud	Baja Tensión	<input type="checkbox"/>	Media Tensión
		<input type="checkbox"/>	

IV. Utilización de la Energía Eléctrica Producida			
Consumo de Centros de Carga	<input type="text"/>	Consumo de Centros de Carga y Venta de Excedentes	<input type="text"/>
		Venta Total	<input type="text"/>

V. Datos del Servicio Suministro Actual	
Registro Público de Usuario (RPU)	Nivel de Tensión de Suministro

VI. Central Eléctrica			
Fecha estimada de Operación Normal (DD/MM/AAAA)	Capacidad Bruta Instalada (Kw)	Capacidad a Incrementar (kw) (Opcional)	Generación Promedio Mensual Estimada (kwh/Mes)

VII. Manifestación de Cumplimiento de las Especificaciones Técnicas Generales		
Manifiesto bajo protesta de decir la verdad que la Central Eléctrica cumple con las Especificaciones técnicas requeridas de acuerdo las disposiciones aplicables. <input type="checkbox"/>		
Tecnología para generación de energía eléctrica		
Solar <input type="checkbox"/>	Biomasa <input type="checkbox"/>	
Eólico <input type="checkbox"/>	Cogeneración <input type="checkbox"/>	
	Otro Especificar <input type="text"/>	
No de unidades de generación	Combustible principal	Combustible secundario
Coordenadas UTM	X	Y
1		
2		
3		
4		
5		
6		

(Representante Legal o El Solicitante) ( El Solicitante) certifica que la Información proporcionada en la presente solicitud es apropiada, precisa y verídica. El solicitante acepta que los datos proporcionados sean utilizados para llevar a cabo los Estudios de Interconexión para garantizar la confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional con la Interconexión de la Central Eléctrica del solicitante al amparo de la Ley de la Industria Eléctrica y su Reglamento, en caso de ser requeridos.

El solicitante entiende que los datos proporcionados, se añadirán a las bases de datos del suministrador cuando se firme un contrato de interconexión respectivo.

El solicitante deberá anexa a la presente solicitud, la información técnica requerida en el documento "Información Técnica Requerida para Centrales Eléctricas"

Firma de Conformidad	
Solicitante	
Nombre _____	sello y firma Centro de Atención
Cargo _____	
Fecha _____	

## **Anexo D: Contrato de interconexión:**

### **MODELO DE CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA ESCALA.**

CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA ESCALA QUE CELEBRAN, POR UNA PARTE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DENOMINADA EN LO SUCESIVO EL **SUMINISTRADOR**, Y POR LA OTRA \_\_\_\_\_, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARA EL **GENERADOR**, REPRESENTADO POR \_\_\_\_\_, EN SU CARACTER DE \_\_\_\_\_, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLAUSULAS.

#### **DECLARACIONES**

- I. Declara el **Suministrador** que:
- (a) Es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propios, que se rige por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento, y acredita tal carácter en los términos del artículo 8 de la citada Ley.
  - (b) Su representante, el señor \_\_\_\_\_ cuenta con todas las facultades necesarias para comparecer a la celebración del presente contrato, según consta en la Escritura Pública número \_\_\_\_\_ de fecha \_\_\_\_\_, pasada ante la fe del señor licenciado \_\_\_\_\_, Notario Público número \_\_\_\_\_ de la ciudad de \_\_\_\_\_.
  - (c) Tiene su domicilio en \_\_\_\_\_, mismo que señala para todos los fines y efectos legales del presente **Contrato**.
  - (d) El presente **Contrato** es aplicable a todos los **Generadores con Fuente de Energía Renovable** y **Generadores con Sistema de Cogeneración** en Pequeña Escala con capacidad hasta de 30 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del **Sistema del Suministrador** para portear energía a sus cargas.
- II. Declara el **Generador** que:
- (a) (Opción 1. persona física): Es una persona física que comparece por su propio derecho con capacidad jurídica para contratar y obligarse en términos del presente Contrato y se identifica con \_\_\_\_\_, expedida por \_\_\_\_\_, de fecha \_\_\_\_\_.  
(Opción 2. persona moral): Es una sociedad mexicana, constituida de acuerdo con la Escritura Pública número \_\_\_\_\_ de fecha \_\_\_\_\_, pasada ante la fe del licenciado \_\_\_\_\_, Notario Público No. \_\_\_\_\_ de la ciudad de \_\_\_\_\_, e inscrita en el Registro Público de Comercio de \_\_\_\_\_ bajo el número \_\_\_\_\_].  
Su representante \_\_\_\_\_, quien actúa con el carácter de \_\_\_\_\_, cuenta con todas las facultades necesarias para la celebración del presente contrato, según se desprende de la Escritura Pública No. \_\_\_\_\_ de fecha \_\_\_\_\_, pasada ante la fe del señor licenciado \_\_\_\_\_, Notario Público No. \_\_\_\_\_ de la ciudad de \_\_\_\_\_ e inscrita en el Registro Público de Comercio de \_\_\_\_\_ bajo el número \_\_\_\_\_].
  - (b) Tiene su domicilio en \_\_\_\_\_, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este **Contrato**.
  - (c) Se obliga a proporcionar al Suministrador, y según sea el caso, acreditar documentalmente con **Información Técnica**, que cuenta con equipo de cogeneración que cumple con los términos del artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

#### **CLAUSULAS**

**PRIMERA.** Objeto del **Contrato**. El objeto de este **Contrato** es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador** y la **Fuente de Energía Renovable** o el **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala del **Generador**;

**SEGUNDA.** Definiciones. Los términos que aparecen en este **Contrato**, ya sea en el propio cuerpo o en cualquiera de sus anexos, con inicial mayúscula y negrillas tendrán el significado que se les asigna en esta cláusula segunda. Dicho significado se aplicará al término tanto en singular como en plural.

- **Cogeneración.** Conforme a lo dispuesto en el artículo 36, fracción II, de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Contrato.** El presente **Contrato** para **Fuente de Energía Renovable** o **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala incluyendo todos y cada uno de sus anexos.
- **Generador.** La persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con **Fuente de Energía Renovable** o aquellas personas físicas o morales que cuenten con un **Sistema de Cogeneración** en Pequeña Escala.

- **Información Técnica:** Información suficiente con la que se deberá demostrar que se cuenta con equipo de cogeneración que se acreditará con copias de alguno de los siguientes documentos: factura, manuales del fabricante, diagramas de proceso, entre otros.
- **Fuente de Energía Renovable:** Generadores de energía renovable como se define en el artículo 3, fracción II, de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- **Kilowatt hora (kWh).** Unidad convencional de medida de energía eléctrica.
- **Ley.** La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Parte.** El Suministrador de acuerdo a la Ley y la persona física o moral que suscribe el Contrato.
- **Sistema.** El Sistema Eléctrico Nacional propiedad del Suministrador.
- **Sistema de Cogeneración.** Dispositivos que en su conjunto producen energía eléctrica mediante Cogeneración.

**TERCERA. Vigencia del Contrato.** El presente Contrato surtirá sus efectos a partir de la fecha en que sea firmado por ambas Partes y tendrá una duración indefinida.

**CUARTA. Terminación anticipada y rescisión.** El presente Contrato podrá darse por terminado anticipadamente por cualquiera de las causas siguientes:

- a) Por voluntad del Generador, siendo requisito previo la notificación por escrito del Generador al Suministrador con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- b) Por necesidades del servicio, siendo requisito previo la notificación por escrito del Suministrador al Generador con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- c) Por acuerdo de las Partes.

El presente Contrato podrá rescindirse por contravención a las disposiciones que establece la Ley, su Reglamento y las demás disposiciones aplicables al Contrato, siempre y cuando dicha contravención afecte sustancialmente lo establecido en este Contrato.

Mientras no se rescinda el Contrato, cada Parte seguirá cumpliendo con sus obligaciones respectivas al amparo del mismo.

**QUINTA. Entrega de energía por el Generador.** El Generador se compromete a poner a disposición del Suministrador la energía producida por la Fuente de Energía Renovable o por el Sistema de Cogeneración en pequeña escala, y el Suministrador se compromete a recibirla hasta por un total igual a la energía asociada a la potencia de \_\_\_\_\_ kW.

La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:

Para usuarios con servicio de uso residencial: hasta 10 kW.

Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión: hasta 30 kW.

**SEXTA. Interconexión.** Las inversiones necesarias para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios serán a cargo del Generador.

Asimismo, estará a cargo del Generador cualquier modificación que sea necesario realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del Suministrador y previa autorización de éste.

Las instalaciones y equipos necesarios en el Punto de Interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la conexión con el Sistema deberán cumplir con las especificaciones conducentes del Suministrador y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Las características de estas instalaciones y equipos serán las establecidas por el Suministrador.

**SEPTIMA. Medición.** Los medidores y los equipos de medición a ser usados para medir la energía entregada por el Generador al Suministrador y la que entregue el Suministrador al Generador serán instalados por el Suministrador a costa del Generador. Los medidores a instalar tendrán la capacidad de efectuar la medición neta (Net Metering) entre la energía eléctrica entregada por el Suministrador y la energía eléctrica entregada por el Generador al Suministrador. En razón de ello, el Generador únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición neta y el costo del equipo convencional que instalaría el Suministrador para la entrega de energía eléctrica que corresponda.

El Generador puede instalar y mantener a su propia costa, medidores y equipo de medición de reserva en el Punto de Interconexión adicionales a los mencionados en el párrafo anterior de esta cláusula, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas que tiene establecidas el Suministrador para ese propósito.

**OCTAVA.** Contrato de Suministro. El **Generador** se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del **Suministrador**.

**NOVENA.** Facturación y pagos. Para fines de facturación, el consumo de kWh del **Generador**, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del **Generador** que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el **Generador** renuncia a cualquier pago por este concepto.

Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del **Suministrador** y se facturará en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava.

**DECIMA.** El **Generador** se obliga a no intervenir ni modificar los equipos en sus instalaciones que están asociados a la desconexión de su fuente de energía, ni a los asociados a la desconexión de sus instalaciones de las instalaciones del **Suministrador**. En caso contrario, el **Generador** deberá responder de los daños y perjuicios que cause el **Suministrador**.

**DECIMA PRIMERA.** Lugar de pago. Todos los pagos se harán en moneda de curso legal en los Estados Unidos Mexicanos en las oficinas de atención al público del **Suministrador** o en las instituciones o medios que éste establezca.

**DECIMA SEGUNDA.** Supletoriedad. Para lo no establecido en el presente Contrato, se aplicarán las disposiciones del contrato de suministro de energía eléctrica mencionado en la cláusula octava así como lo dispuesto en las disposiciones jurídicas aplicables.

**DECIMA TERCERA.** Modificaciones. Cualquier modificación al presente Contrato deberá formalizarse por escrito y ambas **Partes** deberán suscribir el convenio correspondiente.

**DECIMA CUARTA.** Caso fortuito y fuerza mayor. Las **Partes** no serán responsables por el incumplimiento de sus obligaciones cuando el mismo resulte de caso fortuito o fuerza mayor.

**DECIMA QUINTA.** Cesión de derechos. El **Generador** tiene prohibida la cesión parcial o total de los derechos y obligaciones derivadas del presente Contrato, sin la previa autorización por escrito del **Suministrador**.

**DECIMA SEXTA.** Legislación y tribunales. El presente Contrato se rige e interpreta por las leyes federales de los Estados Unidos Mexicanos y, en particular, por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. Las controversias que surjan del presente contrato serán competencia de los tribunales federales en la ciudad \_\_\_\_\_ y al efecto las partes renuncian al diverso fuero que pudiere corresponderles por razón de su domicilio u otras causas.

Este Contrato se firma en \_\_\_ ejemplares en la Ciudad de \_\_\_\_\_, el \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**EL SUMINISTRADOR**

**EL GENERADOR**

Las firmas y antifirmas que anteceden corresponden al Contrato celebrado entre \_\_\_\_\_ (el **Suministrador**) y \_\_\_\_\_ (el **Generador**).

## Anexo E: Programa especial del cambio climático 2014-2018

PROGRAMA ESPECIAL  
DE CAMBIO CLIMÁTICO  
2014-2018

### Objetivo 3. Reducir emisiones de gases de efecto invernadero para transitar a una economía competitiva y a un desarrollo bajo en emisiones.

<b>Estrategia 3.1. Ejecutar proyectos y acciones de eficiencia energética</b>		
<b>Línea de acción</b>		
3.1.3	Instrumentar prácticas agrícolas sustentables, aprovechamiento, generación y uso de energías renovables, eficiencia energética, y generación y aprovechamiento de biomasa	
3.1.7	Promover el uso de esquemas de generación distribuida en pequeña y gran escala	
<b>Estrategia 3.2. Acelerar la transición energética a fuentes de energía menos intensivas en carbono</b>		
<b>Líneas de acción</b>		
3.2.1	Impulsar la diversificación de la matriz energética con inversión pública y privada en la generación mediante energías limpias	
<b>Estrategia 3.3. Desarrollar herramientas e instrumentos que faciliten la transición energética</b>		
<b>Líneas de acción</b>		
3.3.1	Publicar y actualizar el Inventario Nacional de Energías Renovables	
3.3.3	Normar y fomentar energías renovables y tecnologías limpias para consolidar al país como una economía de bajo carbono	
3.3.5	Revisar y adecuar el marco regulatorio vigente sobre permisos requeridos para la generación de electricidad mediante fuentes renovables	
3.3.5	Revisar y adecuar el marco regulatorio vigente sobre permisos requeridos para la generación de electricidad mediante fuentes renovables	
3.3.7	Impulsar la normalización del sector eléctrico atendiendo el uso incremental de energías renovables, sistemas de cogeneración eficiente y redes inteligentes	

## Anexo F: Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México.

### GUÍA PRÁCTICA DE TRÁMITES Y PERMISOS PARA PROYECTOS DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

## 3. MARCO INSTITUCIONAL

La Sener tiene a su cargo la política nacional energética y encabeza el sector gubernamental del cual forman parte las tres instituciones federales con atribuciones en el tema de **cogeneración**, cuyo papel se explica a continuación.

### 3.1 COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA (CONUEE)

La Conuee es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía que goza de autonomía técnica y operativa y tiene por objeto promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

La Conuee busca promover la **cogeneración** de energía en usuarios industriales de alto consumo energético, mediante las siguientes líneas de acción:

- Difundir las ventajas de la **cogeneración**, resaltando los beneficios y la factibilidad de proyectos en empresas de alto consumo energético, incluyendo las del sector energético, y
- Promover la coordinación entre los actores del sector para lograr la ejecución de proyectos de **cogeneración**.

### 3.2 COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA (CRE)

En 1995, con la expedición de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía (LCRE), se estableció a la CRE como un órgano administrativo desconcentrado de la Sener, que cuenta con autonomía técnica, operativa, de gestión y de decisión. La CRE es la entidad reguladora en materia de energía eléctrica.

De acuerdo con la Ley de la CRE, le corresponde a ésta otorgar y revocar los permisos y autorizaciones que, conforme a las disposiciones legales aplicables, se requieran para la realización de actividades reguladas, entre otras, la generación de energía eléctrica que realicen los particulares, entre los que se encuentran los relativos a la generación de energía eléctrica bajo la modalidad de cogeneración.

A partir de la entrada en vigor de la LAERFTE, la CRE tiene la atribución de expedir las normas, directivas, metodologías y demás disposiciones administrativas que regulen la generación de energía eléctrica con sistemas de cogeneración, de acuerdo con las definiciones del Artículo 36, Fracción II de la LSPEE, siempre y cuando dichos sistemas cumplan con los criterios de eficiencia que para tal efecto establezca la CRE.

Adicionalmente, el Reglamento de la LAERFTE, señala que la CRE expedirá los criterios, metodologías y directrices a que se sujetarán los modelos de contrato, procedimientos de intercambio de energía y sus correspondientes sistemas de compensaciones para proyectos de cogeneración eficiente.

LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
LSPEE	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica

### 3.3 COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE)

Con base en la LSPEE, la CFE es un organismo público descentralizado del Gobierno Federal con personalidad jurídica y patrimonio propio que tiene la facultad de generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer toda la energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público de energía eléctrica dentro del territorio nacional. El servicio público de energía eléctrica comprende:

- La planeación del SEN.
- La generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica.
- La realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que requieran la planeación, ejecución, operación y mantenimiento del SEN.

A pesar de que la cogeneración en sí misma no está considerada como servicio público, la LSPEE prevé que la planeación del SEN, la conducción, transformación, distribución, venta de energía eléctrica y la realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que requieran la planeación, ejecución, operación y mantenimiento del SEN corresponden a la Nación.

Por lo anterior, además de generar energía eléctrica para el suministro de los usuarios, la CFE debe asumir la responsabilidad de realizar las actividades antes mencionadas, las cuales incluyen la interconexión de los sistemas de cogeneración al SEN y el proporcionar servicios de transmisión para la energía eléctrica generada en estos sistemas.

## 4. MARCO LEGAL APLICABLE A LA COGENERACIÓN

Con base en el párrafo sexto del Artículo 27 Constitucional, corresponde a la Nación de manera exclusiva generar, conducir, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público.

Las reformas realizadas en 1992 a la LSPEE definieron la participación de los particulares en actividades que no se consideran servicio público, entre las que se encuentra la cogeneración de energía eléctrica (Artículo 3, Fracción I). En términos de la Fracción II del Artículo 36 de esta misma Ley, la Sener debe considerar los criterios y lineamientos de la política energética nacional y la opinión de la CFE para otorgar permisos de cogeneración siempre y cuando:

- La electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados a la cogeneración.
- Se incrementen las eficiencias energética y económica de todo el proceso.
- La eficiencia energética sea mayor que la obtenida en plantas de generación convencionales.
- El solicitante se comprometa a poner sus excedentes de producción a disposición de la CFE.

La duración de los permisos bajo la modalidad de cogeneración es indefinida, sin embargo los titulares quedan obligados en todo momento a:

- a) Proporcionar, en la medida de sus posibilidades, la energía eléctrica disponible para el servicio público, cuando por causas de fuerza mayor o caso fortuito el servicio público se interrumpa o restrinja, y únicamente por el lapso que comprenda la interrupción o restricción. Para estos casos, habrá una contraprestación a favor del titular del permiso.
- b) Cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas relativas a las obras e instalaciones objeto de los permisos.
- c) La entrega de energía eléctrica a la red de servicio público se sujetará a las reglas de despacho y operación del SEN que establezca la CFE.

Por su parte, la LAERFTE, en la Fracción VII de su Artículo 7 y en su Artículo 20, otorga a la CRE la atribución de expedir los procedimientos de intercambio de energía y los sistemas correspondientes de compensaciones, para todos los proyectos y sistemas de cogeneración que estén conectados con las redes del SEN; asimismo, cuando se trate de sistemas de cogeneración eficiente, es decir, aquellos sistemas de cogeneración que cumplan con el criterio de eficiencia que establezca la propia CRE.

El Reglamento de la LAERFTE en su Título Cuarto, Capítulo I, se refiere a las disposiciones administrativas de la CRE en términos de regulación de la cogeneración Eficiente. De acuerdo con el Artículo 45 del mismo Reglamento, en el caso específico de los convenios que se celebren entre la CFE y Petróleos Mexicanos (Pemex) o sus organismos subsidiarios, para proyectos de cogeneración eficiente, estos deberán contener acuerdos para lograr un manejo integral de la energía térmica y eléctrica en los procesos industriales y cumplir los criterios de eficiencia mínima que establezca la CRE.



## BIBLIOGRAFÍA

- Energía medio ambiente y edificación; autor: Philip Steadman; editorial: H. Blume ediciones.
- Tecnología energética; autor: Vicente Bermúdez; Universidad politécnica de valencia.
- Guía del instalador de energías renovables, energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica climatización; autor: Tomas Perales Benito; editorial Limusa Noriega editores.
- Energía renovable; autor: Jennifer Carless; editorial Edamex
- Energías renovables (fundamentos, tecnologías y aplicaciones); autor: Antonio Madrid; editorial: AMV ediciones.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE) generación distribuida, desarrollo sustentable.
- <https://www.gob.mx/sener/articulos/gracias-a-la-reforma-energetica-se-construiran-11-centrales-de-energias-limpias-en-aguascalientes-coahuila-nuevo-leon-y-sonora?idiom=es>
- Prospectiva de energías renovables 2016-2030; Secretaria de Energía 2016;
- <http://dmsolar.mx/celdas-fotovoltaicas-tipos-y-su-funcionamiento/>
- [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/funcionamiento-efecto-fotovoltaico\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/funcionamiento-efecto-fotovoltaico_1)
- <http://panelessolarespr.com/solar101.html>
- [http://www.geofisica.unam.mx/radiacion\\_solar/energia.php?grafica=hp](http://www.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/energia.php?grafica=hp)
- Sistemas de Aeronaves de Turbina: Tomo III; autor: Felipe Gato Gutiérrez; editorial NoBooks
- <http://www.marisolcollazos.es/noticias-informatica/?tag=willoughby-smith>
- Generación de energía solar fotovoltaica, nuevas energías; autor: Lluís Jutglar; editorial marcombo ediciones técnicas.
- <https://solar-energia.net/>
- [http://www.fondear.org/infonautic/Equipo\\_y\\_Usos/Electricidad\\_Energia/ControladorCarga/ControladorCarga.htm](http://www.fondear.org/infonautic/Equipo_y_Usos/Electricidad_Energia/ControladorCarga/ControladorCarga.htm)
- Energía solar fotovoltaica; autor: Luis Castañer Muñoz; editorial EDICIONS UPC universidad politécnica de Catalunya
- Como montar tu propia instalación de energía solar para obtener electricidad energía solar fotovoltaica; autor: Tomas Perales Benito; editorial Creaciones copyright.
- <http://degeriberica.com/>

- [http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61\\_2/PDF/EnergiaSol.pdf](http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf)
- The silicon solar cell turns 50, artículo adaptado del libro From Space to Earth: The Story of Solar Electricity; autor John Perlin; editorial Harvard University Press.
- <https://www.animalpolitico.com/blogueros-blog-invitado/2017/04/12/energia-fotovoltaica-buen-negocio-poca-inversion/>
- <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-614242369-estructura-para-paneles-solares-4-paneles- JM>
- <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-603711659-kit-energia-solar-interconexion-1500w-genera-82kwh-por-dia- JM>
- [https://www.thepowerstore.com/fronius-galvo-2kw-solar-inverter-single-phase-1-mppt-208-240vac?gclid=Cj0KCQjw5qrXBRC3ARIsAJq3bwou8-\\_6dmMkk560c1XRkssvtN0BameLh3WZnMVdQuVhVs1OlfSPUIEaAiwcEALw\\_wcB](https://www.thepowerstore.com/fronius-galvo-2kw-solar-inverter-single-phase-1-mppt-208-240vac?gclid=Cj0KCQjw5qrXBRC3ARIsAJq3bwou8-_6dmMkk560c1XRkssvtN0BameLh3WZnMVdQuVhVs1OlfSPUIEaAiwcEALw_wcB)
- <http://www.viakon.com/manuales/ManualElectricistaViakonCapitulo7.pdf>
- <http://www.banxico.org.mx/tipcomb/main.do?page=tip&idioma=sp#>
- Plan nacional de desarrollo 2013-2018, gobierno de la república, programa especial del cambio climático 2014-2018 (PECC).
- Guía práctica de trámites y permisos para proyectos de cogeneración de energía eléctrica en México; autor: Ana Ortiz Monasterio Quintana (Consultora); Secretaria de Energía (SENER), Comisión Reguladora de Energía (CRE), Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).