



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA
USO DOMÉSTICO**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN CONSTRUCCIÓN URBANA

PRESENTA:

ING. ALBERTO CARDOZO PIÑA

DIRECTOR DE TESINA: ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES

MÉXICO, D.F.

JUNIO 2014

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	2
ÍNDICE DE TABLAS.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ENERGÍA SOLAR Y SUS APLICACIONES.....	4
3. HISTORIA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	6
4. FUNCIONAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO.....	7
5. TIPOS DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, DIFERENCIAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	10
5.1. CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	10
5.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE ALTA CONCENTRACIÓN.....	11
5.2.1. <i>Concentradores de la radiación solar.....</i>	<i>12</i>
5.2.2. <i>Célula fotovoltaica.....</i>	<i>13</i>
5.2.3. <i>Dispersor del calor.....</i>	<i>14</i>
5.2.4. <i>Sistema de seguimiento solar.....</i>	<i>14</i>
5.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	15
5.3.1 <i>Sistema solar fotovoltaico aislado.....</i>	<i>15</i>
5.3.2 <i>Sistema fotovoltaico interconectado.....</i>	<i>16</i>
6. RENTABILIDAD DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA DOMICILIO DE BAJO Y ALTO CONSUMO ELÉCTRICO.....	17
6.1. TARIFAS CFE.....	17
6.1.1. <i>Tarifa 1 para el Distrito Federal (febrero 2014).....</i>	<i>17</i>
6.1.2. <i>Tarifas para el resto de la república.....</i>	<i>19</i>
6.1.3. <i>Tarifa DAC para el Distrito Federal (febrero 2014).....</i>	<i>25</i>
7. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	28
7.1. EJEMPLO CONSUMO TARIFA 1 (FEBRERO 2014).....	30
<i>Memoria de cálculo.....</i>	<i>31</i>
7.2. EJEMPLO DAC (FEBRERO 2014).....	34
<i>Memoria de cálculo.....</i>	<i>35</i>
7.3. REQUISITOS PARA LA INTERCONEXIÓN DE SISTEMA FV NIVEL RESIDENCIAL A LA RED.....	38
8. NORMATIVIDAD.....	39
9. CONCLUSIONES	44
10. BIBLIOGRAFÍA Y MESOGRAFÍA	46

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Celda solar monocristalina vs Celda solar policristalina.....	10
Ilustración 2 Esquema captación solar de un panel solar fotovoltaico sin concentración.....	12
Ilustración 3 Esquema captación solar de un panel solar fotovoltaico con concentración.....	13
Ilustración 4 Esquema de célula solar fotovoltaica de triple capa. Cada uno de los materiales aprovecha una parte del espectro electromagnético del sol.	13
Ilustración 5 Panel solar fotovoltaico de alta concentración.....	14
Ilustración 6 Diagrama sistema FV con respaldo aislado.....	16
Ilustración 7 Diagrama sistema FV sin respaldo interconectado a la red.....	17
Ilustración 8 Tipos de Tarifas Domésticas en México.	25
Ilustración 9 Comparativa de Gasto sin sistema fotovoltaico vs. Ahorro con sistema fotovoltaico (tarifa 1).....	33
Ilustración 10 Comparativa de Gasto sin sistema fotovoltaico vs. Ahorro con sistema fotovoltaico (tarifa DAC).....	37
Ilustración 11 Formato para la Conexión de sistema FV a la red.....	38
Ilustración 12 Normas aplicables al sistema FV.	42
Ilustración 13 NMX-J-655-ANCE Desempeño/Eficiencia.....	42
Ilustración 14 NMX-J-656-ANCE Seguridad en dispositivo FV.....	43
Ilustración 15 NMX-J-657-ANCE Sistemas híbridos y electrificación rural.....	43

Índice de tablas.

Tabla 1 Características eléctricas del PFV, STC: Irradiancia 1000 W/m ² , Temperatura del módulo 25°C, AM=1.5.....	29
Tabla 2 Ejemplo consumo tarifa 1 (Febrero 2014).....	30
Tabla 3 Especificaciones del Inversor y del Panel SFV.	31
Tabla 4 Cálculo del arreglo de los Paneles FVT tarifa 1.....	31
Tabla 5 Cotización tarifa 1.....	31
Tabla 6 Análisis de factibilidad Tarifa 1.....	32
Tabla 7 Ejemplo consumo tarifa DAC.....	34
Tabla 8 Especificaciones del Inversor y del Panel SFV.	35
Tabla 9 Cálculo del arreglo de los Paneles FVT tarifa DAC.....	35
Tabla 10 Cotización tarifa DAC.....	35
Tabla 11 Análisis de factibilidad Tarifa DAC.....	36

1. Introducción

En esta tesina se busca dar a conocer cómo se puede aprovechar a través de un sistema de paneles fotovoltaicos la energía brindada por el sol, para producir energía eléctrica en domicilios con un consumo eléctrico medio y alto.

Se verán algunas de las aplicaciones de la energía solar, la historia de los paneles solares, el funcionamiento de los mismos, también se verán las distintas opciones de los sistemas de paneles fotovoltaicos.

Se espera que las personas con conocimientos básicos de ingeniería puedan calcular, diseñar e instalar un sistema de paneles fotovoltaicos, cumpliendo con la normatividad exigida por el Gobierno Federal y la Comisión Federal de Electricidad.

Por último se analizarán y compararán dos inmuebles con diferentes requerimientos de energía eléctrica, buscando el mayor costo beneficio para cada tipo de proyecto y así ver la viabilidad del sistema solar fotovoltaico.

2. Energía solar y sus aplicaciones.

Cuando pensamos en la energía solar, dos manifestaciones de ésta, luz y calor, son fácilmente reconocidas. Ambas juegan un papel vital en la vida de nuestro planeta. La luz solar hace posible el proceso de fotosíntesis, sin el cual el reino vegetal y animal desaparecerían. El calor tempera el clima y evapora las aguas del mar las que libres del contenido salino, son devueltas al planeta en forma de lluvia. Seres humanos, animales y plantas deben su existencia a este simple mecanismo de purificación.

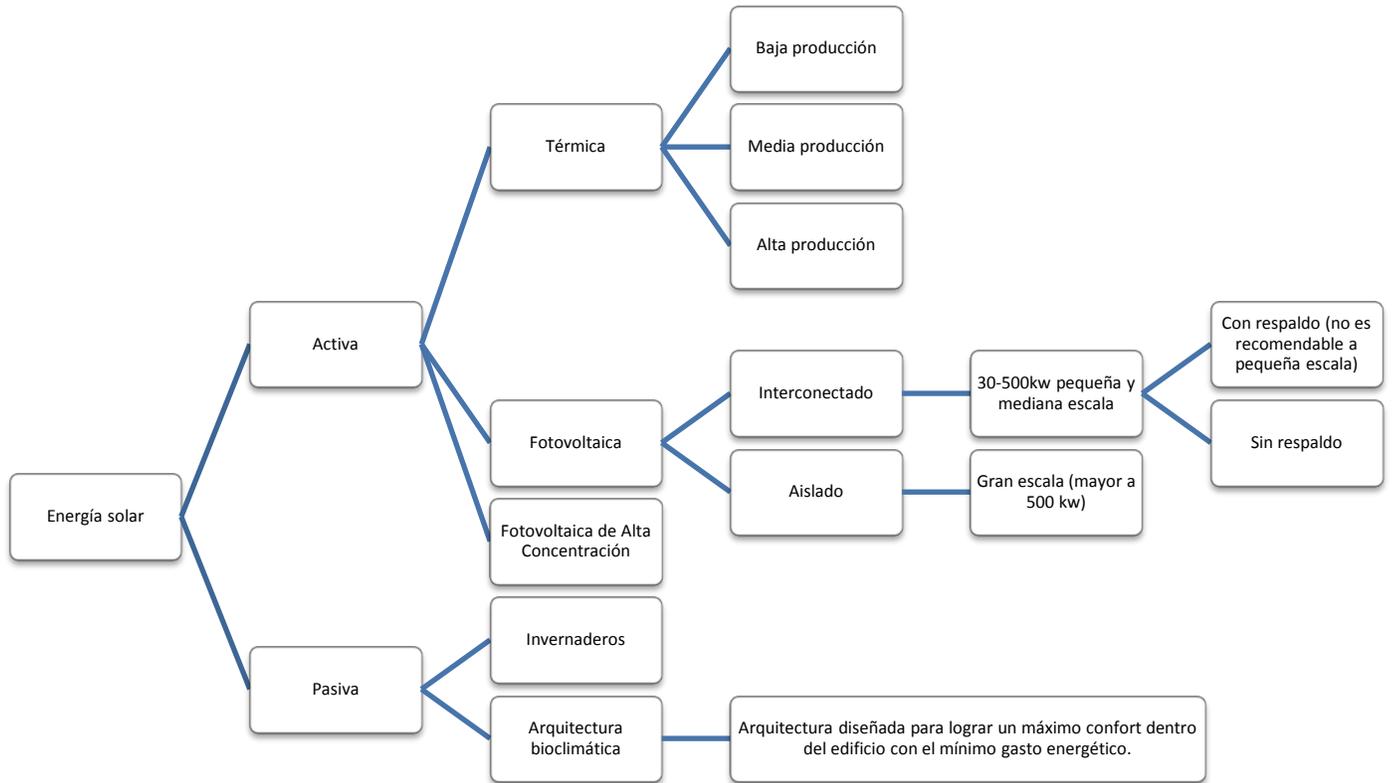
Otras manifestaciones de la energía solar no son tan obvias. La energía eólica es un ejemplo. El viento es el resultado del movimiento de masas de aire causados por la rotación de la Tierra, diferencias térmicas en la atmósfera y la diferente absorción térmica entre los mares y los continentes.

En el siguiente diagrama podemos ver que la energía solar se puede dividir en dos grupos principales, energía solar activa y energía solar pasiva.

La energía solar pasiva son los sistemas implementados que aprovechan la energía solar de forma directa, sin transformarla en otro tipo de energía, esta energía se ve aplicada en invernaderos y en la arquitectura bioclimática.

La energía solar activa es la energía solar que se transforma en energía eléctrica (sistemas fotovoltaicos) o energía térmica. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser interconectados a la red de suministro, con o sin respaldo y los sistemas aislados.

1



¹ Elaboración propia.

3. Historia de los Paneles fotovoltaicos.

La radiación solar puede ser transformada directamente en energía eléctrica. A este fenómeno se le denomina efecto fotovoltaico. A mediados del siglo XIX (1839) el físico francés Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico (FV). Varios físicos como Willoughby Smith (1873) y Lenard (1900) verifican su existencia bajo diversas condiciones. Einstein (1905) proporciona la base teórica del fenómeno, ganando el premio Nobel de física, Millikan (1920), un físico norteamericano, corrobora la teoría de Einstein. Sin embargo, la aplicación práctica de esta conversión de energía no comenzó hasta 1954, cuando se necesitó una fuente generadora de energía eléctrica que pudiese alimentar los circuitos eléctricos de los satélites espaciales, sin recurrir al uso de combustibles y con una vida útil de larguísima duración.

Las primeras aplicaciones terrestres del fenómeno FV comienzan en 1972. Desde esa fecha, una sucesión de nuevos procesos industriales, junto con la expansión del mercado de consumo, permitieron una drástica reducción del costo inicial de los paneles generadores (más de 100 veces desde su debut espacial). A pesar de ello el uso extensivo de los sistemas FVs en lugares del planeta que carecen de electricidad no ha alcanzado el nivel requerido. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), se estima que casi 1.500 millones de seres humanos carecen de electricidad en el planeta. Considero que existen tres factores que contribuyen a retardar su difusión: bajos ingresos, falta de crédito y carencia de conocimientos tecnológicos por parte de los presuntos consumidores.

4. Funcionamiento del panel fotovoltaico.

La palabra fotovoltaico(a) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: *foto*, que significa luz, y *voltaico* que significa eléctrico. El nombre resume la acción de estas células: transformar, directamente, la energía luminosa en energía eléctrica.

La conversión directa de energía solar a energía eléctrica, se realiza a través de las celdas solares, son dispositivos que aprovechan el efecto fotovoltaico, la capacidad de algunos materiales semiconductores para generar electricidad, cuando incide sobre ellos una radiación luminosa.

Un material conductor, como el cobre o el aluminio, permite el fácil paso de una corriente eléctrica porque tiene un gran número de cargas libres dentro del mismo. Un material es un no-conductor (aislador), como el vidrio o el plástico, porque no tiene cargas libres dentro de él. El silicio es el material más usado en la fabricación de células solares. En su forma cristalina pura, es un semiconductor, con muy pocas cargas libres dentro de él. Su resistividad es muy elevada. Usando un proceso llamado de difusión se puede introducir pequeñas cantidades de otros elementos químicos, los que permiten decrecer el valor inicial de la resistividad, creando zonas con diferentes tipos de carga. La célula FV utiliza dos tipos de materiales semiconductores, el tipo N y el tipo P.

Cuando la substancia difusa cede fácilmente electrones, se crea una zona dentro del semiconductor que tiene un exceso de cargas negativas (electrones). Esto es lo que se conoce como semiconductor del tipo N (negativo).

Cuando la substancia difusa atrapa electrones libres, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente. En esta zona predominan las cargas positivas (*holes*, en inglés) obteniéndose un semiconductor del tipo P (positivo).

El proceso de difusión es continuo, permitiendo la formación en el mismo material, de dos zonas semiconductoras adyacentes, una del tipo N y la otra del tipo P. El espacio que separa ambas zonas es la juntura de transición (*junction*, en inglés).

La teoría muestra que las cargas mayoritarias en una zona se desplazan hacia la de baja densidad en la zona opuesta. El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja la zona de la junta totalmente libre de cargas. Las zonas adyacentes a la misma tienen concentraciones de carga minoritarias (cargas negativas en el lado P y cargas positivas en el lado N). La acumulación de estas cargas a ambos lados de la juntura crea una diferencia de voltaje que impide la continuación del desplazamiento inicial.

La corriente de desplazamiento se anula. Se dice entonces que la juntura N-P ha alcanzado el estado de equilibrio.

Una celda solar típica está constituida por una hoja de silicio de gran pureza, tratada con fósforo y conectada con electrodos en las dos caras.

Cuando la luz incide sobre un semiconductor de este tipo, el bombardeo de los fotones libera electrones de los átomos de silicio creando dos cargas libres, una positiva y otra negativa. El equilibrio eléctrico de la juntura N-P se ve alterado por la presencia de estas nuevas cargas libres. Si al semiconductor se le conectan dos cables (uno por cada zona), se verifica la existencia de un voltaje entre los mismos. Si los terminales de la célula FV son conectados a una carga eléctrica, circulará una corriente eléctrica en el circuito formado por la célula, los cables de conexión y la carga externa. Sólo una parte del espectro luminoso puede llevar a cabo la acción descrita. El material utilizado para fabricar el semiconductor determina que parte del espectro luminoso es la óptima para provocar este desequilibrio.

Los niveles de producción de energía que se alcanzan con una célula son muy bajos, es por eso que se agrupan en paneles y éstos a su vez se pueden conectar en serie o paralelo para alcanzar el voltaje o intensidad requerida para cada uso concreto.

Pese a ser una de las energías renovables de más reciente aparición, la energía fotovoltaica se ha hecho presente en la vida cotidiana, puede tener distintas aplicaciones según se trate de aplicaciones aisladas o conectadas a la red eléctrica.

5. Tipos de sistema solar fotovoltaico, diferencias, ventajas y desventajas.

5.1. Celdas fotovoltaicas.

Antes de definir los tipos de sistemas fotovoltaicos hay que tomar en cuenta que hay distintos materiales para las celdas fotovoltaicas. Las celdas fotovoltaicas que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura poli cristalina.

El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que consume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor. La eficiencia de conversión energética es del 15% - 23%.

La versión poli cristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina no es uniforme, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales). La eficiencia de conversión energética es del 12% - 17%.

Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la poli cristalina muestra zonas de brillo diferente.

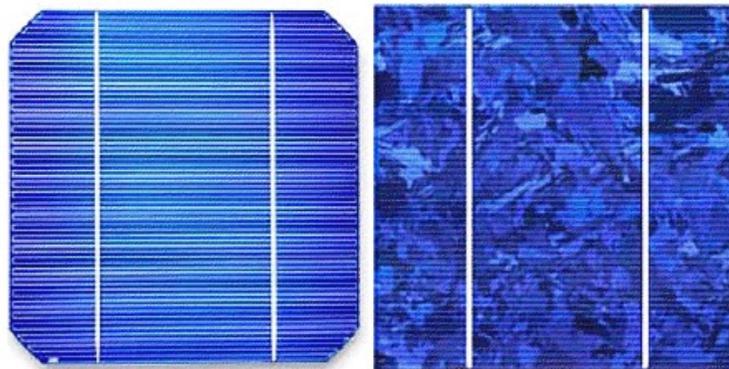


Ilustración 1 Celda solar monocristalina vs Celda solar policristalina²

² (ingenieroandreotti.blogspot.mx/, 2013)

Además de estas dos tipos de estructura, existen las celdas solares tipo amorfo y celdas solares tipo micro cristalino o nano cristalino.

Las celdas solares tipo amorfo tienen un arreglo menos regular de los átomos, que dan lugar a enlaces colgantes y varias lagunas donde la recombinación puede tener lugar.

El silicio puede ser fabricado en cualquier forma o tamaño y puede ser producido, en teoría, a precios muy bajos.

Estos fueron el primer tipo de células de energía solar que se utilizaron en la aplicación de productos de consumo, como relojes, calculadoras y otras aplicaciones no críticas y al aire libre.

Las celdas solares tipo micro cristalino o nano cristalino, mejor conocidos como paneles de película fina de energía solar también son una categoría de las células fotovoltaicas. Este concepto es una extensión de la idea detrás de silicio amorfo sin embargo en lugar de utilizar silicio de la industria en este caso se usan otros elementos, el más eficiente de los cuales es de arseniuro de galio de película fina. Estos tipos de células solares requieren menos materia prima que implicaría que el costo de las materias primas debe ser inferior sin embargo, debido al alto grado de manipulación y los costos de transformación de tales células delgadas, combinadas con la mayor eficiencia, hace que sea muy difícil juzgar si vale la pena su precio.

5.2. Energía solar fotovoltaica de alta concentración.

Toda la tecnología solar fotovoltaica, para transformar la luz solar en electricidad, se basa en materiales semiconductores que resultan relativamente caros debido a sus costosos sistemas de fabricación (aunque en los últimos años ha visto una bajada espectacular de costos). Así, para obtener volúmenes importantes de electricidad, es necesario disponer

de amplias superficies de paneles fotovoltaicos, lo que en la concepción convencional de la fotovoltaica se traduce en el empleo de mucho material fotovoltaico, resultando caro.

La tecnología de concentración fotovoltaica o HCPV en vez de disponer el caro material fotovoltaico en toda la superficie del panel, busca concentrar la luz solar que recibe el panel, a través de elementos económicos como espejos y lentes, en uno o varios espacios reducidos dentro del panel, que serán en los que se disponga el material fotovoltaico. Con ello se consigue emplear una menor cantidad de material fotovoltaico y reducir los costos de forma importante.

Los sistemas de alta concentración fotovoltaica cuentan con los siguientes elementos:

5.2.1. Concentradores de la radiación solar.

Puede tratarse o bien de espejos cóncavos o bien de lentes con efecto lupa que concentran la luz solar que incide sobre ellos hacia la célula fotovoltaica. Los factores de concentración que pueden alcanzar estos elementos van desde las 500 unidades, 1000 o incluso hasta las 2.000

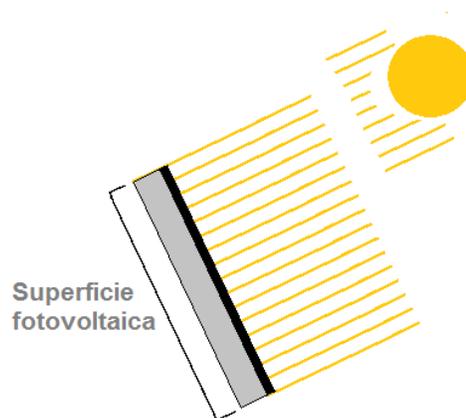


Ilustración 2 Esquema captación solar de un panel solar fotovoltaico sin concentración.³

³ (Sitiosolar.com portal de energías renovables, 2014)

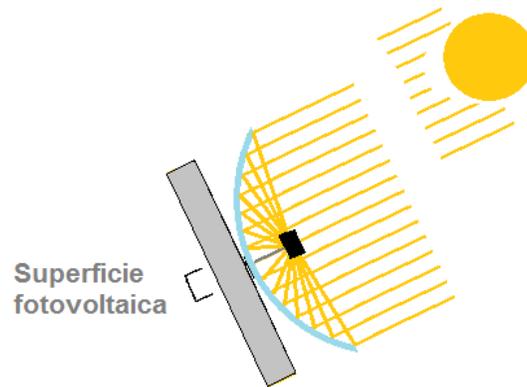


Ilustración 3 Esquema captación solar de un panel solar fotovoltaico con concentración.⁴

5.2.2. Célula fotovoltaica

Situada en el eje focal de los reflectantes o en el punto de concentración de las lentes. Es el elemento encargado de transformar la luz solar en electricidad. Para esta tecnología la célula fotovoltaica está compuesta de dos o tres capas de diferentes materiales optimizados cada uno de ellos para transformar en electricidad una parte del espectro electromagnético de la luz solar. El resultado es que la conjunción de las tres capas realiza un aprovechamiento más efectivo de la energía solar, traduciéndose en un mayor porcentaje de conversión solar.

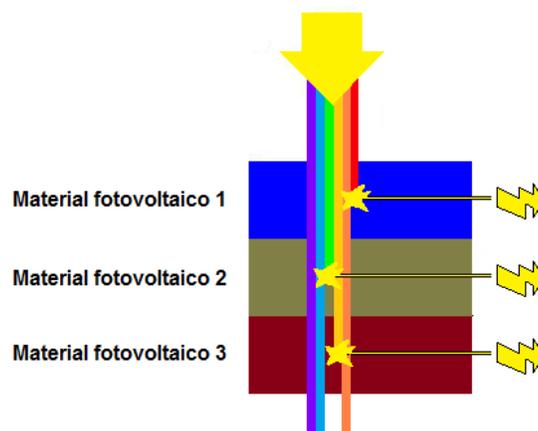


Ilustración 4 Esquema de célula solar fotovoltaica de triple capa. Cada uno de los materiales aprovecha una parte del espectro electromagnético del sol.⁵

⁴ *Ibid.* Pag12.

5.2.3. Dispersor del calor

La alta concentración de la radiación solar produce unas muy elevadas temperaturas. Aunque la tecnología de células solares de los sistemas de concentración no sufre la elevada degradación en su rendimiento de las de silicio de la fotovoltaica convencional con las temperaturas altas, también resulta necesario evacuar el exceso de calor. Para ello se acoplan a la célula fotovoltaica láminas de cobre y aluminio que disipan el exceso de calor.

5.2.4. Sistema de seguimiento solar

Esta tecnología, para poder concentrar ópticamente la radiación solar, requiere que el panel se mantenga en perpendicular al sol en todo momento. Por eso, los paneles con esta tecnología requieren sistemas de seguimiento solar de dos ejes que realicen un seguimiento constante del sol en su movimiento por el cielo. Estos sistemas suelen contar con dos ejes de movimiento, uno para seguir el sol en un desplazamiento aparente de este a oeste y otro para hacerlo en altura.



Ilustración 5 Panel solar fotovoltaico de alta concentración⁶

⁵ *Ibid.* Pag12.

⁶ *Ibid.* Pag12.

5.3 Sistema solar fotovoltaico.

Se le llama sistema solar fotovoltaico al sistema integrado por distintos elementos que interactúan entre sí para la conversión de la energía solar a energía eléctrica, los componentes del sistema solar fotovoltaico son los paneles, controlador, baterías e inversor.

Los paneles son los circuitos de celdas fotovoltaicas que generan la electricidad. Los controladores son los dispositivos encargados de regular la cantidad de energía suministrada por el panel fotovoltaico. Las baterías son las encargadas de acumular la energía para disponer de ella cuando el panel no genere energía eléctrica. El panel fotovoltaico y baterías entregan corriente directa, los equipos eléctricos que hay en los hogares del país funcionan con corriente alterna de onda senoidal, el inversor tiene la función de cambiar la corriente directa por corriente alterna.

Los sistemas solares fotovoltaicos se pueden clasificar en 3 tipos.

- Sistema solar fotovoltaico aislado.
- Sistema solar fotovoltaico interconectado.
- Sistema solar fotovoltaico mixto.

5.3.1 Sistema solar fotovoltaico aislado.

Un sistema fotovoltaico aislado, consiste en los módulos de los paneles fotovoltaicos, un arreglo de baterías de ciclo profundo, un controlador y un inversor.

Este sistema aislado como su nombre lo dice no recibirá energía eléctrica de ningún otro medio que no sean los paneles fotovoltaicos, es por eso que es necesario la implementación que un arreglo de baterías para solventar los momentos en que el panel no esté produciendo energía eléctrica. La cantidad de baterías irá en función del consumo

diario de energía y de los días que se consideren de respaldo sin que los paneles no produzcan energía debido al mal tiempo, puede ser desde 1 día hasta los días que se deseen. Hay que tomar en cuenta que mientras más días uno considere habrá que aumentar la cantidad de baterías, esto incrementará el costo del sistema considerablemente.

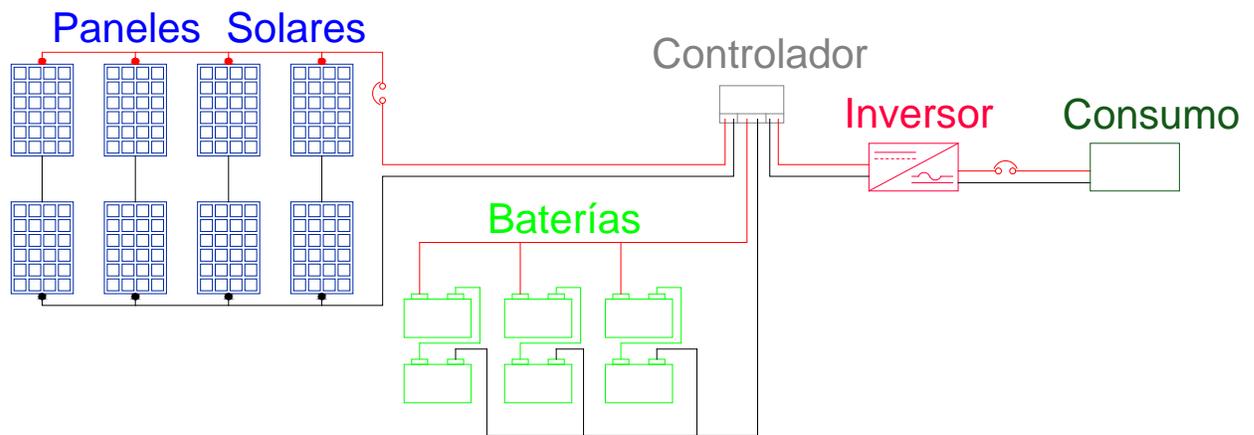


Ilustración 6 Diagrama sistema FV con respaldo aislado.⁷

5.3.2 Sistema fotovoltaico interconectado.

Un sistema fotovoltaico interconectado, consiste en módulos fotovoltaicos y un inversor el cual se puede conectar con la red eléctrica pública (CFE), de modo tal que si el sistema fotovoltaico genera una mayor energía de la que se está consumiendo en el hogar, el excedente de energía es inyectado a la red de distribución de CFE. Esta operación se mide empleando un medidor bidireccional, así la cantidad suministrada a la red pública y la energía consumida de la red puede ser medida y CFE factura la diferencia. Si la diferencia es positiva, se genera un crédito a favor en el cual puede consumirse dentro de un periodo de 12 meses.

⁷ Elaboración propia.

Este sistema no requiere baterías por lo que su costo es menor comparado con el sistema aislado, sin embargo requiere que exista un punto de interconexión con la red de distribución de CFE.

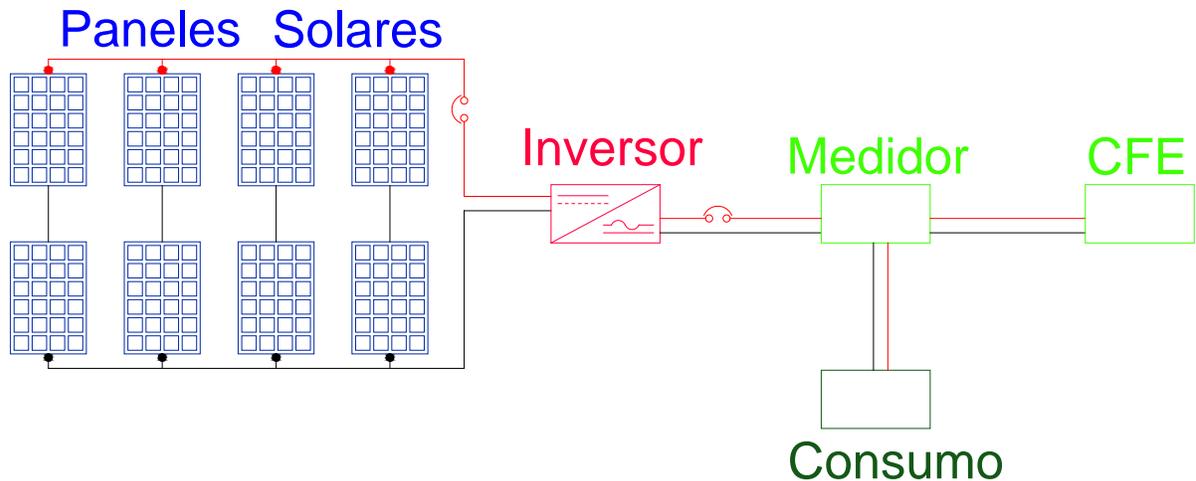


Ilustración 7 Diagrama sistema FV sin respaldo interconectado a la red.⁸

6. Rentabilidad del sistema solar fotovoltaico para domicilio de bajo y alto consumo eléctrico.

6.1. Tarifas CFE.

6.1.1. Tarifa 1 para el Distrito Federal (febrero 2014).

Servicio doméstico.

Aplicación.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo de acuerdo a lo establecido en la Tarifa DAC, conectadas individualmente a cada residencia,

⁸ Elaboración propia.

apartamento, apartamento en condominio o vivienda. Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa de uso general.

Cuotas.

Cargos por energía consumida

Consumo básico \$ 0.795 por cada uno de los primeros 75 (setenta y cinco) kilowatts-hora.

Consumo intermedio \$ 0.966 por cada uno de los siguientes 65 (sesenta y cinco) kilowatts-hora. Consumo excedente \$ 2.826 por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores, estas cuotas cambian mensualmente establecidas por la CFE.

Mínimo mensual.

El equivalente a 25 (veinticinco) kilowatts-hora.

Depósito de garantía.

El importe que resulte de aplicar el cargo por energía del consumo básico del numeral 2 a los consumos mensuales que se indican, según los casos:

- ✓ 100 (cien) kilowatts-hora para los servicios suministrados con 1 hilo de corriente.
- ✓ 300 (trescientos) kilowatts-hora para los servicios suministrados con 2 hilos de corriente.
- ✓ 350 (trescientos cincuenta) kilowatts-hora para los servicios suministrados con 3 hilos de corriente.

En el caso de los servicios con facturación bimestral, el depósito de garantía será dos veces el importe que resulte de aplicar lo anterior.

6.1.2. Tarifas para el resto de la república.

Tarifa 1 (Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Tlaxcala).⁹

Rango de consumo	Dic./2013	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.789	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825
Intermedio 76-140	0.960	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996
Excedente	2.808	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 250 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Tarifa 1A. (Morelos, Puebla, Querétaro).¹⁰

Temporada de verano.

El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de Verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-100	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio 101-150	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.850	0.853	0.856
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 300 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

⁹ (CFE, 2014)

¹⁰ *Ibid. pag. 18*

Temporada fuera de verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825
Intermedio 76-150	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 300 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Tarifa 1B. (Durango, Nayarit, Jalisco, Colima, Hidalgo, Quintana Roo).¹¹

Temporada de verano.

El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de Verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-125	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio 126-225	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.850	0.853	0.856
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 400 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Temporada fuera de verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825
Intermedio 76-175	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996

¹¹ *Ibid. pag. 18*

Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917
------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 400 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Tarifa 1C (Michoacán, Estado de México, Guerrero, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán).¹²

Temporada de verano.

El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de Verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-150	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio bajo 151-300	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.850	0.853	0.856
Intermedio alto 301-450	1.055	1.058	1.061	1.064	1.067	1.070	1.073	1.077	1.081	1.085	1.089	1.093
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 850 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Temporada fuera de verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825

¹² *Ibid. pag. 18*

Intermedio 76-175	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 850 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Tarifa 1D (San Luis Potosí, Chihuahua, Coahuila, Baja California Sur).¹³

Temporada de verano.

El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de Verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-175	0.703	0.705	0.707	0.709	0.711	0.713	0.715	0.717	0.719	0.721	0.723	0.725
Intermedio bajo 176-400	0.823	0.826	0.829	0.832	0.835	0.838	0.841	0.844	0.847	0.850	0.853	0.856
Intermedio alto 401-600	1.055	1.058	1.061	1.064	1.067	1.070	1.073	1.077	1.081	1.085	1.089	1.093
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 1,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Temporada fuera de verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825

¹³ *Ibid. pag. 18*

Intermedio 76-200	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 1,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Tarifa 1E (Sinaloa, Nuevo León, Tamaulipas).¹⁴

Temporada de verano.

El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de Verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-300	0.585	0.587	0.589	0.591	0.593	0.595	0.597	0.599	0.601	0.603	0.605	0.607
Intermedio bajo 301-750	0.734	0.736	0.738	0.740	0.742	0.744	0.746	0.748	0.750	0.752	0.754	0.756
Intermedio alto 751-900	0.954	0.957	0.960	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 2,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Temporada fuera de verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825
Intermedio 76-200	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996

¹⁴ *Ibid.* pag. 18

Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917
------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 2,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

Tarifa 1F (Baja California, Sonora).¹⁵

Temporada de verano.

El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de Verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-300	0.585	0.587	0.589	0.591	0.593	0.595	0.597	0.599	0.601	0.603	0.605	0.607
Intermedio 301-1,200	0.734	0.736	0.738	0.740	0.742	0.744	0.746	0.748	0.750	0.752	0.754	0.756
Intermedio alto 1,201-2,500	1.775	1.781	1.787	1.793	1.799	1.805	1.811	1.817	1.823	1.829	1.835	1.841
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Temporada fuera de verano.

Rango de consumo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.792	0.795	0.798	0.801	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.822	0.825
Intermedio 76-200	0.963	0.966	0.969	0.972	0.975	0.978	0.981	0.984	0.987	0.990	0.993	0.996
Excedente	2.817	2.826	2.835	2.844	2.853	2.862	2.871	2.880	2.889	2.898	2.907	2.917

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 2,500 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que le corresponda, de acuerdo a tu localidad.

¹⁵ *Ibid. pag. 18*

A continuación se presenta la distribución de tarifas aplicables a cada estado de la República Mexicana.

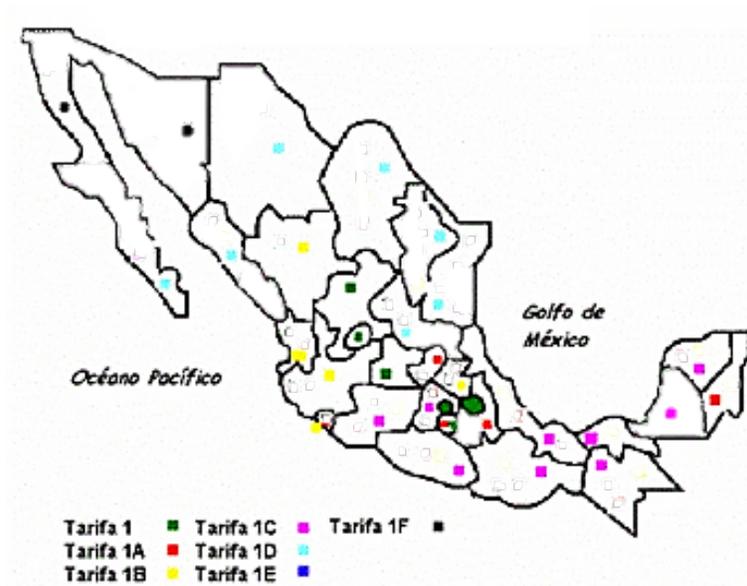


Ilustración 8 Tipos de Tarifas Domésticas en México.¹⁶

6.1.3. Tarifa DAC para el Distrito Federal (febrero 2014).¹⁷

Servicio doméstico de alto consumo.

Aplicación.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, considerada de alto consumo o que por las características del servicio así se requiera.

Alto consumo.

Se considera que un servicio es de alto consumo cuando registra un consumo mensual promedio superior al límite de alto consumo definido para su localidad.

¹⁶ (Pro Sustenta Eco Servicios, 2013)

¹⁷ (CFE, 2014)

Consumo mensual promedio.

El consumo mensual promedio registrado por el usuario se determinará con el promedio móvil del consumo durante los últimos 12 meses.

Límite de alto consumo.

El límite de alto consumo se define para cada localidad en función de la tarifa en la que se encuentre clasificada:

- ✓ Tarifa 1: 250 (doscientos cincuenta) kWh/mes.
- ✓ Tarifa 1A: 300 (trescientos) kWh/mes.
- ✓ Tarifa 1B: 400 (cuatrocientos) kWh/mes.
- ✓ Tarifa 1C: 850 (ochocientos cincuenta) kWh/mes.
- ✓ Tarifa 1D: 1,000 (un mil) kWh/mes.
- ✓ Tarifa 1E: 2,000 (dos mil) kWh/mes.
- ✓ Tarifa 1F: 2,500 (dos mil quinientos) kWh/mes.

Cuando el Consumo Mensual Promedio del usuario sea superior al Límite de Alto Consumo se le reclasificará a la Tarifa Doméstica de Alto Consumo.

Temporada de verano.

El verano es el periodo que comprende los seis meses consecutivos más cálidos del año, los cuales serán fijados por el suministrador de acuerdo con los reportes elaborados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y que se detallan para cada una de las tarifas en el presente Acuerdo.

Cuotas aplicables en el mes de febrero de 2014.

REGIÓN	CARGO FIJO	CARGO POR ENERGÍA CONSUMIDA (\$/KWH)	
	\$/MES	TEMPORADA DE VERANO	TEMPORADA FUERA DE VERANO

Baja California	\$78.45	\$3.750	\$3.220
Baja California Sur	\$78.40	\$4.085	\$3.220

REGIÓN	CARGO FIJO \$/MES	CARGO POR ENERGÍA CONSUMIDA (\$/KWH)
CENTRAL	\$78.40	\$3.858
NOROESTE	\$78.40	\$3.612
NORTE Y NORESTE	\$78.40	\$3.522
SUR Y PENINSULAR	\$78.40	\$3.579

Mínimo mensual

El cargo fijo, más el equivalente de 25 (veinticinco) kilowatts-hora.

Consumo mensual promedio menor al nivel de alto consumo

Cuando el usuario mantenga un Consumo Mensual Promedio inferior al Límite de Alto Consumo fijado para su localidad, el suministrador aplicará la Tarifa de Servicio Doméstico correspondiente.

Depósito en garantía

El Depósito de Garantía deberá cubrir el importe establecido en la tarifa de servicio doméstico correspondiente a la localidad.

Suministro en media tensión y tarifa horaria

Los usuarios podrán ser suministrados en media tensión con la tarifa horaria correspondiente.

7. Cálculo y Diseño del sistema fotovoltaico

Para el análisis de factibilidad del sistema fotovoltaico contemplaremos 2 casos, ambos serán dentro de la zona conurbada del Distrito Federal (Zona Centro), el primero será con Tarifa 1 y el segundo será con tarifa de alto consumo (DAC).

Para ambos casos se diseñará con el panel solar fotovoltaico policristalino ERDM P6-215/G.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	ERDM P6-216/G
Voltaje en Circuito Abierto (Voc)	33.37 V
Voltaje de Operación Óptimo (Vmp)	26.60 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.21 A

Corriente de Operación Óptima (I_{mp})	8.11 A
Potencia Máxima en STC (P_{max})	215 W
Temperatura de Operación ($^{\circ}C$)	-40 A 90
Máximo Voltaje del Sistema	1000 V
Máximo Valor del Fusible	15 A
Tolerancia de Potencia	+/- 3 %

Tabla 1 Características eléctricas del PFV, STC: Irradiancia 1000 W/m^2 , Temperatura del módulo $25^{\circ}C$, AM=1.5.

7.1. Ejemplo consumo tarifa 1 (Febrero 2014)

SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A CFE

Ejemplo de Cálculo para la Zona Conurbada del D.F. (Zona Centro)
Tarifa Doméstica 1

Consumo anual promedio según el recibo: **490** kWh/bim
Tarifa del mes: **FEBRERO 2014** **245** kWh/mes

Aplica Tarifa 1

	\$/kWh	kWh/mes	\$/Mes	\$/Bim
Tarifa primeros 75 kWh/mes (FEBRERO 2014):	0.795	75	\$ 59.63	\$ 119.25
Tarifa de 76 a 140 kWh/mes (FEBRERO 2014):	0.966	65	\$ 62.79	\$ 125.58
Excedente (FEBRERO 2014):	2.826	105	\$ 296.73	\$ 593.46
Subtotal:		245	\$ 419.15	\$ 838.29
IVA:			\$ 67.06	\$ 134.13
Pago:			\$ 486.21	\$ 972.42

Generación de energía

	kWh/mes	kWh/bim
Si se reduce el consumo de:	245.0	490.0
a:	120.0	240.0
Se requiere un sistema que genere:	125.0	250.0

Se requiere un sistema que genere al día: 4166.67 W

Cálculo del sistema

Carga CA promedio diaria	4166.67 W
Eficiencia del inversor	90.00 %
Voltaje CD del sistema	48.00 V

Considerando 5 hr de insolación/día promedio anual:	5.00 H
Corriente nominal del arreglo	21.43 A
Corriente del panel	8.11 V
Total de paneles	6.00 Paneles

Potencia de los paneles que se instalarán:	215.726 Watts/Panel
Total de paneles	6.00 Paneles
Potencia requerida del(los) inversor(es):	833.33 kW

Energía generada por el sistema:

No. de paneles =	6.00 Paneles	
Potencia de los paneles a STC =	215.73 Watts/Panel	
Eficiencia del sistema =	81.00 %	
Potencia efectiva del sistema =	1.05 kWatts	
Generación por día =	5.25 KWh/día	Nuevo consumo de CFE
Generación por mes =	157.50 KWh/mes	87.5 KWh/mes
Generación por bimestre =	315.00 KWh/bim	175.0 KWh/bim

Nuevo pago mensual a Tarifa 1

	\$/kWh	kWh	\$/Mes	\$/Bim
Tarifa primeros 75 kWh/mes (FEBRERO 2014):	0.795	75	\$ 59.63	\$ 119.26
Tarifa de 76 a 140 kWh/mes (FEBRERO 2014):	0.966	12.5	\$ 12.08	\$ 24.16
Excedente (FEBRERO 2014):	2.826	0	\$ -	\$ -
		87.5	\$ 71.71	\$ 143.42
			\$ 11.47	\$ 22.95
			\$ 83.18	\$ 166.37

Ahorro con el sistema Fotovoltaico

	\$/mes	\$/bim	\$/año
Pago anterior =	\$ 486.21	\$ 972.42	\$ 5,834.50
Pago con sistema FV =	\$ 83.18	\$ 166.37	\$ 998.20
Ahorro =	\$ 403.02	\$ 806.05	\$ 4,836.30

Tabla 2 Ejemplo consumo tarifa 1 (Febrero 2014).

Memoria de cálculo.

Inversor	Eficiencia	0.90
	Salida (W)	4,166.67
	Entrada (V)	48.00
	Voltaje (V)	12.00
Paneles	Potencia	215.73
	Vmp=Vnom (V)	26.60
	Imp=Inom (A)	8.11
	Isc (A)	8.21

Tabla 3 Especificaciones del Inversor y del Panel SFV.

Hoja de cálculo del arreglo								
Carga CA promedio diaria	/	Eficiencia del inversor	+	carga CD Promedio diaria	/	Voltaje CD del sistema	=	Promedio diario AH
4166.67		0.9		0		48		96.4506173
Promedio diario AH	/	Eficiencia del panel	/	Horas Sol pico/ día	=	Corriente nominal del arreglo		
96.4506173		0.9		5		21.43347051		
Corriente del arreglo	/	Corriente del panel	=	Paneles en paralelo		Paneles en paralelo neto		
21.4334705		8.11		2.6428447		3		
Voltaje CD del sistema	/	Voltaje nominal del panel	=	Paneles en serie	x	Paneles en paralelo neto	=	Total de paneles
48		26.6		2		3		6

Tabla 4 Cálculo del arreglo de los Paneles FVT tarifa 1.

Concepto	Cantidad	USD	Pesos	Total
PFV	6	\$ 204.25	\$ 2,859.50	\$ 17,157.00
Inversor	1	\$ 1,860.00	\$ 26,040.00	\$ 26,040.00
I. Eléctrica	3		\$ 3,000.00	\$ 9,000.00
Estructura	3		\$ 3,000.00	\$ 9,000.00
Subtotal				\$ 61,197.00
M.O	0.15			\$ 9,179.55
Ut.	0.25			\$ 15,299.25
IVA	0.16			\$ 9,791.52
Precio USD	\$ 14.00		TOTAL	\$ 95,467.32

Tabla 5 Cotización tarifa 1.

TARIFA 1					
Años	Sin Sistema PFV	Con Sistema PFV	Ahorro	Acumulado	G. Acum.
0	\$ 5,834.50	\$ 96,465.52	-\$ 90,631.02	-\$ 90,631.02	\$ 5,834.50
1	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 85,794.73	\$ 11,669.00
2	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 80,958.43	\$ 17,503.50
3	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 76,122.14	\$ 23,337.99
4	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 71,285.84	\$ 29,172.49
5	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 66,449.55	\$ 35,006.99
6	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 61,613.25	\$ 40,841.49
7	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 56,776.96	\$ 46,675.99
8	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 51,940.66	\$ 52,510.49
9	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 47,104.37	\$ 58,344.98
10	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 42,268.07	\$ 64,179.48
11	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 37,431.78	\$ 70,013.98
12	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 32,595.48	\$ 75,848.48
13	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 27,759.19	\$ 81,682.98
14	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 22,922.89	\$ 87,517.48
15	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 18,086.60	\$ 93,351.97
16	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 13,250.30	\$ 99,186.47
17	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 8,414.01	\$105,020.97
18	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	-\$ 3,577.71	\$110,855.47
19	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 1,258.58	\$116,689.97
20	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 6,094.88	\$122,524.47
21	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 10,931.17	\$128,358.96
22	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 15,767.47	\$134,193.46
23	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 20,603.76	\$140,027.96
24	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 25,440.06	\$145,862.46
25	\$ 5,834.50	\$ 998.20	\$ 4,836.30	\$ 30,276.36	\$151,696.96

Tabla 6 Análisis de factibilidad Tarifa 1.

Ilustración 9 Comparativa de Gasto sin sistema fotovoltaico vs. Ahorro con sistema fotovoltaico (tarifa 1).

7.2. Ejemplo DAC (Febrero 2014)

SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A CFE

Ejemplo de Cálculo para la Zona Conurbada del D.F. (Zona Centro)
Tarifa Doméstica DAC

Consumo anual promedio según el recibo: **610** kWh/bim
Tarifa del mes: **FEBRERO 2014** **305** kWh/mes

Aplica Tarifa DAC

	\$/kWh	kWh/mes	\$/Mes	\$/Bim
Tarifa DAC (FEBRERO 2014):	3.858	305	\$ 1,176.69	\$ 2,353.38
Cargo fijo mensual DAC (FEBRERO 2014):	78.4		\$ 78.40	\$ 156.80
Subtotal:			\$ 1,255.09	\$ 2,510.18
IVA:			\$ 200.81	\$ 401.63
Pago:			\$ 1,455.90	\$ 2,911.81
DAP 10%				\$ 251.02
TOTAL				\$ 3,162.83

Generación de energía

	kWh/mes	kWh/bim
Si se reduce el consumo de:	305.00	610.00
a:	70.00	140.00
Se requiere un sistema que genere:	235.00	470.00
Se requiere un sistema que genere al día:	7833.33 W	

Cálculo del sistema

Carga CA promedio diaria	7833.33 W
Eficiencia del inversor	90.00 %
Voltaje CD del sistema	48.00 V
Promedio diario AH	181.33 AH

Considerando 5 hr de insolación/día promedio anual:	5.00 H
Corriente nominal del arreglo	40.29 A
Corriente del panel	8.11 V
Total de paneles	10.00 Paneles

Potencia de los paneles que se instalarán:	215.73 Watts/Panel
Total de paneles	10.00 Paneles
Potencia requerida del(los) inversor(es):	1566.67 kW

Energía generada por el sistema:

No. de paneles =	10.00 Paneles	
Potencia de los paneles a STC =	215.73 Watts/Panel	
Eficiencia del sistema =	81.00 %	
Potencia efectiva del sistema =	1.75 kWatts	
Generación por día =	8.75 KWh/día	Nuevo consumo de CFE
Generación por mes =	262.50 KWh/mes	42.50 KWh/mes
Generación por bimestre =	525.00 KWh/bim	85.00 KWh/bim

Nuevo pago mensual a Tarifa 1

	\$/kWh	kWh	\$/Mes	\$/Bim
Tarifa primeros 75 kWh/mes (FEBRERO 2014):	0.795	42.50	\$ 33.79	\$ 67.58
Tarifa de 76 a 140 kWh/mes (FEBRERO 2014):	0.966	0.00	\$ -	\$ -
Excedente (FEBRERO 2014):	2.826	0.00	\$ -	\$ -
		42.50	\$ 33.79	\$ 67.58
			\$ 5.41	\$ 10.81
			\$ 78.39	\$ 156.78
				IVA 16%
				Total

Ahorro con el sistema Fotovoltaico

	\$/mes	\$/bim	\$/año
Pago anterior =	\$ 1,581.41	\$ 3,162.83	\$ 18,976.96
Pago con sistema FV =	\$ 39.20	\$ 78.39	\$ 470.36
Ahorro =	\$ 1,542.22	\$ 3,084.43	\$ 18,506.60

Tabla 7 Ejemplo consumo tarifa DAC.

Memoria de cálculo.

Inversor	Eficiencia	0.90
	Salida (W)	4,166.67
	Entrada (V)	48.00
	Voltaje (V)	12.00
Paneles	Potencia	215.73
	Vmp=Vnom (V)	26.60
	Imp=Inom (A)	8.11
	Isc (A)	8.21

Tabla 8 Especificaciones del Inversor y del Panel SFV.

Hoja de cálculo del arreglo								
Carga CA promedio diaria	/	Eficiencia del inversor	+	carga CD Promedio diaria	/	Voltaje CD del sistema	=	Promedio diario AH
7833.33		0.9		0		48		181.32716
Promedio diario AH	/	Eficiencia del panel	/	Horas Sol pico/ día	=	Corriente nominal del arreglo		
181.32716		0.9		5		40.29492455		
Corriente del arreglo	/	Corriente del panel	=	Paneles en paralelo		Paneles en paralelo neto		
40.2949246		8.11		4.96854803		5		
Voltaje CD del sistema	/	Voltaje nominal del panel	=	Paneles en serie	x	Paneles en paralelo neto	=	Total de paneles
48		26.6		2		5		10

Tabla 9 Cálculo del arreglo de los Paneles FVT tarifa DAC.

Concepto	Cantidad	USD	Pesos	Total
PFV	10	\$ 204.25	\$ 2,859.50	\$ 28,595.00
Inversor	1	\$ 1,860.00	\$ 26,040.00	\$ 26,040.00
I. Eléctrica	3		\$ 3,000.00	\$ 9,000.00
Estructura	3		\$ 3,000.00	\$ 9,000.00
Subtotal				\$ 72,635.00
M.O	0.15			\$ 10,895.25
Ut.	0.25			\$ 18,158.75
IVA	0.16			\$ 11,621.60
Precio USD	\$ 14.00			\$ 113,310.60

Tabla 10 Cotización tarifa DAC.

TARIFA DAC					
Años	Sin Sistema PFV	Con Sistema PFV	Ahorro	Acumulado	G. Acum.
0	\$ 18,976.96	\$ 113,780.96	-\$ 94,804.00	-\$ 94,804.00	\$ 18,976.96
1	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	-\$ 76,297.39	\$ 37,953.92
2	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	-\$ 57,790.79	\$ 56,930.88
3	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	-\$ 39,284.18	\$ 75,907.84
4	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	-\$ 20,777.58	\$ 94,884.80
5	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	-\$ 2,270.98	\$113,861.76
6	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$ 16,235.63	\$132,838.73
7	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$ 34,742.23	\$151,815.69
8	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$ 53,248.84	\$170,792.65
9	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$ 71,755.44	\$189,769.61
10	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$ 90,262.04	\$208,746.57
11	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$108,768.65	\$227,723.53
12	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$127,275.25	\$246,700.49
13	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$145,781.86	\$265,677.45
14	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$164,288.46	\$284,654.41
15	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$182,795.06	\$303,631.37
16	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$201,301.67	\$322,608.33
17	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$219,808.27	\$341,585.29
18	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$238,314.88	\$360,562.26
19	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$256,821.48	\$379,539.22
20	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$275,328.08	\$398,516.18
21	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$293,834.69	\$417,493.14
22	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$312,341.29	\$436,470.10
23	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$330,847.90	\$455,447.06
24	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$349,354.50	\$474,424.02
25	\$ 18,976.96	\$ 470.36	\$ 18,506.60	\$367,861.10	\$493,400.98

Tabla 11 Análisis de factibilidad Tarifa DAC.

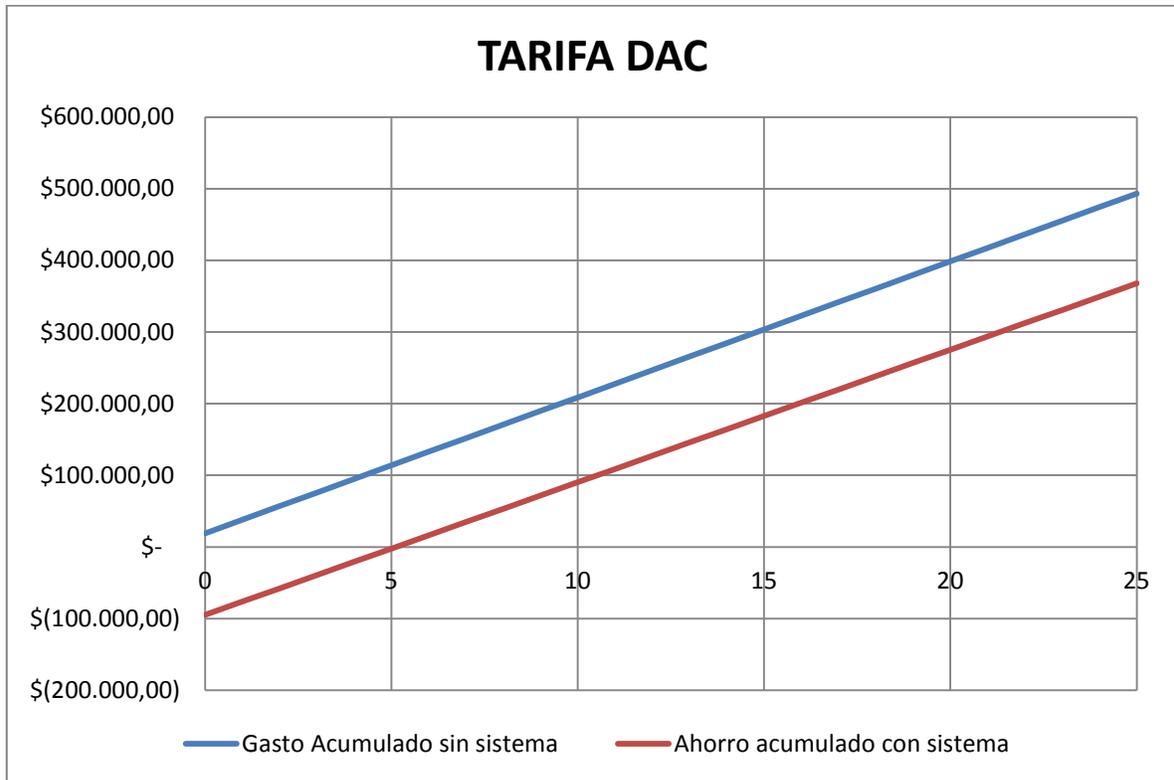


Ilustración 10 Comparativa de Gasto sin sistema fotovoltaico vs. Ahorro con sistema fotovoltaico (tarifa DAC).

7.3. Requisitos para la interconexión de sistema FV nivel residencial a la red.



FORMATO 1

SOLICITUD PARA LA CONEXIÓN DE UN CLIENTE CON GENERACIÓN RENOVABLE O SISTEMAS DE COGENERACIÓN EN PEQUEÑA O MEDIANA ESCALA

Datos comerciales

Nombre del Cliente: _____

Dirección: _____ Población: _____

Estado: _____ RPU: _____ Tarifa: _____

Datos de la instalación actual

Voltaje que CFE suministra: _____

kVA totales instalados: _____ kW instalados _____ kW contratados _____

Instalación Propuesta:

1.- Indicar el tipo de Fuente de Energía para usar: solar Eólica Biogas

Cogeneración Otro: _____

2.- Indicar el número de unidades generadoras (paneles solares, hélices, etc.): _____ unidades

3.- Indicar la capacidad total en Watt de la Planta de Generación: _____ Watt

4.- Indicar la producción diaria promedio estimada de la planta de Generación: _____ Wh

5.- Indicar modelo y marca del dispositivo CD/CA _____

6a.- Indicar las protecciones que se proveen

- | | | |
|--|--------------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Sobre Voltaje | <input type="checkbox"/> Sincronismo | <input type="checkbox"/> Anti-isla |
| <input type="checkbox"/> Sub Voltaje | <input type="checkbox"/> Frecuencia | <input type="checkbox"/> Sobrecorriente |

6b.- En caso de Media Tensión, indicar la marca y modelo de las protecciones incluidas:

7.- Indicar los documentos entregados a CFE

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Convenio completamente llenado | <input type="checkbox"/> Copia del manual del fabricante del generador |
| <input type="checkbox"/> Copia del manual del fabricante del dispositivo CD/CA | <input type="checkbox"/> Croquis de ubicación geográfica |

8.- Observaciones:

Lugar y Fecha: _____

Recibe: _____

Ilustración 11 Formato para la Conexión de sistema FV a la red.¹⁸

¹⁸ (CFE, 2014)

8. Normatividad

Para implementar cualquier sistema solar fotovoltaico es importante considerar que deberá cumplir con las normas mexicanas aportadas por la Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico (ANCE) que evalúan los componentes y dispositivos de los sistemas fotovoltaicos publicadas el 20 de mayo de 2011 en el Diario Oficial de la Federación.

NMX-J-643/1-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 1: Medición de la característica corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos.*

NMX-J-643/2-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 2: Requisitos para dispositivos solares de referencia.*

NMX-J-643/3-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 3: Principios de medición para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (FV) con datos de referencia para radiación.*

NMX-J-643/5-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 5: Determinación de la temperatura equivalente de la celda (ECT) de dispositivos fotovoltaicos /FV) por el método de tensión de circuito abierto.*

NMX-J-643/7-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 7: Cálculo de la corrección del desajuste espectral en las mediciones de dispositivos fotovoltaicos.*

NMX-J-643/9-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 9: Requisitos para la realización del simulador solar.*

NMX-J-643/10-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 10: Métodos de mediciones lineales.*

NMX-J-643/11-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 11: Procedimientos para corregir las mediciones de temperatura e irradiancia de las características corriente-tensión.*

NMX-J-643/12-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 12: Términos, definiciones y simbología.*

NMX-J-618/1-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV). *Parte 1: Requisitos generales para construcción.*

NMX-J-618/2-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV).
Parte 2: Requisitos para pruebas.

NMX-J-618/3-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV).
Parte 3: Requisitos para módulos fotovoltaicos de película delgada. Calificación del diseño.

NMX-J-618/4-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV).
Parte 4: Requisitos para módulos fotovoltaicos de silicio cristalino. Calificación del diseño.

NMX-J-618/5-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV).
Parte 5: Método de prueba de corrosión por niebla salina en módulos fotovoltaicos.

NMX-J-618/1-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (FV).
Parte 6: Método de prueba UV (ultravioleta) para módulos fotovoltaicos.

NMX-J-655/1-ANCE-2011. Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV). *Parte 1: Mediciones de desempeño para irradiancia, temperatura y energía en módulos fotovoltaicos.*

NMX-J-655/2-ANCE-2011. Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV). *Parte 2: Acondicionadores de energía. Procedimiento para la medición de la eficiencia.*

NMX-J-655/3-ANCE-2011. Desempeño y eficiencia en sistemas fotovoltaicos (FV). *Parte 3: Controladores de carga de baterías para sistemas fotovoltaicos. Desempeño y funcionamiento.*

NMX-J-653-ANCE-2011. Celdas secundarias y baterías para sistemas de energía fotovoltaicos. *Requisitos generales y métodos de prueba.*

NMX-J-656/1-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en dispositivos fotovoltaicos. *Parte 1: Seguridad en equipos de conversión de energía para uso en sistemas FV. Requisitos generales.*

NMX-J-656/2-ANCE-2011. Evaluación de la seguridad en dispositivos fotovoltaicos. *Parte 2: Seguridad en dispositivos inversores de energía para uso en sistemas FV. Requisitos particulares.*

NMX-J-657/1-ANCE-2011. Sistemas híbridos y de energía renovable – Guía para la electrificación rural. *Parte 1: Introducción general.*

NMX-J-657/5-ANCE-2011. Sistemas híbridos y de energía renovable – Guía para la electrificación rural. *Parte 5: Protección contra riesgos eléctricos.*

NMX-J-657/7-ANCE-2011. Sistemas híbridos y de energía renovable – Guía para la electrificación rural. *Parte 7: Generadores.*

NMX-J-657/7-1-ANCE-2011. Sistemas híbridos y de energía renovable – Guía para la electrificación rural. *Parte 7-1: Generadores fotovoltaicos.*

NMX-J-643/1-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 1: Medición de la característica corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos.*

NMX-J-643/2-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 2: Requisitos para dispositivos solares de referencia.*

NMX-J-643/3-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 3: Principios de medición para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (FV) con datos de referencia para radiación.*

NMX-J-643/5-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 5: Determinación de la temperatura equivalente de la celda (ECT) de dispositivos fotovoltaicos (FV) por el método de tensión de circuito abierto.*

NMX-J-643/7-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 7: Cálculo de la corrección del desajuste espectral en las mediciones de dispositivos fotovoltaicos.*

NMX-J-643/9-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 9: Requisitos para la realización del simulador solar.*

NMX-J-643/10-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 10: Métodos de mediciones lineales.*

NMX-J-643/11-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 11: Procedimientos para corregir las mediciones de temperatura e irradiancia de las características corriente-tensión.*

NMX-J-643/12-ANCE-2011. Dispositivos fotovoltaicos. *Parte 12: Términos, definiciones y simbología.*

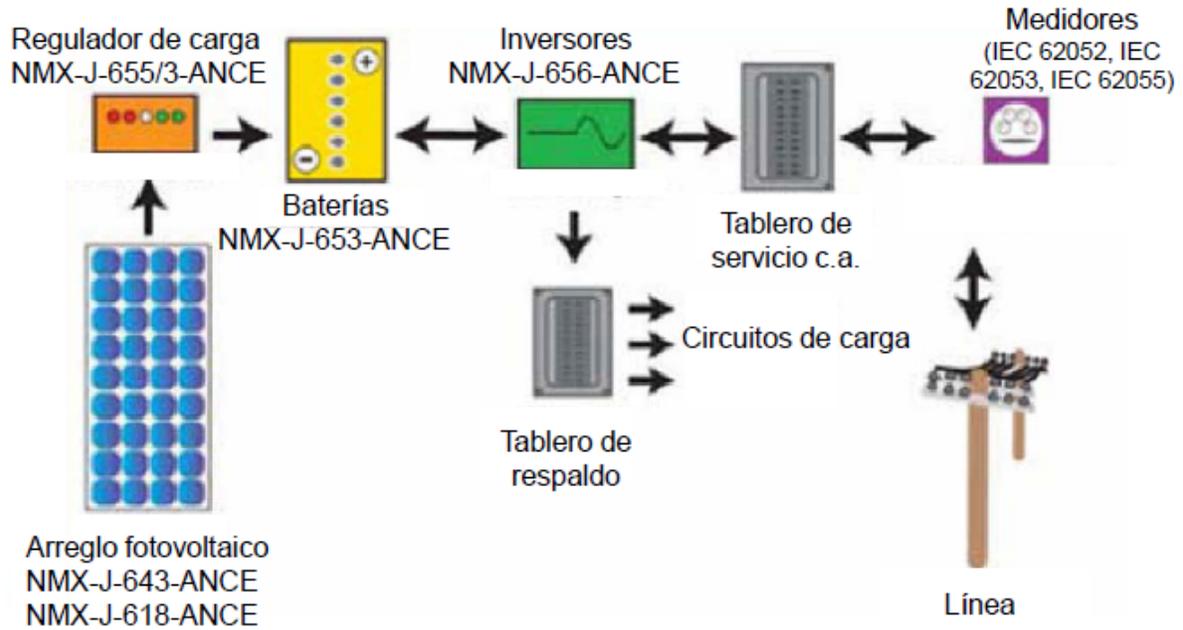


Ilustración 12 Normas aplicables al sistema FV.

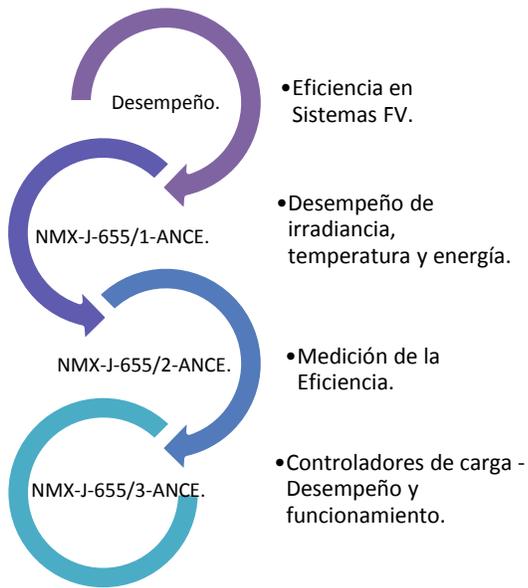


Ilustración 13 NMX-J-655-ANCE Desempeño/Eficiencia



Ilustración 14 NMX-J-656-ANCE Seguridad en dispositivo FV.

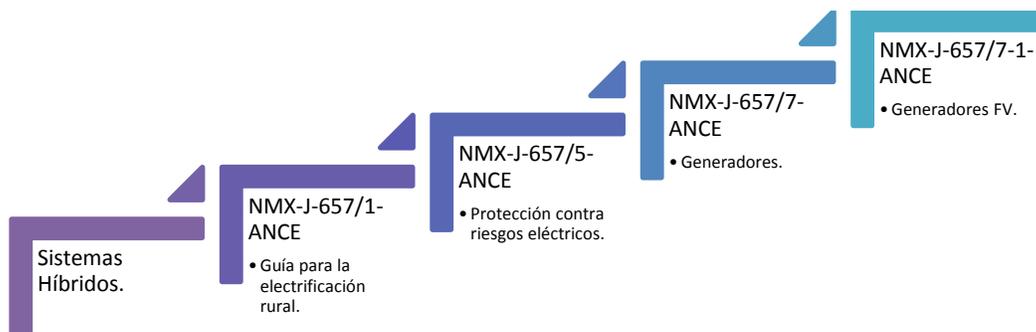


Ilustración 15 NMX-J-657-ANCE Sistemas híbridos y electrificación rural.

9. Conclusiones

México se encuentra geográficamente en un lugar muy privilegiado, dado que recibe grandes cantidades de radiación solar sin que exista la problemática de la disminución de la eficiencia y/o degradación de las celdas solares debido a altas temperaturas.

Considero que existen factores que contribuyen a retardar su difusión: bajos ingresos, falta de crédito, carencia de conocimientos tecnológicos por parte de los consumidores y la principal de todas, la falta de apoyo por parte del gobierno para la implementación de esta tecnología a pequeña escala.

La ausencia de crédito, combinada con el bajo poder adquisitivo de la mayor parte de la población de México, así como la imposición de aranceles aduaneros a los componentes importados, hace que sistemas básicos (uno a dos paneles), resulten prohibitivos. Cuando la parte financiera es resuelta con el otorgamiento de crédito a largo plazo y bajo interés, la instalación de estos sistemas alcanza un alto grado de demanda.

Es importante que las autoridades de México reconozcan que el otorgamiento de estos créditos representa la solución más económica para extender el sistema eléctrico, en particular cuando se tienen poblaciones aisladas unas de otras, con un bajo consumo familiar.

Si bien es cierto que los sistemas FVs no son un remedio cuando se trata de sistemas de uno o dos paneles de bajo consumo domiciliario pero sin duda alguna representan la solución más efectiva en domicilios de alto consumo y en lugares remotos. La instalación de sistemas FVs domiciliarios o comunales, construidos en poblaciones rurales, permiten un enorme incremento del estándar de vida de la población. La generación de energía eléctrica hace posible mejorar las condiciones sanitarias de una comunidad, permitiendo

el bombeo de agua potable y el uso de refrigeradores para preservar alimentos perecederos y medicinas que necesitan de la refrigeración para evitar su descomposición.

Esperaría que en un periodo de tiempo muy corto los paneles solares disminuyan su precio, esto ya que las primeras empresas de fabricación de paneles solares que surgieron están cerrando, debido a que las nuevas empresas producen los paneles a un menor costo permitiéndoles vender paneles a un menor precio.

10. Bibliografía y Mesografía

- América Economía*. (17 de Octubre de 2013). Recuperado el 9 de Marzo de 2014, de Más de 1.000M de seres humanos viven sin electricidad:
<http://www.americaeconomia.com/node/103184>
- ANCE. (s.f.). Recuperado el 12 de Marzo de 2014, de FIRCO:
<http://www.ance.org.mx/FIRCO/Firco.html>
- Arquitectura Bioclimática*. (9 de Marzo de 2014). Recuperado el 9 de Marzo de 2014, de Arquitectura Bioclimática: <http://abioclimatica.blogspot.mx/>
- CFE. (18 de Febrero de 2014). Recuperado el 18 de Febrero de 2014, de Tarifas domésticas :
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=domesticas2003&anio=2014
- CFE. (18 de Febrero de 2014). Recuperado el 18 de Febrero de 2014, de Tarifas anuales DAC:
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACAnual2003&anio=2014
- ESCO-TEL Sistemas Ecológicos para generar energía eléctrica luminarias solares*. (s.f.). Recuperado el 4 de Marzo de 2014, de http://www.esco-tel.com/paneles_solares_monocristalinos_vs_policristalinos.html
- Gasquet, I. H. (2004). *Conversión de la luz solar en energía eléctrica* (Vol. Manual teórico y práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos). Cuernavaca, Morelos, México: Solartronic S.A de C.V.
- ingenieroandreotti.blogspot.mx/*. (10 de Enero de 2013). Recuperado el 10 de Marzo de 2014, de Imagen de celda solar monocristalina vs. celda solar policristalina:
<http://ingenieroandreotti.blogspot.mx/2013/01/plan-solar-san-juan-fabricacion-de.html>
- Pro Sustenta Eco Servicios*. (2013). Recuperado el 8 de Marzo de 2014, de Imagen de tipos de tarifas domésticas en México: <http://www.prosustenta.com/ecomodulo/energia-electrica-en-mexico/tarifas-domesticas-cfe>
- Pro Sustenta eco servicios*. (5 de Marzo de 2014). Obtenido de <http://www.prosustenta.com/ecomodulo/energia-electrica-en-mexico/tarifas-domesticas-cfe>
- Sitiosolar.com portal de energías renovables*. (10 de Marzo de 2014). Obtenido de Sitiosolar.com portal de energías renovables: <http://www.sitiosolar.com/la-energia-solar-fotovoltaica-de-alta-concentracion-hcpv/>