



**ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE TARIFA DOMÉSTICA  
(1) Y TARIFA DAC DE UNA INSTALACIÓN  
FOTOVOLTAICA EN CASAS DE INTERÉS SOCIAL**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTA

**ING. VIRGILIO ALFONSO MURILLO RODRÍGUEZ**

**ASESOR: DR. IVÁN ABEL HERNÁNDEZ ROBLES**

AGUASCALIENTES, AGS., JULIO 2018



20 de septiembre de 2016

Dr. Miguel González Valadez

Director de posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno Virgilio Alfonso Murillo Rodríguez, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "Estudio comparativo entre Tarifa Doméstica (1) y Tarifa DAC de una instalación fotovoltaica en casas de interés social", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión de este con el fin de alcanzar el grado de Maestro en Manufactura Avanzada durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 20 días del mes de septiembre del año 2016.

Dr. Iván Abel Hernández Robles

Académico

M.C. Juan Carlos Gutiérrez Villegas Asesor

Asesor en Planta



Santiago de Querétaro, Qro.  
07 de Junio del 2018

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero  
Directora  
Posgrado CIATEQ  
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del (la) **Ing. Virgilio Alfonso Murillo Rodríguez**, del trabajo titulado:

**"ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE TARIFA DOMÉSTICA (1) Y TARIFA DAC DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN CASAS DE INTERÉS SOCIAL"**

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el (la) estudiante antes mencionado(a), el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el (la) estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

  
M. en C. Fernando Talavera Sanchez  
CURP: TASF680606HDGLNR09

## RESUMEN

En este trabajo se plantea un análisis comparativo entre las tarifas que ofrece la Comisión Federal de Electricidad en el servicio doméstico, en este caso se ha tomado en cuenta la tarifa (1) la cual aplica a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, para cargas que no sean consideradas de alto consumo a lo establecido conectadas individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda, con respecto a una tarifa de alto consumo (Tarifa DAC) que contempla un exceso de consumo en la residencia esto con el fin de analizar la viabilidad de instalar sistemas fotovoltaicos para cada una de las tarifas antes mencionadas.

En la primera parte del trabajo consistió en analizar el consumo de energía eléctrica en el Fraccionamiento Villas de Plateros dentro de la Ciudad de Fresnillo del Estado de Zacatecas, para verificar con respecto a los recibos emitidos por la Comisión Federal de Electricidad en cual tarifa se registraban los consumos y a que tarifa correspondían.

En la segunda parte se realizó un cálculo del diseño de sistemas fotovoltaicos estimado para determinar el retorno de la inversión para cada tarifa con el fin de verificar el costo y retorno de la inversión.

Posteriormente se analizó la comparativa entre los dos escenarios que corresponden a las tarifas (1) y Tarifa de alto consumo (Tarifa DAC).

Finalmente se registra el análisis comparativo para determinar la viabilidad de la instalación fotovoltaica mencionando la mejor opción de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

**PALABRAS CLAVE:** Energía Eléctrica, Consumo, Tarifa (1), Tarifa DAC, Sistema Fotovoltaico.

**REPOSITORIO:** Ingeniería y Tecnología, Tecnología Energética, Fuentes No Convencionales de Energía.

---

## **ABSTRACT**

In this work a comparative analysis is proposed between the tariffs that the Federal Electricity Commission offers in the domestic service, in this case the tariff (1) has been taken into account, which applies to all the services that destine the energy for exclusive use domestic, for loads that are not considered high consumption to the established individually connected to each residence, apartment, apartment in condominium or housing, with respect to a high consumption rate (DAC rate) that contemplates an excess of consumption in the residence this in order to analyze the feasibility of installing photovoltaic systems for each of the aforementioned tariffs.

In the first part of the work consisted in analyzing the consumption of electricity in the Villas de Plateros suburb within the City of Fresnillo in Zacatecas State, to verify with respect to the receipts issued by the Federal Electricity Commission in which tariff was recorded the consumptions and what rate corresponded.

In the second part, a calculation of the estimated photovoltaic system design was made to determine the return on the investment for each tariff in order to verify the cost and return of the investment for each tariff.

Subsequently, the comparison between the two scenarios corresponding to the tariffs (1) and the High consumption tariff (DAC rate) was analyzed.

Finally, the comparative analysis is recorded to determine the viability of the photovoltaic installation, mentioning the best option according to the results obtained in the present work.

**KEYWORDS:** Electric Power, Consumption, Rate (1), DAC Rate, Photovoltaic System.

**REPOSITORY:** Engineering and Technology, Energy Technology, Unconventional Sources of Energy.

---

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar mis pasos en el camino  
del bien para lograr las metas.

¡Gracias Dios por guiarme en mi camino!

A mis padres, mis primeros maestros que

Con su ejemplo de vida incansable me

Han podido dar la educación centrada en

Valores por lo que he seguido sus pasos.

Sobre todo a mi Padre que por sus carencias

No pudo continuar estudiando.

¡Gracias por tanto amor y apoyo en educación

así como sus consejos de vida!

A mi esposa e hijos por su apoyo y cariño

en los momentos difíciles donde parecía

que no llegaríamos a la meta.

Hoy la puedo decir ¡lo logramos!

Gracias por su comprensión, amor y

aliento en todo momento!

A mis maestros, gracias por compartir y

Transmitir no solo conocimientos, sino

Valiosas experiencias que me han

permitido alcanzar mi objetivo primordial:

formación como profesional y humano.

En Especial a mi Director de Tesis

A quien es y fue mi “alma mater” el

“Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)”

Donde la excelencia no es el fin sino

Una forma de vida.

---

## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES .....	2
1.2.1 EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA REGIÓN NOROESTE DE MEXICO .....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	6
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	8
1.4.1 RADIACIÓN SOLAR .....	12
1.5 OBJETIVOS .....	14
1.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	14
1.5.2 OBJETIVO ESPECIFICO .....	14
1.6 ESTUDIOS DE PERTINENCIA .....	15
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 ENERGÍA SOLAR .....	16
2.1.1 INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR .....	16
2.1.2 LA CONSTANTE SOLAR .....	16
2.1.3. RADIACIÓN SOLAR .....	19
2.1.4. LA RADIACIÓN SOLAR ATRAVIEZA LA ATMÓSFERA .....	19
2.2. PARÁMETROS DE LA POSICIÓN SOL-TIERRA .....	20
2.2.1. LAS ESTACIONES .....	20
2.2.2. POSICIONAMIENTO SOLAR. ....	22
2.3. CONVERSIÓN A ENERGÍA ELÉCTRICA .....	23
2.3.1 EL EFECTO FOTOVOLTAICO .....	24
2.3.2 EL PANEL SOLAR. ....	27
2.3.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS .....	28
2.3.4. CONEXIONES DE LOS PANELES SOLARES. ....	34
2.4 PARTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED .....	35
2.4.1 EL GENERADOR FOTOVOLTAICO .....	35
2.4.2 EL INVERSOR .....	37
2.4.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL INVERSOR .....	40
2.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED .....	42

---

2.5.1 TENSIÓN DEL CAMPO DE PANELES. ....	43
2.5.2 POTENCIA DEL CAMPO DE PANELES .....	44
2.5.3 CARACTERISTICAS DE LA RED .....	44
<b>CAPITULO 3 MEMORIA DEL PROYECTO.....</b>	<b>47</b>
3.1 EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN .....	47
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN .....	48
3.2.1 INTRODUCCIÓN. ....	48
3.2.2 TAMAÑO DE LAS VIVIENDAS A NIVEL NACIONAL .....	49
3.2.3 ESTUDIO DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL .....	49
3.2.4 FUNDAMENTOS .....	51
3.2.5 PROCEDIMIENTO .....	53
3.2.6 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	55
3.3 ELECCIÓN DEL NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....	57
3.3.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	59
3.3.2 CÁLCULO DEL ARREGLO DE LOS PANELES FV .....	60
3.3.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE LOS INVERSORES. ....	60
3.3.4 CÁLCULO DE INCLINACIÓN, SOMBRAS Y DISTANCIA ENTRE PANELES. ....	61
3.3.5. ESTRUCTURA SOPORTE Y MONTAJE.....	63
3.3.6 SELECCIÓN DEL CABLEADO .....	64
3.3.7 PROTECCIONES .....	66
3.3.7.1 PROTECCIONES DE CC .....	67
3.3.7.2 PROTECCIONES DE CA .....	71
<b>CAPITULO 4. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
4.1 FACTIBILIDAD DE LA INST. DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN CASAS DE INTERÉS SOCIAL .....	73
4.2 REGULACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	77
4.2.1 ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA .....	77
4.2.3. OBJETIVOS DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO .....	78
<b>COMENTARIOS FINALES.....</b>	<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>85</b>
<b>TRABAJOS FUTUROS.....</b>	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>87</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Fraccionamiento Valle de las Misiones (Mexicali B.C.) .....	3
Figura 2.- Proyecto original Valle de la Palmas (Sánchez, 2010) .....	4
Figura 3.- Capacidad instalada, sistemas aislados y conectada red. Fuente: (Prosolar,2012) .....	9
Figura 4.- Usuarios por sector de Consumo. Fuente: (Energía C. R., 2014) .....	11
Figura 5.- Energía Vendida por sector. Fuente: (Energía C. R., 2014) .....	11
Figura 6.- Energía vendida a sector doméstico (Energía C. R., 2014).....	11
Figura 7.- Consumo Medio Doméstico (Energía C. R., 2014) .....	12
Figura 8.- Mapa mundial de radiación solar (Energía C. R., 2014) .....	13
Figura 9.- Radiación solar en la República Mexicana (Energía C. R., 2014) .....	14
Figura 10.- Radiación sobre una superficie inclinada. Fuente: (SEAS, 2004) .....	18
Figura 11.- Ángulo de Incidencia Solar. Fuente: (SEAS, 2004) .....	18
Figura 12.- Radiación solar en la atmósfera. Fuente: (SEAS, 2004) .....	19
Figura 13.- Radiación Difusa y directa. Fuente: (SEAS, 2004).....	20
Figura 14.- Eje de movimiento y posicionamiento sol-tierra. Fuente: (SEAS, 2004) .....	21
Figura 15.- Plano de la órbita de la tierra. Fuente: (SEAS, 2004) .....	21
Figura 16.- Trayectoria de la Tierra alrededor del sol y cambio de estaciones. Fuente: (SEAS, 2004)..	22
Figura 17.- Posicionamiento Solar. Fuente: (SEAS, 2004) .....	22
Figura 18.- Esfera Celeste. Fuente: (SEAS, 2004) .....	23
Figura 19.- Unión P-N. Fuente: (SEAS, 2004) .....	24
Figura 20.- Frontera Cristal. Fuente: (SEAS, 2004) .....	24
Figura 21.- Semiconductor. Fuente: (SEAS, 2004).....	26
Figura 22.- Unión en Serie de Células Solares. Fuente: (SEAS, 2004) .....	27
Figura 23.- Voltajes y Corrientes en un Panel. Fuente: (SEAS, 2004).....	29
Figura 24.- Curvas característica de un panel Fuente: (SEAS, 2004) .....	29
Figura 25.- Curvas, diferentes tipos de paneles a 25 °C y a 1000w/m <sup>2</sup> Fuente: (SEAS, 2004) ...	30
Figura 26.- Variación en función de la temperatura. Fuente: (SEAS, 2004) .....	30
Figura 27.- Variación de la I y V en función de la radiación. Fuente: (SEAS, 2004) .....	31
Figura 28.- Variación de la potencia en función de la radiación. Fuente: (SEAS, 2004) .....	32
Figura 29.- Variación relativa según la temperatura de la célula. Fuente: (SEAS, 2004).....	32
Figura 30.- Potencia de 33w de potencia con sus medidas en milímetros. Fuente: (SEAS, 2004) .....	33
Figura 31.- Conexión de 4 paneles de 12 V en paralelo. Fuente: (SEAS, 2004) .....	34
Figura 32.- Conexión de dos grupos en paralelo de 12V. Fuente: (SEAS, 2004).....	34
Figura 33.- Conexión de dos grupos en paralelo de 4 paneles de 12V. Fuente: (SEAS, 2004).....	35
Figura 34.- Diagrama de un generador fotovoltaico típico. Fuente: (SEAS, 2004) .....	35
Figura 35.- Diagrama de un sistema interconectado a red típico. Fuente: (Sardinero, 2015).....	36
Figura 36.- Curva de punto de máxima potencia. Fuente: (SEAS, 2004) .....	39
Figura 37.- Datos generales de un inversor. Fuente: (SEAS, 2004) .....	42

Figura 38.- Fraccionamiento Villas de Plateros, Zac. Fuente: (Google Earth).....	47
Figura 39.- Tamaño de las viviendas a nivel Nacional Fuente: (Campos, 2002) .....	49
Figura 40.- Relación precio/costo de taifas residenciales y agrícolas. FUENTE: (ayud, 2007).....	51
Figura 41.- Fraccionamiento Villas de Plateros Fresnillo, Zac. Fuente: (Panorama sociodemográfico de Zacatecas, 2011) .....	52
Figura 42.- Plano de una casa de interés social. Fuente: (Panorama sociodemográfico de Zacatecas, 2011) .....	52
Figura 43.- Promedio de consumo (kWh) periodo por vivienda.....	54
Figura 44.- Promedio de pago de fact,-periodo por vivienda .....	54
Figura 45.- Comparativo promedios consumo-pagos de facturación. Fuente: (Elaboración propia)...	54
Figura 46.- Promedio de consumo kWh .....	55
Figura 47.- Historial de Consumo en Vivienda 10. Fuente: (Elaboración Propia) .....	56
Figura 48.- Ejemplo de Recibo de CFE en casa de Interés social. Fuente: (Elaboración Propia) .....	57
Figura 49.- Módulo Fotovoltaico Monocristalino de 205 wp. Fuente: (Hoja Técnica Conermex).....	59
Figura 50.- Trayectoria Solar .....	61
Figura 51.- Orientación de la estructura fija para maximizar la captación de la radiación solar a lo largo del año.....	62
Figura 52.- Distancia mínima entre aristas de paneles .....	62
Figura 53.- Montaje de paneles solares sobre piso con guía de inclinación .....	64
Figura 54.- Montaje de paneles solares ya con inclinación y separación entre paneles definida sobre techo .....	64
Figura 55.- Protectores contra sobretensiones de Clase I .....	68
Figura 56.- Protecciones de clase II.....	68
Figura 57.- Interruptor-seccionador .....	69
Figura 58.- Caja de conexión porta-Fusible .....	70
Figura 59.- Interruptor Magnetotérmico .....	70
Figura 60.- Caja de conexiones .....	71
Figura 61.- Interruptor general manual .....	72
Figura 62.- Datos técnicos de un inversor de 5000 w Fuente: Catalogo CONERMEX.....	75
Figura 63.- Grafico com. de tarifa doméstica de alto consumo (DAC/Tarifa 01) Fuente: CFE.....	82
Figura 64.- Datos del recibo en Tarifa DAC. Fuente Elaboración Propia .....	83

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Capacidad del sistema fotovoltaico Fuente: Conermex, 2013) .....	04
Tabla 2.- Potencia de Equipos electrodomésticos en casas de interés social. Fuente: (Elaboración propia) .....	52
Tabla 3.- Consumo de energía eléctrica en vivienda por periodo. Fuente: (Elaboración propia).....	53
Tabla 4.- Cargo en consumo de energía eléctrica para tarifa 01 uso Doméstico. Fuente: (Elaboración Propia)... ..	55
Tabla 5.- Frecuencias de Consumos Históricos .....	56
Tabla 6.- Consumo de energía eléctrica en vivienda por periodo. Fuente: (Elaboración propia).....	74
Tabla 7.- Costos de material para instalación Fotovoltaica Fuente: (Elaboración propia) .....	76
Tabla 8.- Tarifa Doméstica Fuente: (CFE).....	81
Tabla 9.- Tarifa de Alto Consumo (DAC) Fuente: (CFE) .....	82
Tabla 10.- Costos de material para instalación Fotovoltaica Fuente: (Elaboración propia) .....	84

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.- Energía del fotón.....	16
Ecuación 2 y 2a.- intensidadde radiación .....	17
Ecuación 3.- Energía que incide por unidad de tiempo y de superficie. ....	17
Ecuación 4.- Intensidad en una superficie inclinada .....	18
Ecuación 5.- Factor de Forma .....	28
Ecuación 6.- Aumento de la temperatura de la célula .....	32
Ecuación 7.- N° de módulos .....	59
Ecuación 8.- N° de filas .....	60
Ecuación 9.- N° de columnas en paralelo .....	60
Ecuación 10.- N° de inversores .....	60
Ecuación 11.- Potencia requerida .....	61
Ecuación 12.- Inclinación .....	61
Ecuación 13.- Selección del cable conductor .....	65
Ecuación 14.- Intensidad nominal de funcionamiento .....	72
Ecuación 15.- Cálculo de la Potencia del inversor... ..	75
Ecuación 16.- Determinación de la energía generada. ....	76

# **CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Con la reforma energética en México, el país podrá aprovechar de mejor manera sus recursos energéticos de tal forma que se pueda incrementar el beneficio social y económico al hacer uso de ellos; actualmente La energía fotovoltaica representa aproximadamente el 25% de la energía del país, la mayor parte (70%) está en las plantas de ciclo combinado, termoeléctricas e hidroeléctricas y el resto en otro tipo como carboeléctrica, eólica, geotérmica, etc. Fuente: C.F.E. 2016. Generar energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos para energizar casas habitación de interés social es el elemento central que desarrolla este proyecto de investigación, aquí se propone un diseño óptimo de una instalación fotovoltaica, el modelo propuesto optimiza el número de paneles a instalar de acuerdo al consumo de energía eléctrica en el hogar, realizando una comparación con respecto al impacto que representa aplicar la nueva tecnología tanto de costos en el ahorro de facturación así como de inversión.

La radiación solar varía en las distintas regiones, por lo que para realizar un diseño en el sistema fotovoltaico se ha de seleccionar la región más apropiada dependiendo del recurso, ya que para poder obtener una mejor eficiencia en los sistemas es importante conocer los niveles de radiación en la localidad.

Estos datos de radiación solar deberán estar disponibles junto con otros parámetros meteorológicos como la temperatura ambiente, humedad y velocidad del viento, las cuales también podrán afectar el comportamiento de algunos tipos de sistemas solares.

La energía solar fotovoltaica genera electricidad en más de 100 países y ha sido la tecnología de generación más dinámica en los últimos años. Entre los años 2001 y 2011, la capacidad fotovoltaica creció a una tasa anual promedio de 44%. Se estima que se instaló una capacidad de 17 GW conectada a red durante 2010, totalizando de esta manera 40 GW (Valle Pereña & Ortega Navarro, 2013).

En México prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. Se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y que generan en promedio 0.032 Tj/año. (Valle Pereña et al.2013).

Para el desarrollo del diseño óptimo propuesto del sistema fotovoltaico se contempló un estudio aleatorio en algunas colonias de la Ciudad de Fresnillo, Estado de Zacatecas, el cual consta de una radiación promedio anual año del 2015 tomada de la estación de Abrego, 21.655 kW/m (inifap, 2015).

Se estima que con la aportación en la instalación de sistemas fotovoltaicos en casas de interés social se pueda reducir hasta un 50% de ahorro en el consumo anual de energía eléctrica lo que significa un ahorro sustancial en la facturación de C.F.E. (conermex, 2013).

## **1.2 ANTECEDENTES**

Existen dos tecnologías para la generación de electricidad a partir de la radiación solar, la fotovoltaica y la concentración solar. Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico. Las celdas fotovoltaicas se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica, o bien en sitios aislados, por medio de sistemas que incluyen baterías. (Valle Pereña, Eckmann, Barzalobre, 2013).

La energía fotovoltaica ha sido un factor de desarrollo para las áreas rurales del mundo donde cerca del 35% de la población y 56% de la población rural viven sin el consumo de la generación de la energía eléctrica convencional por medio de las fuentes de generación de energía eléctrica tradicionales, por lo que en el mundo hay un total de 2 millones de personas y un total de 400 millones de casas. (Sandoval García, 2011).

Por lo que es una gran oportunidad de aplicar las fuentes alternas de generación de energía eléctrica por medio de las fuentes alternas, como el caso de la energía fotovoltaica.

La generación de electricidad en base a las energías renovables como la energía fotovoltaica ha tenido un rápido crecimiento con una capacidad de 16 GW en 2008, las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red representan un estimado de 5.4 GW a nivel Mundial (Buendía, 2007)

### **1.2.1 EL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA REGIÓN NOROESTE DE MEXICO**

Históricamente el consumo de energía primaria en el país ha crecido a mayores tasas que su producción. Frente a ello, la matriz energética de nuestro país se ha concentrado en un solo recurso energético, el cual, muestra un desgaste natural en los últimos años: el petróleo. La transición

energética en México deberá lograr el correcto balance entre mantener un país económicamente competitivo, tecnológicamente innovador y diversificado por lo que se plantean tres temas emergentes a largo plazo en la transición energética a partir del 2013:

- 1) El descubrimiento y gran potencial de aprovechar las reservas de gas natural a bajo costo,
- 2) La cuantificación del gran potencial e importantes beneficios ambientales de las fuentes renovables de energía,
- 3) La revaloración de la opción de energía nuclear dados los grandes avances en seguridad experimental en la última década.

Gracias a nuevas regulaciones que hacen posible las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, ya existen en México algunos proyectos de este tipo y hay interés de diversos actores por desarrollar más proyectos, en particular Baja California. Sin embargo, la viabilidad económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa la cual el sistema compite.

En Mexicali Baja California fueron entregadas las primeras casas en México (12 de octubre 2006), con sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica. Mediante un convenio de colaboración celebrado entre el Gobierno del Estado y CFE, el fraccionamiento Valle de las Misiones cuenta con 220 casas económicas con estos sistemas que les permite a sus habitantes ahorrar energía eléctrica con aparatos eficientes y lámparas de bajo consumo (Figura 1). Con esto, se estima que una vivienda de este tipo puede producir hasta un 50% anual de su consumo de energía eléctrica, resultando en un ahorro sustancial en la facturación proveniente de C.F.E. (conermex, 2013).



*Figura 1.- Fraccionamiento Valle de las Misiones (Mexicali B.C.)*

La energía requerida en las viviendas para la operación de los aparatos electrodomésticos se menciona en la Tabla 1.

CAPACIDAD DEL SISTEMA	1 KW
COSTO DEL SISTEMA	\$81,370
VIDA ÚTIL	30 AÑOS
PRODUCCIÓN PROMEDIO ANUAL	2040 Kwh
PRODUCCIÓN PROMEDIO MENSUAL	170 KWH
AHORRO PROMEDIO MENSUAL	\$120.00
PROYECTO PRIMERA ETAPA	220 CASAS

*Tabla 1.- Capacidad del sistema Fotovoltaico (conermex, 2013).*

Existen otros proyectos emprendidos en la región noroeste de la República Mexicana, específicamente en las ciudades de Baja California donde se hicieron consideraciones sustentables, como en el municipio de Tijuana con el proyecto de ciudad satélite “Valle de las Palmas” que se encuentra en proceso en sus obras de infraestructura.



*Figura 2.- Proyecto original Valle de la Palmas (Sánchez, 2010)*

En la Figura 2 se muestra la localización del valle de las palmas en el municipio de Tijuana, BC, mostrando la región norte del Estado de Baja California. La población de la ciudad de Tijuana, Baja California, se duplicará en los próximos 20 años, generando una demanda de 21,772 hectáreas de suelo urbano y vivienda. Actualmente el 54% de la mancha urbana corresponde asentamientos de origen irregular con rezagos históricos en servicios públicos y equipamiento urbano básico que generan un alto costo en su introducción y dotación.

La vivienda en Tijuana representa el 68% de la demanda de vivienda a nivel estatal, de la que el 70% corresponde a vivienda de interés social de menos de 4 salarios mínimos.

Para enfrentar esta demanda, se ha conceptualizado “Valle de las Palmas”, un modelo de comunidad sustentable, que trata de consolidar a Tijuana como una ciudad competitiva a nivel global.

Siendo el resultado del esfuerzo conjunto entre el sector Público y Privado, este proyecto cuenta con una reserva territorial adquirida, planeación, estudios, proyectos e inversión programada que inició en el año 2007.

Valle de las Palmas es un proyecto planificado que trata de promover el desarrollo de la ciudad sustentable en México a través de la conformación de una comunidad segura e integral que permita atender las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de que las futuras generaciones cubran sus propias necesidades. El modelo de desarrollo sustentable en el que se fundamenta la planeación de Valle de las Palmas, busca el equilibrio de los elementos urbanos, ambientales, sociales y económicos; siendo que el propósito de la sociedad tiene que ser el desarrollo integral de las personas, pero no a costa del desarrollo de las generaciones futuras.

La comisión nacional de vivienda (CONAVI) en coordinación con entidades del Gobierno Federal, tiene como objetivo avanzar en la instrumentación de este desarrollo, congruentes con una política de desarrollo de vivienda, con la atención de las familias de menores ingresos, el impulso de una planeación urbana que permita atraer la inversión pública y privada, la promoción de la innovación técnica – financiera, el fomento a la calidad de la vivienda y el entorno.

El proyecto Valle de las Palmas, que inició desde el año 2003, con la participación del Gobierno del Estado de Baja California, Gobierno Municipal de Tijuana y un equipo multidisciplinario de planeación y desarrollo coordinado por URBI, buscando el desarrollo sustentable de la ciudad, en búsqueda del equilibrio entre el desarrollo social, el desarrollo económico y ambiental, para cubrir las necesidades más apremiantes de la población de Tijuana que en los próximos veinte años será la ciudad que registre el mayor crecimiento poblacional y la mayor demanda de espacios habitacionales (Moreno, 2010).

De acuerdo a este convenio de 2003 en el que se hizo una Planeación del Desarrollo Urbano, con un sistema de Evaluación Territorial con 8 estudios preliminares para potenciales polos de desarrollo:

- Estudio de Impacto Ambiental
- Estudio Bioclimático

- Integración y Estructura Vial
- Geotécnico
- Hidrológico
- Agua y saneamiento
- Energía eléctrica
- Movilidad Urbana

Se tiene este proyecto en el Estado de Baja California, para más de 250 000 casas en un desarrollo con sustentabilidad económica, social y ambiental, en la periferia de la ciudad de Tijuana.

### **1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Enfrentar los retos ambientales del uso y generación de la energía es un elemento central para desarrollar el tema de investigación en la aplicación específica de los sistemas fotovoltaicos en el país, no solo por la importancia de evitar y reducir los impactos así como los riesgos ambientales a la población y los ecosistemas, sino también para impulsar el crecimiento de la economía, mejorar el bienestar. Reducir la huella ambiental de la energía puede contribuir significativamente a eliminar las pérdidas económicas relacionadas con el medio ambiente. Establecer medidas para acelerar la transición energética hacia fuentes no fósiles, particularmente renovables, aumenta la seguridad energética, permite aprovechar otros recursos naturales abundantes en el país, ante un escenario de regulación climática internacional y contribuye a la generación de empleo. De no enfrentar los problemas ambientales asociados a la energía se impactará de forma negativa tanto el bienestar, como la capacidad de desarrollo, mientras que la aplicación de estas nuevas tecnologías generará fuentes de empleo y hará una contribución importante en las familias de escasos recursos en la economía familiar.

Los actuales niveles de consumo de energía en México asociados, fundamentalmente a los requerimientos energéticos de la economía mexicana por unidad de consumo son ciertamente elevados, de tal modo que genere una recuperación sostenida al ritmo de crecimiento económico debido a una creciente demanda de energía con consecuencias negativas para el ambiente. Desde el punto de vista ambiental destacan dos efectos dañinos en los niveles actuales de consumo eléctrico como son:

- La oferta actual de energía en México se basa, en su mayoría, en el uso de recursos no renovables, como el petróleo y las condiciones de consumo son inconsistentes.

- Las emisiones a la atmosfera asociadas al consumo de energía tienen consecuencias negativas, tales como contaminación atmosférica que inciden sobre la salud de la población y la sustentabilidad de diversos ecosistemas.

En base a lo anterior es fundamental considerar las posibilidades reales en la discusión acerca del “alto precio de la energía en México”. En particular, es posible analizar e identificar escenarios alternativos para la generación de energía eléctrica con fuentes alternas como es la energía fotovoltaica, la cual puede ser interconectada al sistema eléctrico doméstico, con dicho sistema impacta en la problemática del alto costo en el consumo de energía eléctrica con respecto al sistema tarifario de la Comisión Federal de Electricidad. (Caballero Guendolain & Galindo Paliza, 2006).

En México se aplica, en forma plena y amplia, una variedad de instrumentos de política pública dirigidos al propósito de ahorrar energía y usarla más eficientemente: la NOM de eficiencia energética, la información a los usuarios, la asistencia técnica, la obligación para las instituciones públicas de tener niveles aceptables de intensidad energética, la promoción de buenas prácticas, el financiamiento con bajas tasas de interés o algún descuento en la compra de equipos eficientes.

México ha fijado metas ambiciosas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hacia 2020 y 2050. Después del sector transporte, el uso final de la energía en el sector industrial y de servicios es uno de los que presenta las mayores áreas de oportunidad para reducir dichas emisiones [Pereña, 2012]. Prácticas como el ahorro y uso eficiente de la energía pueden contribuir enormemente para alcanzar esas metas, especialmente en el caso de usuarios con altos consumos de energía.

De las mediciones realizadas a usuarios domésticos se encontró que el 35.5% del consumo de energía eléctrica corresponde al refrigerador, 3.8% a la bomba del agua, 1.1% a la cafetera, entre sus principales cargas; y del 56.7% del consumo de energía residual se considera que el consumo promedio de iluminación en el sector doméstico de la República Mexicana es de un 43%; por lo que, con esta información, llegamos a identificar el 86.3% del consumo de energía eléctrica de esta muestra de usuarios.(Fuente: Elaboración Propia).

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Las tecnologías que se han desarrollado para la conversión de la energía solar en energía utilizable por el hombre, dependen sustancialmente de la disponibilidad de la radiación solar que varía de manera importante en los diferentes climas y regiones.

Para seleccionar y diseñar la tecnología más apropiada para una región en particular se tiene como necesidad básica el caracterizar los diversos aspectos de la radiación solar en esa región.

Datos confiables de radiación directa normal y de radiación global son necesarios para el dimensionamiento de una gran cantidad de sistemas de energía solar así como para el estudio comparativo de sitios de ubicación de los sistemas. Estos datos de radiación solar deberán estar disponibles junto con otros parámetros meteorológicos como la temperatura ambiente, humedad y velocidad del viento, los cuales también podrán afectar el comportamiento de algunos tipos de sistemas solares.

A pesar de que en México se ha despertado un gran interés por el aprovechamiento de la energía solar y que ha permitido desarrollar algunos proyectos de gran importancia a nivel mundial por muy diversas razones, no se ha logrado consolidar los diversos esfuerzos que se han llevado a cabo en diseños de los sistemas de conversión, por esta razón como consecuencia los diferentes usuarios generan sus propios datos de radiación solar para satisfacer sus necesidades aunque por desgracia los resultados no siempre son de la calidad que se desearía.

De acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), hasta el año 2006, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos, instalados en México, se encontraban en aplicaciones aisladas a la red (proyectos de electrificación rural, comunicaciones, bombeo de agua y refrigeración). Sin embargo, a partir del año 2007 se cuenta con registros de aplicaciones conectadas a la red eléctrica. Esta tendencia se ha mantenido en los años posteriores de tal manera que en el año 2011, de los 3.5 MWp instalados en ese año, alrededor del 94% fueron sistemas conectados a la red eléctrica. Como se observa en la Figura 3, la capacidad instalada (sistemas aislados y conectados a la red) ha mostrado un comportamiento fluctuante en el periodo 2002-2012. En términos acumulados, la capacidad aumentó de 16.5 MWp a 32 MWp. Respecto a la generación anual de electricidad, esta aumentó de 23.235 MWh en el año 2005 a 44.974 MWh en el año 2010. (Valle & Eckermann, 2012).

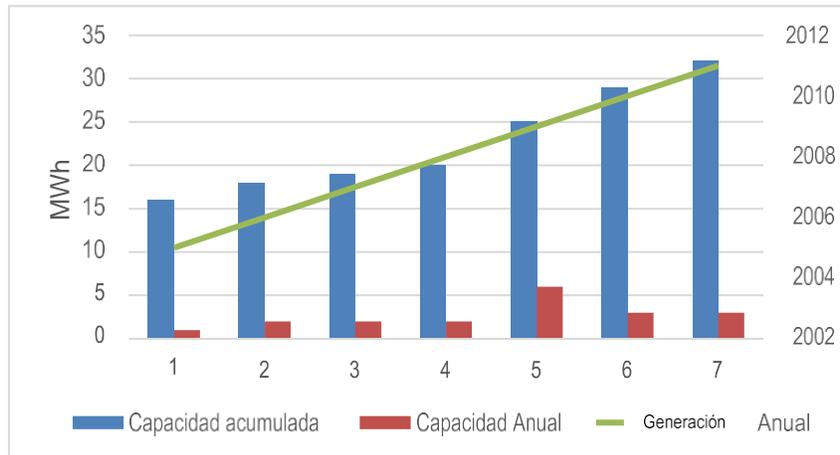


Figura 3.- Capacidad instalada, sistemas aislados y conectada red. Fuente: Prosolar (2012)

La problemática que se pretende contribuir a una producción de energía eléctrica de manera más limpia y con sistemas de energía renovables. Con el fin de que el ciudadano en su vivienda, las empresas u otras entidades que lo desean podrían disponer de la instalación conectada a la red del sistema eléctrico. No hay que olvidar la buena imagen que conlleva este tipo de iniciativas en una sociedad cada vez más sensibilizada con su medioambiente.

Durante los últimos años en el campo de la actividad fotovoltaica los sistemas de conexión a red eléctrica, constituyen la aplicación que mayor expansión ha experimentado.

La extensión a gran escala de este tipo de aplicaciones ha requerido el desarrollo de una ingeniería específica que permite, por un lado optimizar su diseño y funcionamiento y por otro evaluar su impacto en el conjunto del sistema eléctrico, siempre cuidando la integración de los sistemas y respetando el entorno arquitectónico y ambiental.

Hay que destacar la fiabilidad y larga duración de los sistemas fotovoltaicos el cual no requieren más que el mínimo mantenimiento y presenta una gran simplicidad adaptarse a las necesidades de cada usuario sea la función de sus necesidades y recursos económicos. Los sistemas fotovoltaicos surgen como una opción para el aprovechamiento de los recursos renovables debido a las grandes ventajas que estos tienen sobre otras fuentes de energía. Los avances en la electrónica de potencia y la aplicación de materiales más eficientes para la construcción de paneles solares, hacen de este tipo

de energía una de las más importantes en el futuro. [Escobar Mejia, Andres Torres, & Hincapie Isaza, 2012].

La distribución de energía eléctrica en México se divide principalmente en los sectores: industrial, comercial, doméstico y de servicios. Dentro de los rubros de distribución de la energía eléctrica el sector que más consumo de energía eléctrica genera es el industrial con un 59% del total, esto con el 0.6% de los usuarios. El sector comercial consume el 7.91% con el 10.59% de los usuarios. El residencial consume el 24.91% con el 87.90% de los usuarios, y por último, el sector público consume el 8.10% con menos del 0.92% de los usuarios. (Zamora, 2008).

Los programas de ahorro de energía del sector energético en México se encuentran enfocados principalmente al sector doméstico, debido a que tienen el mayor número de usuarios con 88.50% y tiene un consumo del 26.6% casi la cuarta parte del consumo nacional. Por esto, es de vital importancia para el sector energético en México atender los problemas sociales y económicos del sector doméstico.

Como se sabe, el nivel socioeconómico de los usuarios se ve reflejado en el consumo de energía eléctrica, y a su vez, el tipo de equipamiento depende de la región donde se encuentran estos usuarios. Al incrementarse el ingreso per cápita de los usuarios, se incrementa la compra de productos electrodomésticos cuya operación incrementa directamente el consumo y demanda de energía eléctrica, tanto de los usuarios como del Sistema Eléctrico Nacional.

En México la tasa de crecimiento de usuarios en el sector doméstico desde 1988 a 2013 varió de un mínimo de 2.73% a un máximo de 5.46%, y el promedio fue de 4.07%; la tasa de crecimiento de consumo de energía eléctrica varió de un mínimo de 0.07% a un máximo de 11.81%, y el promedio fue de 5.735% respectivamente (Figuras 4 y 5).

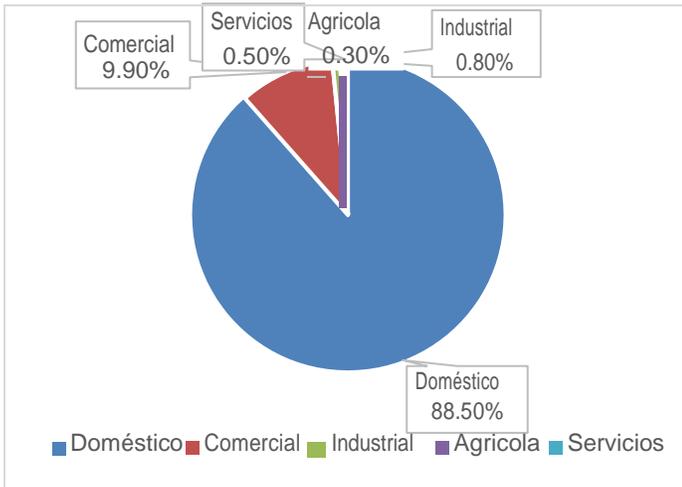


Figura 4.- Usuarios por sector de Consumo. Fuente: [Energía C. R., 2014]

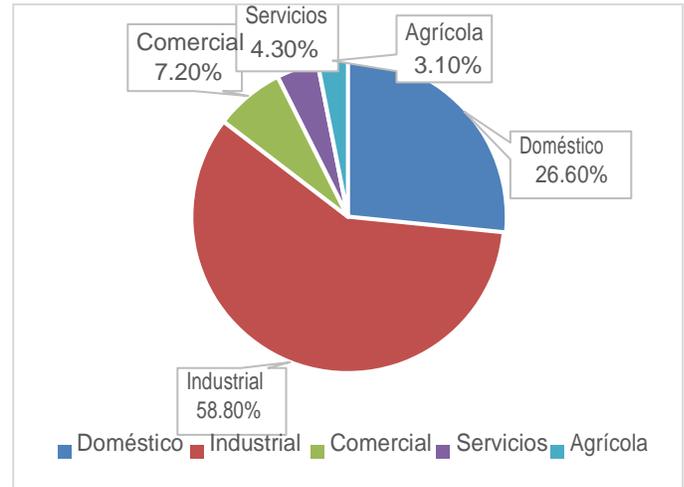


Figura 5.- Energía Vendida por sector. Fuente: [Energía C. R., 2014]

Para el mes de Noviembre del 2013, la energía vendida a través de tarifas domésticas se redujo en 10.7% aun cuando se incrementó el número de usuarios inscritos en el esquema de tarifas domésticas estacionales. Sin embargo, se observa una caída en el consumo medio de cada una de las tarifas estacionales (Figuras 6 y 7), lo que podría asociarse con el descenso de la temperatura en el país entrada del invierno, lo cual justifica la existencia de dichas tarifas. (Energía, 2014).

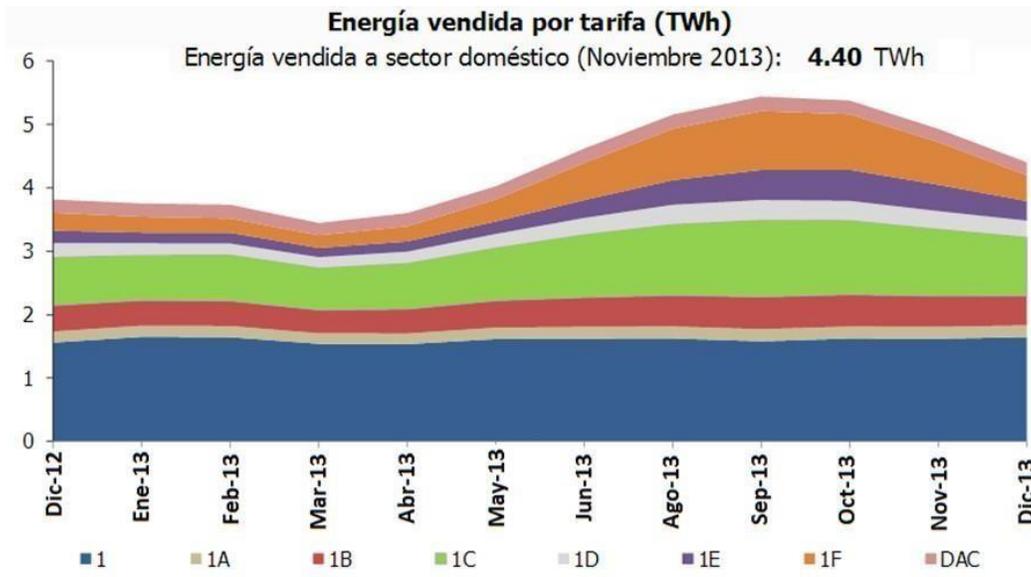


Figura 6.- Energía vendida a sector doméstico [Energía C. R., 2014]

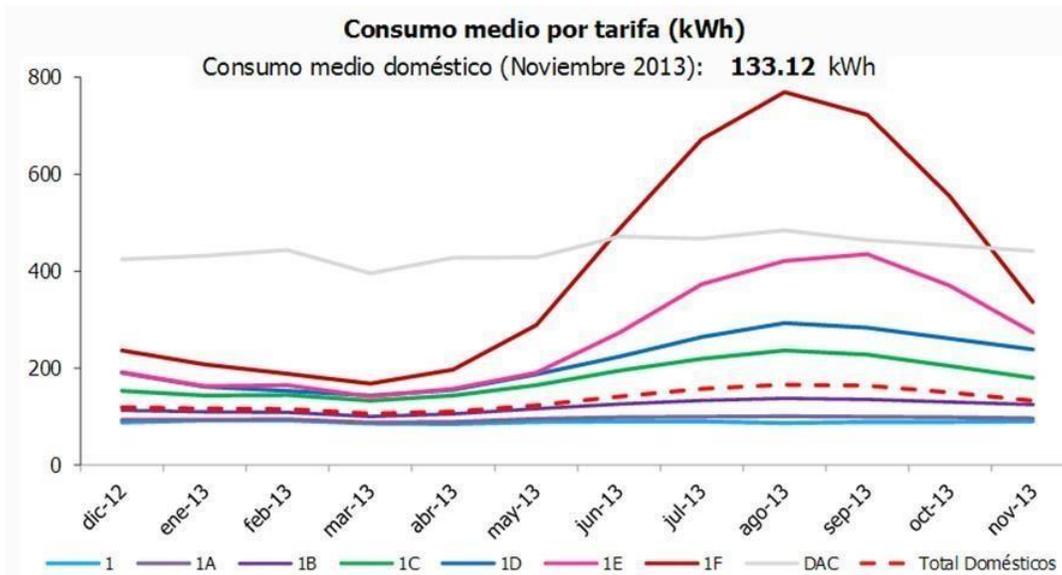


Figura 7.- Consumo Medio Doméstico (Energía C. R., 2014)

El realizar un diseño de instalación de un sistema fotovoltaico conectado a red en casas de interés social busca reducir tanto los costos de generación de electricidad en sistemas convencionales como la reducción de gastos en el consumo de energía eléctrica en equipos de consumos de primera necesidad en cada uno de los hogares, así como la contribución en la conservación del medio ambiente aprovechando los recursos naturales.

### 1.4.1 RADIACIÓN SOLAR

El mapeo de la radiación solar media en el mundo, nos da una idea de qué zonas son las que reciben mayor radiación. Éstas se encuentran principalmente en la zona del ecuador, difuminándose hacia los polos, aunque entran en juego distintos factores como la nubosidad o las características geológicas del suelo, refractando esta mayor o menor radiación, contribuyendo al efecto invernadero y al aumento de la temperatura. (Ver Figura 8)

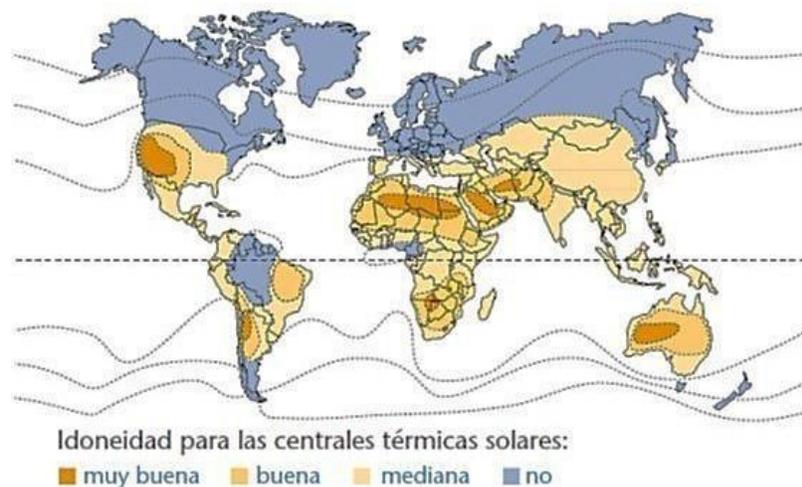


Figura 8.- Mapa mundial de radiación solar (Energía C. R., 2014)

El mapa de la Figura 8 se puede ver que, en la región noroeste de México, Estados Unidos y algunos países de Sudamérica son los que cuentan con mayor potencial solar en todo el continente. Ninguna ciudad europea supera a México en potencial solar. La capacidad instalada para producir electricidad a partir de energía solar de los alemanes es por ejemplo, miles de veces más que la que tiene México (10,234 MW vs 16 MW). Irónico siendo un país con un territorio 72% más pequeño que el nuestro, su capacidad de producción eléctrica a partir del sol equivale a una sexta parte de toda nuestra capacidad de generación de energía eléctrica instalada (Iamaison, 2004) México es un país con una alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio; la zona norte es de las más soleadas del mundo. La mitad del territorio nacional presenta una insolación promedio de 5.3 KWh/m<sup>2</sup> al día, suficiente para satisfacer la necesidad de un hogar mexicano promedio.

La insolación Normal Directa es un 50% más alta que otras regiones de México como por ejemplo en el estado de Sonora donde se alcanza 7 a 8 kWh/m<sup>2</sup> por día (dependiendo de la época del año) en promedio anual, igual en los Estados de Baja California, Chihuahua, Norte de Durango, Coahuila, Norte de Zacatecas, el oeste de San Luis Potosí, el sureste de Oaxaca, el este de Jalisco, el norte de Guanajuato y el sur de Puebla. (Ver Figura 9)

Regiones con insolación Normal Directa entre 6 y 7 kWh/m<sup>2</sup> por día (valor muy bueno): Sinaloa, Nayarit, Durango, sur de Zacatecas, Aguascalientes, Guerrero, una parte de Michoacán, una parte de Jalisco, Colima, Querétaro, el este de Hidalgo (IIE, 2012).

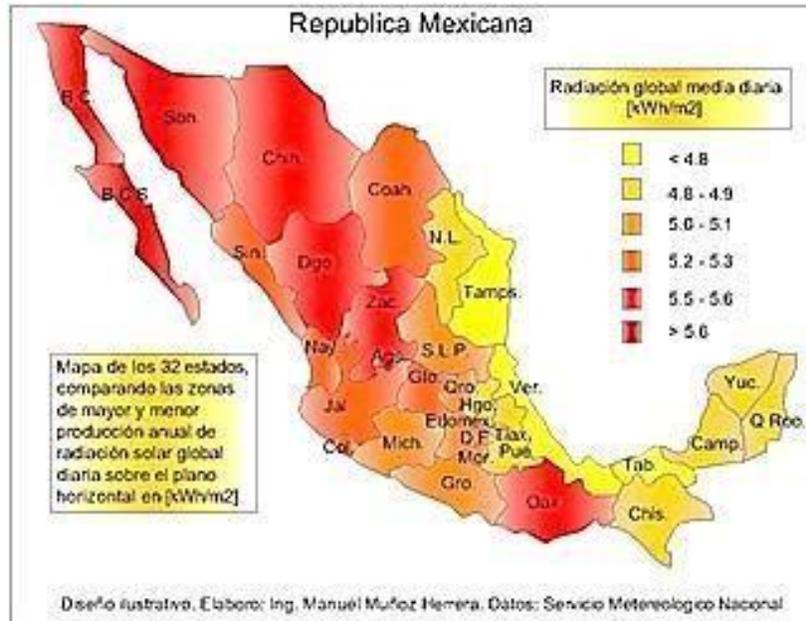


Figura 9. - Radiación solar en la República Mexicana [Energía C. R., 2014]

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio para el diseño de un sistema fotovoltaico de conexión a red óptimo para el consumo de energía eléctrica en casas de interés social, analizando el retorno de la inversión.

### 1.5.2 OBJETIVO ESPECIFICO

- I. Analizar los sistemas de consumo eléctrico en equipos electrodomésticos en el hogar.
- II. Identificar y describir el sistema de conexión de sistemas electrodomésticos tanto de potencia eléctrica como del consumo de energía.
- III. Verificar los sistemas tarifarios (DAC) en el consumo de energía eléctrica de baja carga a sistemas de voltaje y potencia bajos.
- IV. Diseñar los elementos necesarios para la generación de energía eléctrica por medio de fuentes alternas (sistema fotovoltaico) interconectadas a red.
- V. Considerar el costo en el diseño del sistema interconectado a red por medio de la generación fotovoltaica y el retorno de la inversión.

## 1.6 ESTUDIOS DE PERTINENCIA

El presente trabajo plantea los siguientes estudios de análisis:

**E1:** Estudios de comparación del ahorro económico en el consumo energético utilizando un sistema fotovoltaico conectado a la red en una tarifa Doméstica (1) y Tarifa de Alto Consumo (DAC).

**E2:** Impacto en el ahorro de facturación de energía eléctrica utilizando una instalación Fotovoltaica interconectada a red en casas de interés social que tiene tarifa doméstica de alto consumo (DAC) y tarifa Doméstica (1).

**E3:** Determinación del tiempo de recuperación de la inversión en una instalación Fotovoltaica interconectada a red en casas de interés social en tarifa Doméstica (1) Doméstica DAC.

# CAPÍTULO 2 MARCOTEÓRICO

## 2.1 ENERGÍA SOLAR

### 2.1.1 INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar se produce por las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en el interior del sol a gran profundidad. Los átomos de hidrógeno se combinan entre sí para formar átomos de helio liberando energía. Esta energía va desde el interior hasta la superficie solar o fotosfera, y desde allí se irradia en todas direcciones. La energía que irradia llega a la tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones. La energía (E) de un fotón se expresa mediante la siguiente ecuación 1 [Gudiño, 2005]:

$$E = h * \nu \dots \dots \dots (1)$$

*Ecuación 1.- Energía del Fotón*

Donde:

h Constante de Plank de valor  $6,626 \times 10^{-34}$ , [joule-segundo]

$\nu$  Frecuencia del fotón [ Hertz ].

Los fotones se desplazan a una velocidad de 300,000 km/seg, por lo que tardan ocho minutos en llegar a la tierra, que está a 150 millones de kilómetros del sol.

El sol irradia en todas las direcciones y en un segundo emite una energía de  $4 \times 10^{26}$  joules, por lo que genera una potencia de  $4 \times 10^{23}$  kW. Para hacernos una idea de la cantidad de energía irradiada, diremos que todas las plantas industriales del mundo generan una cantidad de energía mucho menor hasta 200 billones de veces menos que la energía solar.

La energía irradiada por el sol en un segundo es mucho mayor que la consumida por toda la humanidad, desde la creación de la tierra hasta nuestros días [Gudiño, 2005].

### 2.1.2 LA CONSTANTE SOLAR

La energía solar está repartida en una superficie en forma de esfera, ya que el Sol irradia energía en todas direcciones. La intensidad de radiación será mayor cuanto más cerca del Sol se esté, el repartirse la energía solar sobre una superficie dada vez mayor. Por lo tanto, diremos que la radiación

se debilita al alejarnos del Sol. El valor aproximado de la intensidad a la distancia del Sol a la que se encuentra nuestro planeta lo vamos a calcular ahora, mediante la siguiente formula [SEAS, 2004]:

$$I = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (2)$$

*Ecuación 2.- Intensidad de radiación*

Podemos encontrar la Intensidad de radiación que es emitida por el sol de acuerdo a la potencia solar, (Ecuación 2) así como la relación que hay con respecto al radio estimado del sol, dicho cálculo podemos encontrar la llamada constante solar. -En este caso P= 4x10<sup>26</sup> Watts (potencia emitida por el sol) y S (superficie de la esfera solar) vale 4 πR<sup>2</sup>, siendo R= 1.5x10<sup>11</sup> metros (distancia media de la tierra al Sol).

Por lo tanto, el valor de (2) se obtiene como:

$$I = \frac{4 \times 10^{26}}{4\pi(1.5 \times 10^{11})^2} = 1,4 \times 10^3 \text{ w/m}^2 \dots \dots \dots (2a)$$

*Ecuación 2a.- Sustitución ecuación 2*

Este valor es similar al medido por los satélites en el espacio, justo sobre la atmósfera. Este valor, o valor medio, se denomina constante solar y es de 1353 W/m<sup>2</sup>.

Dicha constante tiene alguna variación, debido a que la distancia entre el sol y la tierra varía según en qué punto de la órbita se encuentre el planeta, por lo que en diciembre y enero la distancia es mayor y su valor disminuye, mientras que en junio y julio sucede lo contrario. Sería lógico pensar a la inversa si fuésemos habitantes del hemisferio Sur.

Se define la irradiación solar (G) como la cantidad de energía radiante que llega a una superficie determinada en un tiempo determinado (Ecuación 3). Por lo tanto, diremos que es la energía que incide sobre una superficie. Se podrá expresar como cualquier tipo de energía, aunque este estudio utilizara el de julio. Donde G es la intensidad radiante I que incide por unidad de tiempo y de superficie (SEAS, 2004):

$$G = I * S * t \dots \dots \dots (3)$$

*Ecuación 3.-Energía que incide por unidad de tiempo y de superficie.*

Donde:

G Energía. [Joule].

I Intensidad Radiante. [ W/m<sup>2</sup>]

S Superficie. [m<sup>2</sup>]

T Tiempo. [Segundos].

La cantidad de energía debida a la radiación directa que puede captar una superficie que está expuesta a los rayos solares depende del ángulo ( $\alpha$ ) existente entre la superficie y los rayos del sol. Cuando dicho ángulo sea noventa grados, su valor será máximo y se irá decreciendo al disminuir éste. Figura 10.

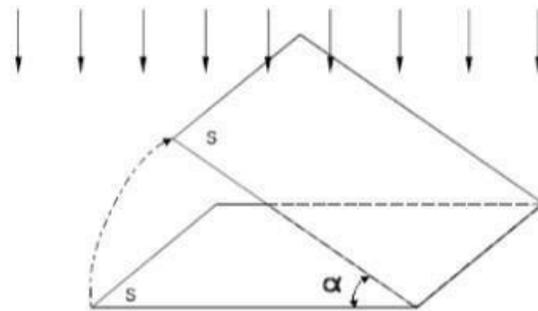


Figura 10.- Radiación sobre una superficie inclinada. Fuente: (SEAS, 2004)

También va a variar la intensidad sobre una superficie, al variar la energía solar; por lo tanto, si llamamos I' a la intensidad en una superficie inclinada:

$$I' = I \cos \alpha \dots \dots \dots (4)$$

Ecuación 4.- Intensidad en una superficie inclinada.

Esto produce que los rayos solares calienten mucho más al mediodía que en las primeras o últimas horas del día, ya que, en estos últimos casos, el rayo solar roza la superficie terrestre y el ángulo de incidencia es muy grande, Figura 11.

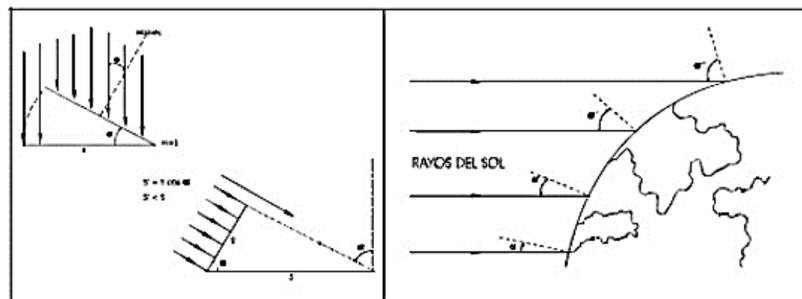


Figura 11.- Ángulo de Incidencia Solar. Fuente: (SEAS, 2004)

El hecho de que las regiones alejadas del Ecuador reciban menos calor que las que están cercanas al mismo se debe a la inclinación de los rayos solares, tal y como muestra la Figura 11.

### 2.1.3. RADIACIÓN SOLAR.

Se ha podido deducir que la temperatura en la superficie del Sol es de 5,900 °C, siendo mucho mayor en su interior (alcanza los 20 millones de grados Kelvin en sus regiones centrales), lo cual significa que la emisión de radiación de un cuerpo negro ideal será similar del Sol.

Sabemos que dicha emisión se describe con un espectro de intensidad radiante, el cual dice en qué proporción han de situarse las distintas longitudes de onda de las que se compone la radiación.

Un gran número de los fotones que el sol emite tienen una longitud de onda comprendida entre 0.3  $\mu\text{m}$  y 3  $\mu\text{m}$ , aunque sólo las que están entre 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$  pueden ser captadas por el ojo humano, siendo esto lo que se denomina como luz visible. La luz no visible o lo que no está entre 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$  también es energía. (SEAS, 2004)

### 2.1.4. LA RADIACIÓN SOLAR ATRAVIEZA LA ATMÓSFERA.

La atmósfera es un obstáculo a la radiación solar. En la parte superior de las nubes hay una importante reflexión de la energía solar, y un poco más abajo hay que tener en cuenta la absorción de otra, la energía por las moléculas que forman el aire de la atmósfera. Este último efecto hace que aunque en días despejados, en los que posiblemente llegue mucha energía, rara vez se consigan tomar valores de 1,000  $\text{w}/\text{m}^2$  (SEAS, 2004).

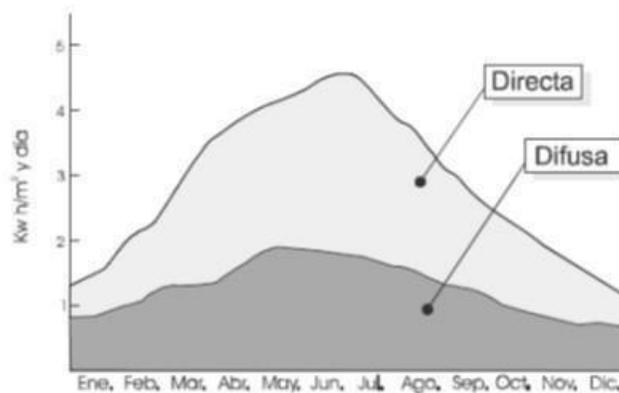


Figura 12.- Radiación solar en la atmósfera. Fuente: (SEAS, 2004)

También se debe considerar que la trayectoria de la energía solar no es recta, ya que, al llegar a la atmósfera, rebota y se producen cambios importantes en su dirección (Figura 12). A pesar de que esta energía llega también a la superficie, no lo hace como si llegase del sol, sino que lo hace como si nos viniese a la bóveda celeste. A esta radiación se le conoce como radiación **difusa**, y a la que llega directamente del sol, se le llama **directa**, la cual llega en línea recta (Figura 13). Si sumamos todas las radiaciones, tenemos la radiación total, que es la que nos interesa. Otro dato que hay que mencionar es que la radiación difusa es la que hace que un cuerpo reciba siempre energía por todas partes, hasta por las que no alcanza la energía directa. En días nublados, la única forma de energía es la difusa, la cual se filtra por la bóveda celeste y la capa de nubes. Esta radiación es una tercera parte de toda la radiación recibida en todo el año. En días claros, la energía directa es mucho mayor.

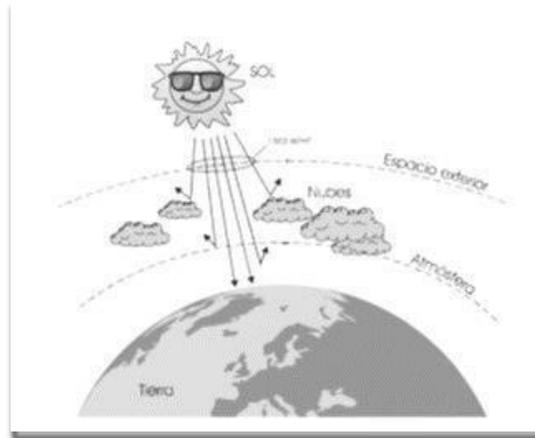


Figura 13.- Radiación Difusa y directa. Fuente: (SEAS, 2004)

## 2.2. PARÁMETROS DE LA POSICIÓN SOL-TIERRA

Sabemos que el sol sale por el este, se va por el oeste y se eleva, dependiendo de la estación en la que nos encontramos. Hace mucho tiempo se pensaba que el Sol se movía, pero en la actualidad se sabe que ese movimiento aparente es debido al movimiento de la tierra, girando cada 24 horas. Pero para estudiar este fenómeno, se asume que el elemento que se mantiene inmóvil es la tierra, y es el Sol el que gira a su alrededor.

### 2.2.1. LAS ESTACIONES

La Tierra se mueve en una órbita en forma de elipse alrededor del Sol. El eje de rotación de la tierra forma un ángulo de  $23.3^\circ$  con la normal al plano de la elipse, y es responsable de la duración del día y la noche en las distintas estaciones del año (Figura 14).

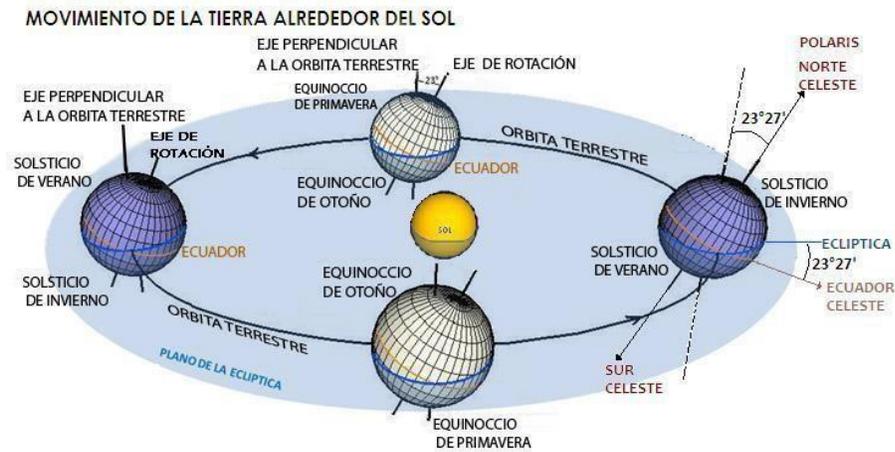


Figura 14.- Eje de movimiento y posicionamiento sol-tierra. Fuente: (SEAS, 2004)

La Figura 15 nos muestra las posiciones de la Tierra en sus puntos externos (solsticio de verano e invierno). Tenemos mucho más tiempo de Sol en junio que en diciembre, ya que ilumina el hemisferio norte mucho mejor. En el hemisferio sur, sería al revés.

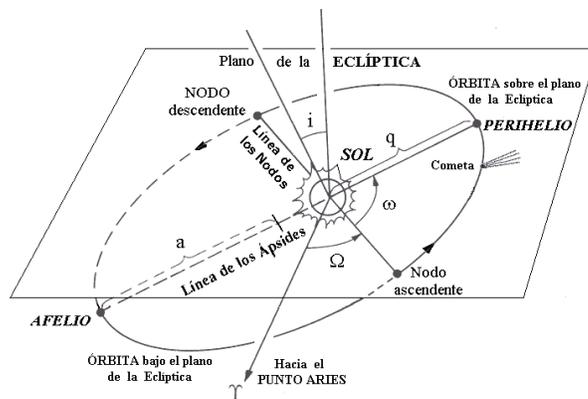


Figura 15.- Plano de la órbita de la tierra. Fuente: (SEAS, 2004)

El equinoccio es cuando tenemos igual tiempo de oscuridad que de luz, y suele ser el 21 de marzo y el 23 de septiembre (comienzo de primavera y de otoño). En el solsticio de verano tenemos el día más largo, y es el 21 de junio, mientras que el de mayor duración es el 22 de diciembre. Las estaciones quedan delimitadas por los equinoccios y los solsticios. En la Figura 16 puede estudiar la trayectoria de la tierra alrededor del Sol y cómo suceden las estaciones.

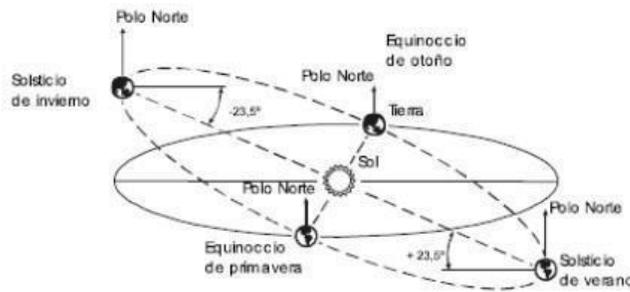


Figura 16. Trayectoria de la Tierra alrededor del sol y cambio de estaciones. Fuente: (SEAS, 2004)

El verano ocupa una amplia trayectoria, y el Sol se eleva sobre la bóveda celeste, estando mucho tiempo en el horizonte. En el invierno tendremos el caso contrario.

### 2.2.2. POSICIONAMIENTO SOLAR.

Para saber con precisión en qué posición está el sol en cada instante con respecto a un observador inmóvil, utilizaremos la altura solar  $h$  y acimut solar  $A$ ; Figura 17.

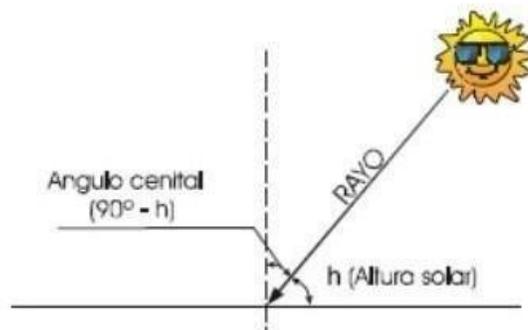


Figura 17.- Posicionamiento Solar. Fuente: (SEAS, 2004)

La altura solar ( $h$ ) es el ángulo que forman los rayos solares con la superficie horizontal. El ángulo cenital o distancia cenital, es el que forma el rayo con la vertical, es decir, el complemento de la altura, tal y como lo muestra en la figura anterior. El acimut solar ( $A$ ) es el ángulo de giro del sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el sur. En la Figura 18 podemos ver gráficamente la altura y el acimut, siendo negativo éste último cuando el Sol está en el oeste (por la mañana).

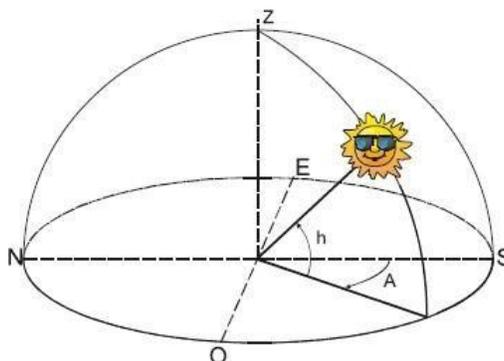


Figura 18.- Esfera Celeste. Fuente: (SEAS, 2004)

Tanto la altura como el acimut en un instante van a ser distintos para dos observadores que se encuentran en distintos lugares de la tierra, por lo que vamos a tener en cuenta para qué latitud geográfica los hemos calculado.

El número de horas de sol teóricas será el tiempo que hay entre el amanecer y la puesta del sol. Por lo tanto, la duración del día será el espacio de tiempo que hay entre los dos puntos opuestos que se encuentran en el horizonte. Dicha duración va a depender del punto geográfico y de la época del año, y no debemos confundirlos con el periodo total de veinticuatro horas que dura un giro en la tierra.

### 2.3. CONVERSIÓN A ENERGÍA ELÉCTRICA

Vamos a mencionar dos tipos de interacción: el fotoeléctrico externo y el fotovoltaico. El primero de ellos consiste en la liberación de electrones en la superficie de los metales, al chocar con dicha superficie libera fotones de suficiente energía, dando lugar a una corriente eléctrica denominada fotoeléctrica. Las células que llevan este nombre se basan en este efecto. Pero es más interesante la obtención de energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Una cualidad de los semiconductores, es que son capaces de crear una fuerza electromotriz bajo ciertas circunstancias. Algunos semiconductores son elementos químicos puros, como son el silicio, boro, y otros son compuestos químicos, por ejemplo, el arseniuro de galio (SEAS, 2004).

Al ponerse en contacto un semiconductor N con otro P, se les puede forzar a perder o ganar electrones. Si ponemos en contacto los dos tipos de semiconductores, tenemos una unión P-N (Figura 19), en donde tendremos unas propiedades especiales.

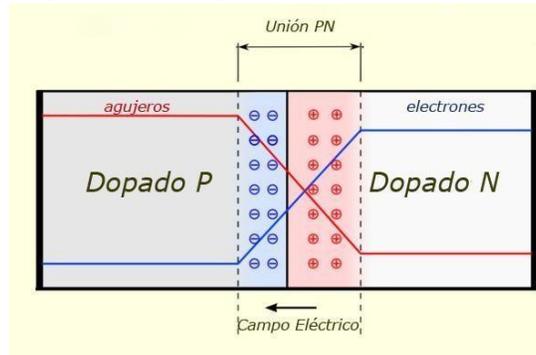


Figura 19.- Unión P-N. Fuente: (SEAS, 2004)

Los electrones que hay en exceso por el semiconductor N como los que no tienen el P tienden a difundirse en la superficie común de separación o frontera. Cada semiconductor es un cuerpo neutro, por lo que esta difusión de electrones y huecos para que N se cargue con carga positiva y el P con negativa crea una diferencia de potencial de alguna décima de volts (Figura 20).

Si llega luz a una unión de esta clase, los fotones van a liberar electrones adicionales, al mismo tiempo que dejan huecos en su lugar. Estos pares electrón-hueco del campo eléctrico tienen movimiento y se pueden recoger con la ayuda de un conductor, por lo que ya tenemos energía eléctrica. Por lo tanto, la energía eléctrica viene de los fotones de la luz.

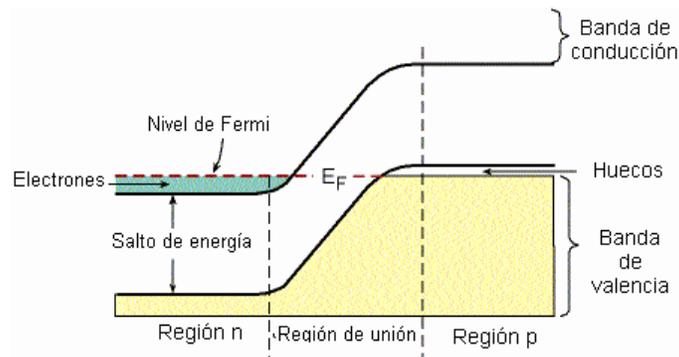


Figura 20.- Frontera Cristal P-N. Fuente: (SEAS, 2004)

### 2.3.1 EL EFECTO FOTOVOLTAICO

El efecto fotovoltaico consiste en esencia en la transformación de la energía que aportan los fotones de luz incidentes sobre materiales semiconductores (tratados de forma conveniente) en energía

eléctrica capaz de impulsar los electrones despedidos a través de un circuito exterior, realizando un trabajo útil.

El tratamiento especial del semiconductor es necesario, ya que la energía que cede el fotón a los electrones de dicho material se destina a transformarse en calor útil, después de algunos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica.

Si se requiere producir corriente eléctrica útil, se tendrá que sacar los electrones liberados fuera del material antes de que vuelvan a combinarse con los huecos, que son los lugares vacíos que dejan los electrones. Para eso se introducen en el material semiconductor elementos químicos que ayuden a producir un exceso de electrones y de huecos, proceso llamado dopado. A los elementos químicos que ayudan a realizar este proceso los denominaremos dopantes. Un buen dopante para el silicio es el boro, ya que tiene un electrón de enlace menos que el silicio, por lo que cada átomo de boro se unirá con tres átomos de silicio, dejando un hueco en el lugar que tendría que haber otro electrón. Esta estructura se denomina semiconductor de tipo P (Positivo).

Otro dopante para el silicio puede ser el fósforo. Como tiene un electrón de enlace más que el silicio, al sustituir un átomo de silicio por otro de fósforo en la red cristalina, el electrón sobrante queda libre y el semiconductor se llama tipo N (Negativo). A pesar de todo, la carga eléctrica neta del cristal sigue siendo cero, ya que cada átomo tiene el mismo número de protones que de electrones, por lo que se equilibran las cargas. Los nombres positivo y negativo se refieren a la carga que queda libre en la red cristalina y no a un estado descompensado eléctricamente.

Si ponemos dichas regiones de forma adyacente una a la otra, algunos de los electrones libres de la región N pasarán a la zona P, atravesando la frontera e instalándose en los huecos libres de la misma. Por este motivo, la zona más cercana a la frontera se quedará con carga negativa en el semiconductor P y con carga positiva en el N. Con este proceso, formaremos una unión P-N en donde el campo eléctrico, gracias al paso de las cargas crea una barrera de potencial que no deja que el proceso siga indefinidamente.

Si penetra la luz y los fotones comunican la suficiente energía a los electrones del semiconductor, algunos electrones atravesarán la barrera de potencial y serán expulsados del semiconductor con la ayuda de un circuito exterior, produciendo una corriente eléctrica. Dichos electrones, tras recorrer el circuito externo, vuelven a entrar en el semiconductor por la otra cara.

El semiconductor no almacena energía eléctrica como una batería, sino que la genera transformando la energía radiante cuando ésta incide sobre él (Figura 21).

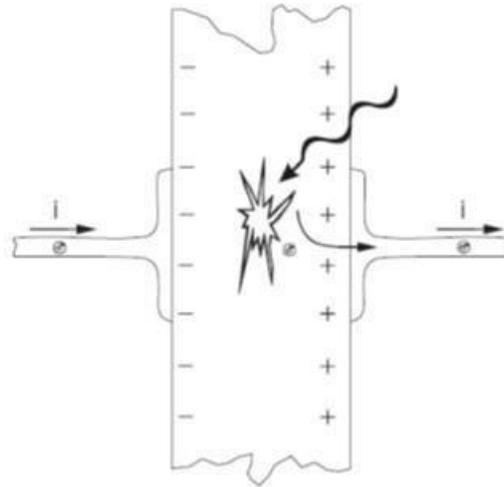


Figura 21.- Semiconductor. Fuente: (SEAS, 2004)

Según el tipo de semiconductor, los fotones se comportan de distinta manera en la producción de electricidad, por efecto fotovoltaico, debido a que unas frecuencias son más apropiadas que otras para producir el efecto. La respuesta espectral es la medida de la eficiencia para ver cómo un determinado dispositivo fotovoltaico produce la conversión de energía luminosa a energía eléctrica, a una determinada frecuencia luminosa incidente.

En una célula de silicio mono cristalina la eficiencia de conversión es relevante para las longitudes de onda comprendidas entre 350 y 1100 nanómetros, con un máximo situado sobre los 800 nanómetros, aunque para otros materiales tendremos una respuesta espectral diferente.

Como la luz solar que llega hasta nosotros está formada por una mezcla de fotones de frecuencias diferentes dentro de un amplio rango la eficiencia de conversión será la conjunción de la respuesta espectral para cada frecuencia, dando un resultado global para cada material utilizado.

La física cuántica da como eficiencia máxima teórica a la célula de silicio un valor en torno al 23% (cercano a la del laboratorio) aunque, si nos referimos a células comerciales fabricadas mediante procesos industriales, dicho valor no supera el 16%. Para otros materiales, el rendimiento es menor, pudiéndose aumentar con la ayuda de concentradores para elevar la intensidad de la radiación incidente. (SEAS, 2004)

Pero, aunque en el futuro se llegaran a obtener valores similares a los máximos teóricos obtenidos en el laboratorio, tan solo una pequeña parte de la energía incidente se podría convertir en energía eléctrica, al contrario que en los procesos térmicos directos en los que los colectores térmicos suelen trabajar con rendimientos del 80%, dato que pone la primera limitación a la potencia eléctrica que podemos obtener.

### 2.3.2 EL PANEL SOLAR.

Una célula fotovoltaica tan solo es capaz de proporcionar medio volt, si dicha célula es de silicio, y nos va a generar una potencia que oscila entre uno y dos watts. Por esto, si queremos obtener una tensión de 12 o 24 voltios, tendremos que poner varias células en serie, para, posteriormente, protegerlas de los agentes externos y construir el panel solar o módulo fotovoltaico. Estas conexiones en serie se realizan con unos procedimientos automáticos, soldando el dorso de una célula a la cara frontal de la célula de al lado. De esta forma, si queremos obtener 12 volts, tendremos que instalar 30 o 40 células en serie.

Cuando se han construido dichas conexiones, se ensamblan dentro de una estructura tipo sándwich, que consta de una lámina de vidrio templado y otra de material orgánico, como por ejemplo de etilen-vinilo; después, una de varias láminas de polímeros u otros cristales. Cuando hemos logrado realizar este proceso, sellaremos el vacío todo en un horno especial para conseguir que no penetren los agentes externos.

Una vez sellado al vacío, se recubre todo de neopreno para proteger las partes metálicas que forman el soporte del panel, para que después podamos realizar un exhaustivo control de calidad.

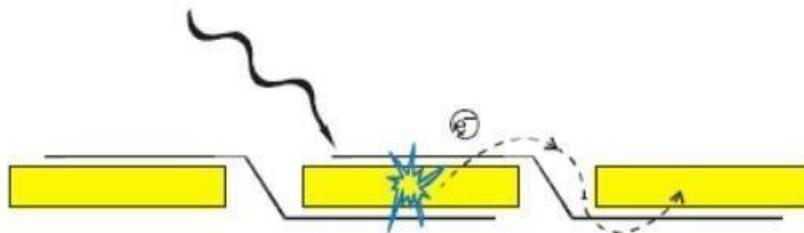


Figura 22.- Unión en serie de células Solares. Fuente: (SEAS, 2004)

En el control de calidad, se expone el panel solar a una temperatura de 40°C y luego a 90°C, realizando este proceso muchas veces, haciendo que sufra también los procesos de congelación y humedad, para ver si rinde y no se estropea (Figura 22). Para ver si los soportes están en condiciones óptimas, se somete el panel solar a la acción de fuertes vientos en ambos sentidos de forma alternativa, para también observar si hay fisuras o roturas de algunos contactos. A su vez, se realizan pruebas de resistencia mecánica mediante esfuerzos de torsión y flexión, para después lanzar bolas de hielo con la ayuda de un cañón, para simular el efecto granizo.

### 2.3.3 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Los siguientes parámetros definen la respuesta de un panel solar y como se muestra en la Figura 23:

- Corriente de cortocircuito ( $i_{sc}$ ). Es la máxima intensidad que se puede obtener de un panel solar en unas condiciones dadas, o la obtenida entre bornes de un panel solar con una resistencia nula, por lo que la diferencia de potencial será también nula.
- Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Es el voltaje máximo que se puede obtener sin dejar que pase corriente entre bornes de un panel solar (Circuito abierto).
- Corriente ( $i$ ) a un determinado voltaje ( $V$ ). La corriente eléctrica producida a un voltaje  $V$  a través del circuito externo que une los bornes del panel, y que tiene una resistencia  $R$ .
- Potencia Máxima ( $PM$ ). Trabaja en condiciones de potencia máxima cuando la resistencia del circuito externo sea tal que tengamos  $I_m$  y  $V_m$  para que su producto sea máximo.
- Eficiencia total del panel. Es el cociente entre la potencia eléctrica producida y la potencia de la radiación que incide en el panel.
- Factor de Forma. ( $FF$ ). Concepto teórico que sirve para medir la forma de la curva que define las variables  $i$  y  $v$ . (SEAS, 2004).

$$FF = \frac{PM}{(i_{sc} * V_{oc})} = \dots (5)$$

Ecuación 5.- Factor de Forma. Fuente [SEAS, 2004]

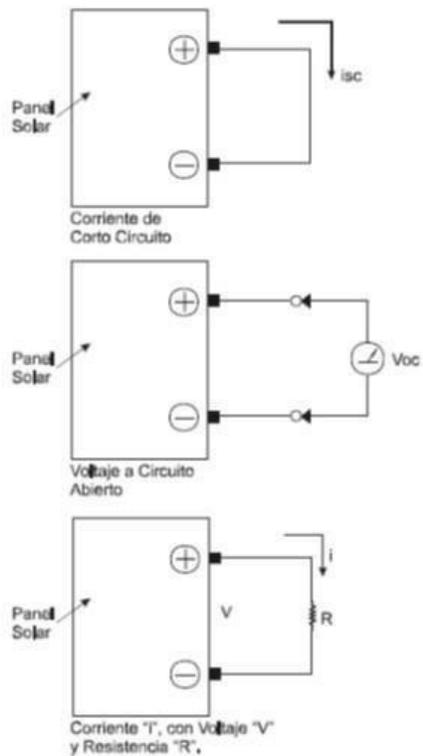


Figura 23.- Voltajes y corrientes en un panel. Fuente: (SEAS, 2004)

Variando la resistencia externa entre cero e infinito todos los valores  $(i,v)$ , y uniéndolos obtendremos la curva característica del panel o curva intensidad-corriente.

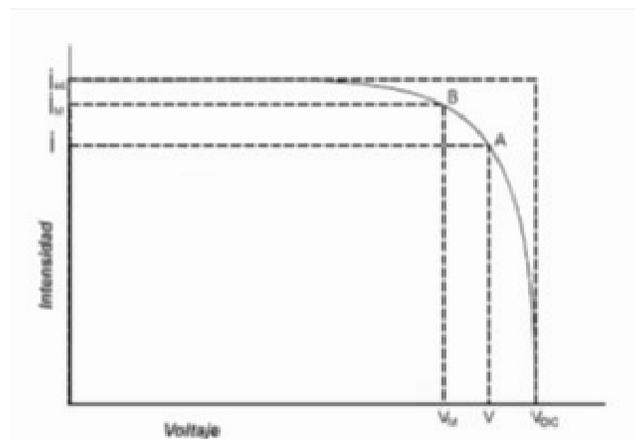


Figura 24.- Curva característica de un panel. Fuente: (SEAS, 2004)

A, es un punto cualquiera de la gráfica  $(i,v)$ , en donde se tendrá una potencia  $IV$  igual al área del rectángulo entre el origen y el punto A. Si se mueve A hacia la derecha,  $i$  disminuye, por lo tanto, también lo hace el área antes descrita. Si por el contrario se mueve A hacia la izquierda, llegará un momento en que el área también disminuirá, ya que también B disminuye. Al punto B, en donde el área sea máxima, se le llamará el punto de máxima potencia.

El factor de forma es el cociente del área del rectángulo formado por el origen B y el exterior a la curva de lados  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ , ver Figura 24.

Si queremos cargar una batería de 12 V, se tendrá que poner un panel que proporcione 13 V, siempre algo mayor a los cuales se va a alimentar, en donde el tipo de material va a tener un papel primordial. Si modificamos la intensidad incidente, también varían las gráficas, (Figura 25).

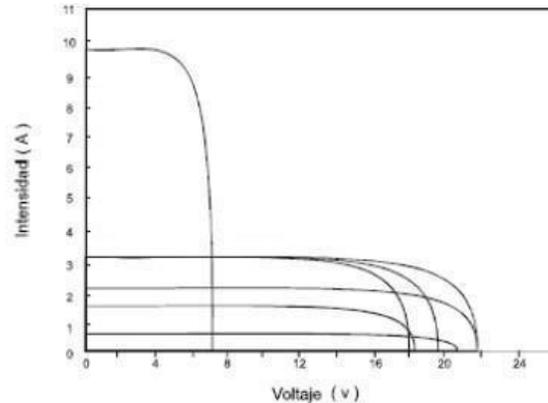


Figura 25.-Diferentes curvas para diferentes tipos de paneles A 25°C y a 1000w/m<sup>2</sup> Fuente:(SEAS, 2004)

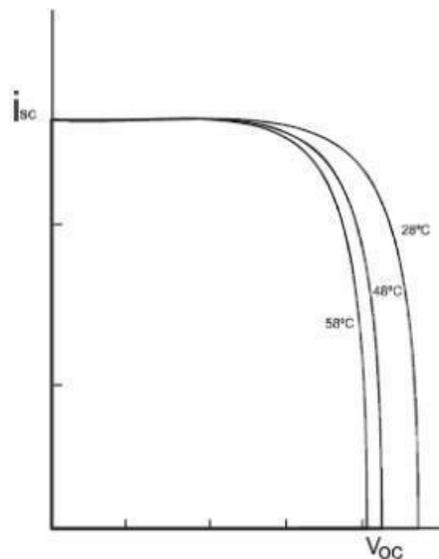


Figura 26.- Variación en función de la temperatura. Fuente: (SEAS, 2004)

La intensidad radiante estándar es de 1000 w/m<sup>2</sup>, a la temperatura de 25 °C, simulándose en el laboratorio con unos focos adecuados, por lo que las condiciones reales de trabajo pueden variar mucho, si se comparan con las del laboratorio. Por eso se tendrá que tener en cuenta las variaciones

para corregir los cálculos en nuestro panel solar específico variando tanto la corriente como el voltaje en relación a la temperatura. (Figura 26).

Generalmente, la intensidad eléctrica será proporcional a la intensidad incidente, y aunque el voltaje también variará respecto a este momento, lo hará de forma exponencial, tal y como lo muestra la Figura 27:

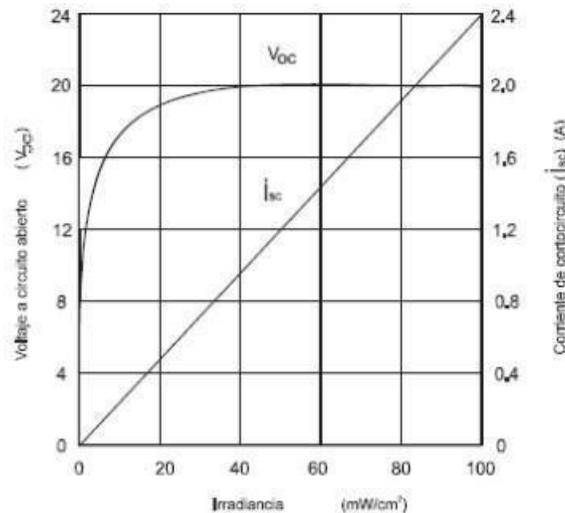


Figura 27.- Variación de la I y V en función de la radiación. Fuente: (SEAS, 2004)

Pero si no se conoce la curva característica del panel, ¿qué se tiene que conocer para averiguar el efecto que los agentes externos producen en el panel?

En cuestión de temperatura se tiene lo siguiente:

- En paneles de silicio, el voltaje disminuye a razón de  $2.3 \times 10^{-3}$  volts por célula y por cada  $1^{\circ}\text{C}$  que se incremente la temperatura por encima de los  $25^{\circ}\text{C}$ . Del mismo modo, la intensidad aumenta  $15 \times 10^{-6}$  A por cada  $\text{cm}^2$  de área circular y por cada  $1^{\circ}\text{C}$  en que sobrepase los  $25^{\circ}\text{C}$ .
- Los paneles de película delgada tienen variaciones de  $-2.8 \times 10^{-3}$  V/célula y  $1.3 \times 10^{-5}$  A/ $\text{cm}^2$  por cada  $1^{\circ}\text{C}$  que se incrementa la temperatura por encima de los  $25^{\circ}\text{C}$ .

Llevando estos datos a la práctica, se asume que la potencia del panel disminuye 0.5% por cada grado de aumento de la temperatura de la célula por encima de los  $25^{\circ}\text{C}$ . No obstante, la temperatura de la célula no va a ser la temperatura del ambiente en ese lugar, y de la relación entre términos será (Pareja,2007):

$$\Delta t^{\circ} = 0.03414 \dots \dots \dots (6)$$

Ecuación 6.- Aumento de la temperatura de la célula. Fuente: [Pareja, 2007]

Así, en un lugar donde la radiación solar es de  $600 \text{ W/m}^2$  y  $t = 27^{\circ}\text{C}$ , se tendrán las células a  $43^{\circ}\text{C}$ , y la potencia del panel será el 9% menor a la estándar. Pero haciendo cálculos aproximados, para evitar realizar estas operaciones se asumirá que la temperatura media de trabajo de la célula será  $20^{\circ}\text{C}$  superior a la temperatura ambiente, por lo que el rendimiento del panel solar bajará a un 90% (la potencia del panel disminuye un 10%) ver Figura 28.

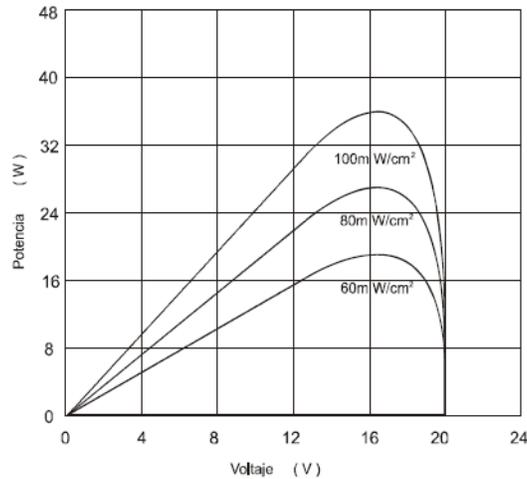


Figura 28.- Variación de la potencia en función de la radiación. Fuente: (SEAS, 2004)

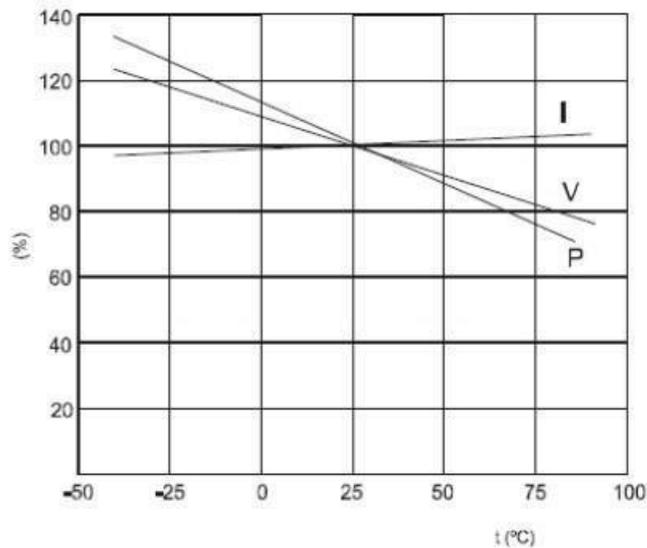


Figura 29.- Variación relativa según la temperatura de la célula. Fuente: (SEAS, 2004)

Si observamos las curvas características tensión-corriente de un módulo o panel fotovoltaico según sea el nivel de irradiación solar que incida sobre él y dependiendo de la temperatura tendremos múltiples puntos de trabajo posibles (Figura 29). Para cada uno de ellos, el módulo entregará una determinada potencia existiendo un punto que para las mismas condiciones de irradiación y temperatura entrega la máxima potencia.

Según el tipo de células, tendremos distintos tipos de paneles solares: paneles monocristalino, policristalino y amorfos que de acuerdo a la variación de la radiación solar y temperatura cambian las características de potencia y voltaje (Figuras 29). Otra forma de clasificarlos será por la potencia del panel:

- Mini paneles de 1 y 2W de potencia.
- Grandes paneles de 80w de potencia, siendo en ambos casos la potencia nominal, o la que es capaz de suministrar. También hay de 90W, 100W y 110W.

La potencia nominal pico es la proporcionada a una temperatura de 25°C, ya que esta temperatura tendremos un pico máximo en las medidas reales de la intensidad radiante. Generalmente la intensidad recibida es inferior a la radiación de un Sol, por lo que también será inferior la potencia generada, siendo las potencias nominales de 5, 10, 20, 35, 40 y 60W.

Los paneles de 6 voltios tienen 18 células, y los de 12 voltios tienen 36 células, siendo estos los más utilizados (Figura 30).

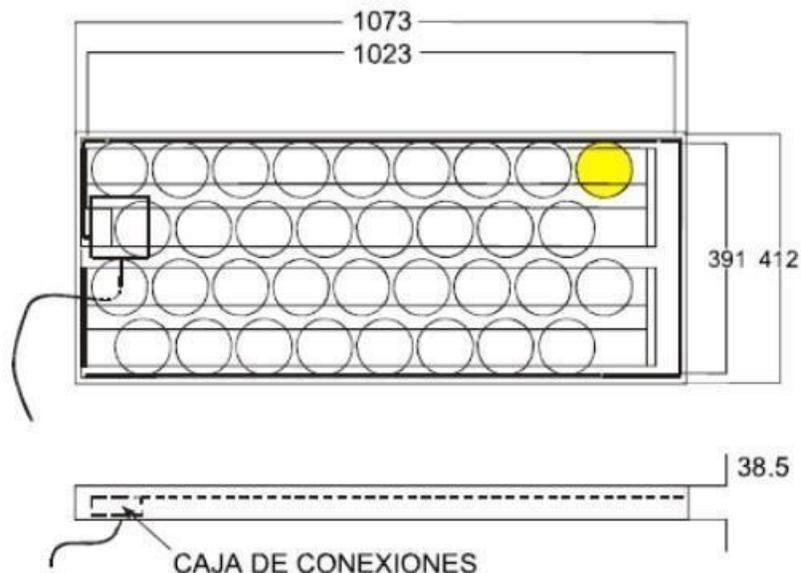


Figura 30.- Potencia de 33W de potencia con sus medidas en milímetros. Fuente: (SEAS, 2004)

### 2.3.4. CONEXIONES DE LOS PANELES SOLARES.

Para obtener la tensión o intensidad deseada, es posible instalar los paneles en serie, en paralelo o de forma mixta, Figura 31,32 y 33, de forma que podamos sumar voltajes o intensidades, según la instalación realizada.

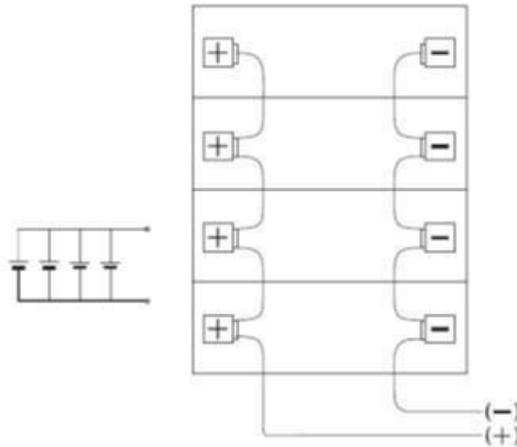


Figura 31.- Conexión de 4 paneles de 12 V en paralelo. Fuente: (SEAS, 2004)

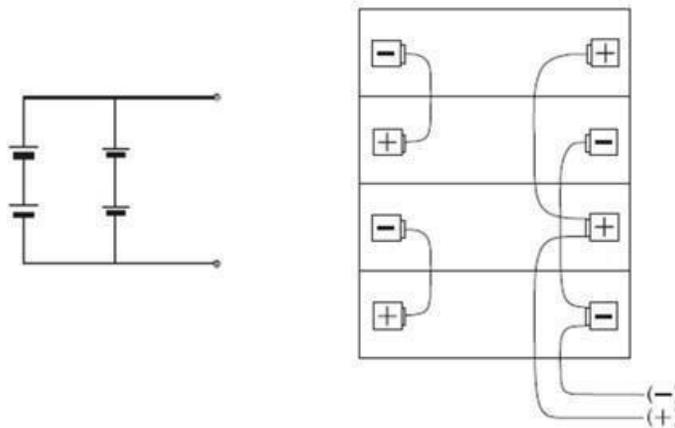


Figura 32.- Conexión de dos grupos en paralelo, cada uno de 2 paneles de 12V. Fuente: (SEAS, 2004).

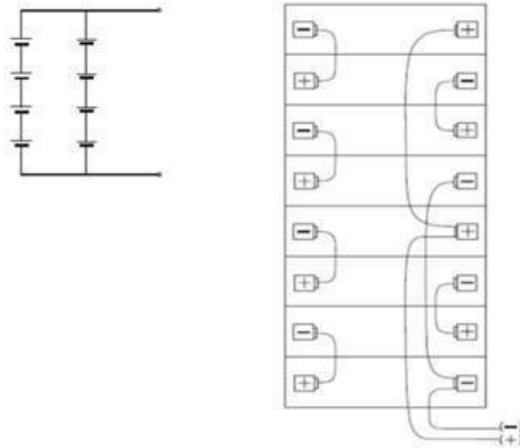


Figura 33.- Conexión de dos grupos en paralelo cada uno de 4 paneles de 12V. Fuente: (SEAS, 2004)

## 2.4 PARTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED

### 2.4.1 EL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Un generador fotovoltaico comprende una variedad de componentes tales como: módulos, estructura soporte, diodos de bypass, diodos de bloqueo, fusibles, cables y terminales, dispositivos de protección contra sobretensiones (varistores), seccionadores y/o interruptores y cajas de conexión. Figura 34, muestra un diagrama esquemático de un tipo generador fotovoltaico.

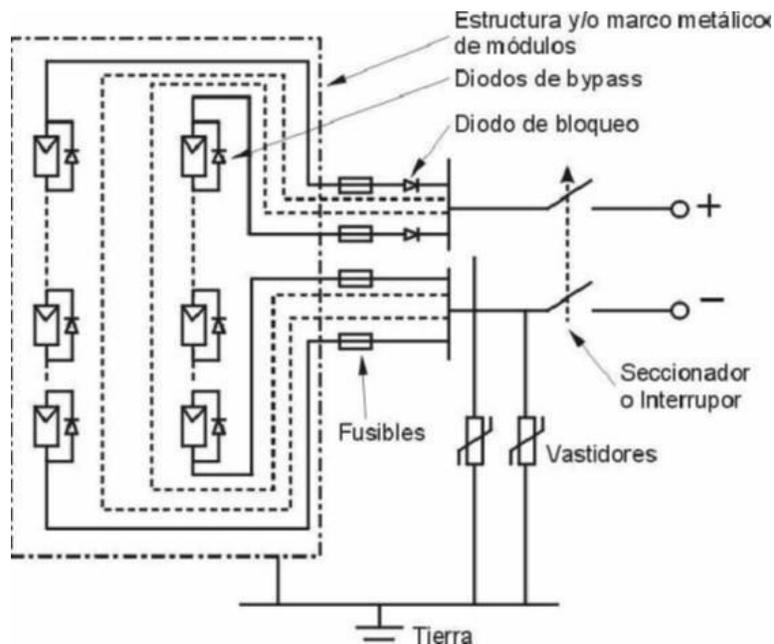


Figura 34.- Diagrama de un generador fotovoltaico típico. Fuente: (SEAS, 2004)

Los módulos en principio pueden tener cualquier tipo de asociación de células en serie y/o paralelo, aunque la mayoría de los fabricantes optan por conectar las células del módulo en serie. Un módulo suele tener una tensión de circuito abierto,  $V_{oc}$ , de unos 20V y, aproximadamente una corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ , de 3 A en condiciones estándar de medida.

A una asociación de varios módulos en serie se le denomina rama. En ramas de módulos con tensiones de circuito abierto mayores de 30V (con más de 2 módulos conectados en serie), es necesario instalar en anti paralelo con ellas, diodos de by-pass cuya función es la de permitir un camino alternativo a la corriente alrededor de una asociación de células en serie cuando algunas de las células de la rama están parcialmente sombreadas. Normalmente los fabricantes de módulos incorporan en cada módulo dos de estos componentes.

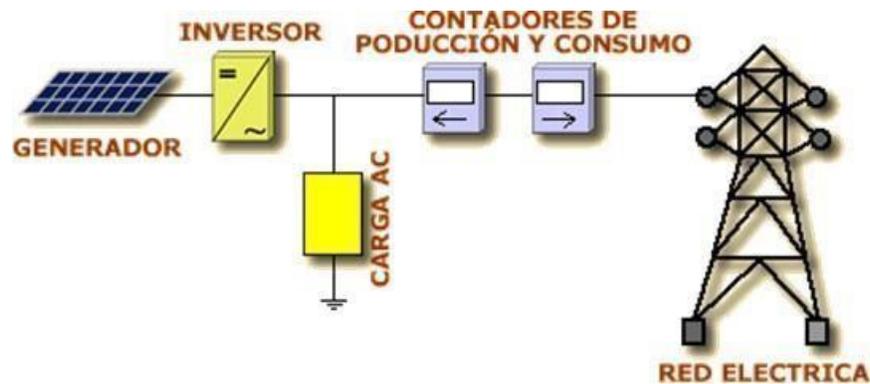


Figura 35.- Diagrama de un sistema interconectado a red típico. Fuente: (Sardinero, 2015)

Los diodos de bloqueo se instalan en serie como cada rama para evitar que las ramas menos iluminadas actúen como cargas de las más iluminadas en situación de cielo parcialmente nublado.

Los fusibles protegen a los conductores de sobrecorrientes y se pueden instalar cuando el generador fotovoltaico está compuesto de varias ramas en paralelo, en el conductor que recoge la intensidad generada en dichas ramas si no tiene la capacidad suficiente para soportar de forma permanente la intensidad de cortocircuito, máxima intensidad que puede circular procedente del conjunto de ramas.

En un diseño adecuado del cableado de un generador fotovoltaico en un sistema conectado a red Figura 35, los conductores que lo conforman deberán tener la sección suficiente para permitir el paso de la máxima corriente generada, intensidad de cortocircuito de la rama o suma de las intensidades de cortocircuito de las ramas en paralelo asociadas si no hubiera diodo de bloqueo en dicha rama,

sin sobrecalentarse o sin presentar caídas de tensión según normativa actual vigente (los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior de 1.5% tomando como referencia las correspondientes a cajas de conexiones).

Por todo ello la utilización de fusibles en serie con las ramas de un generador fotovoltaico lleva asociada la utilización de seccionadores que permiten aislar dicho generador fotovoltaico del equipo o equipos a él conectados.

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados siendo el cableado de doble aislamiento y adecuado para su uso en intemperie, al aire o enterrado.

La orientación óptima para el generador fotovoltaico será, en el hemisferio norte, la Sur y la inclinación óptima sobre la horizontal la podemos situar para un país igual a la latitud del lugar con objeto de captar la máxima radiación. No obstante, las desviaciones de la situación óptima tienen una repercusión pequeña en la captación de energía.

En un amplio margen en torno al óptimo, las cifras de 0.2 y 0.08% de pérdida por cada grado de desviación e inclinación y orientación respectivamente representan bien la situación. A cambio de asumir estas pequeñas pérdidas se obtiene un considerable grado de libertad que facilita mucho la integración de los generadores fotovoltaicos en los edificios, [Pareja, 2007].

En cualquier caso, la orientación e inclinación del generador fotovoltaico y las posibles sombras el mismo deberán ser tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla. En todos los casos se han de cumplir tres condiciones: pérdidas por orientación e inclinación, pérdidas por sombreado y pérdidas totales inferiores a los límites estipulados respecto a los valores óptimos.

### **2.4.2 EL INVERSOR**

El inversor es el elemento más importante de la instalación fotovoltaica conectada a red. Funciona como interface entre el generador fotovoltaico y la red eléctrica. Un inversor está compuesto por una etapa sintetizadora y por una etapa filtradora. La etapa sintetizadora se ocupa de producir a su salida una onda de impulsos a partir de la tensión continua que tiene en su entrada proveniente del generador fotovoltaico mientras que la etapa filtradora tiene como misión eliminar los armónicos indeseados de la onda de impulsos producida en la etapa sintetizadora para producir una onda totalmente senoidal.

El inversor realiza las siguientes funciones:

- Transformar la corriente continua en alterna.
- Conseguir el mayor rendimiento del campo fotovoltaico.
- Realizar el acoplamiento a la red.
- Protecciones.

Básicamente los inversores utilizados para conexión a red se diferencian de los utilizados en sistemas autónomos en que los primeros disponen de un control sobre la generación de la forma de onda que depende de la situación de la tensión de la red. Es la tensión de red por tanto la que determina la frecuencia, tensión y sincronismo de la onda generada.

Las características básicas de los inversores utilizados para conexión a red serán las siguientes:

- Principio de funcionamiento: Fuente de corriente.
- Los inversores de conexión a red se pueden diseñar para generar tensiones senoidales o para generar intensidades senoidales. Si generan intensidades senoidales funcionan como fuentes de corriente.
- El funcionamiento de un inversor generador de corriente es el siguiente. El inversor genera una tensión que depende de la intensidad que se inyecta a la red, es decir, generan la tensión necesaria para que la forma de intensidad inyectada esté controlada.
- Si apareciera un defecto en la tensión de la red, el inversor copiaría dicha deformación e inyectaría en la red potencia con el mismo defecto que el detectado, aunque la forma de onda continuara siendo senoidal.
- Auto-conmutado.
- La tensión de salida deberá estar sincronizada con la señal de tensión de red.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.

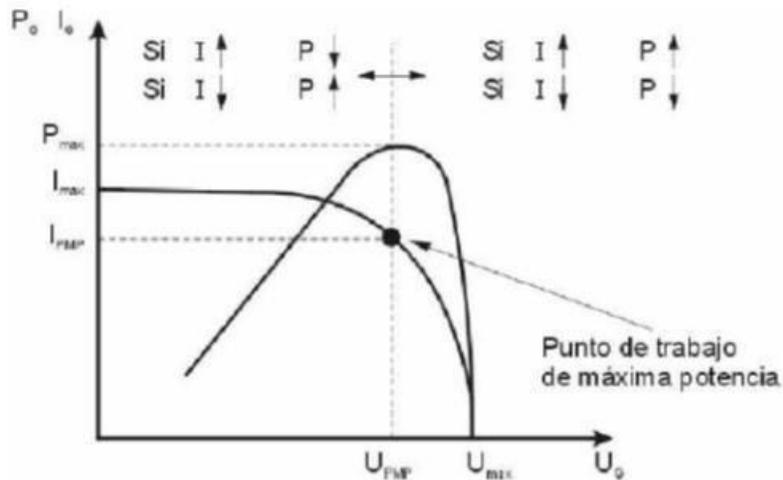


Figura 36.- Curva de punto de máxima potencia. Fuente: (SEAS, 2004)

El algoritmo de control para la búsqueda del punto de máxima potencia en los inversores utilizados para conexión a red se basa en multiplicar constantemente la corriente y la tensión a la salida del campo fotovoltaico para obtener el valor de la potencia extraída. El control aumenta la corriente que pasa por el inversor y calcula de nuevo la potencia para ese nuevo punto de trabajo, si la potencia aumenta es que el punto de trabajo está a la derecha del punto de máxima potencia, si por el contrario la potencia disminuye, es que el punto de trabajo está a la izquierda del punto de máxima potencia. (Figura36).

En el primer supuesto el control seguirá incrementando la corriente mientras que en el segundo el control disminuirá la consigna de corriente.

Como características eléctricas que deberán tener los inversores utilizados para conexión a red tendremos los siguientes:

- El inversor deberá seguir entregando potencia a la red de forma continuada en condiciones de irradiancia solar de un 10% superiores a las condiciones estándar de medida (1000W/m<sup>2</sup>).
- Además de esto deberá soportar picos de un 30% superior a las condiciones estándar de medida durante periodos de hasta 10 segundos.
- Los valores de eficiencia al 25 y 100% de la potencia de salida nominal deberán ser superiores al 85 y 88% respectivamente para inversores de potencia igual o inferior a 5 kW y del 90 al 92% para inversores mayores de 5 kW.

- El autoconsumo de los inversores (pérdidas en vacío) en standby o modo nocturno deberá ser inferior a un 2% de su potencia de salida nominal.
- El factor de potencia generada ( $\cos \varphi$ , con  $\varphi$  ángulo de desfase entre tensión e intensidad) deberá ser superior a 0.95 entre el 25 y 100% de la potencial nominal.
- El inversor deberá inyectar en red para potencias mayores del 20% de su potencia nominal.
- Los inversores estarán garantizados para operación en las siguientes condiciones ambientales: entre 0° y 40°C de temperatura y 0% a 85% de humedad relativa.

### **2.4.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL INVERSOR**

El inversor de conexión a red dispone de un sistema de control que le permite un funcionamiento completamente automatizado. Durante los periodos nocturnos el inversor permanece parado vigilando los valores de tensión de la red y del generador fotovoltaico. Al amanecer, la tensión del generador Fotovoltaico aumenta, lo que pone en funcionamiento el inversor que comienza a inyectar corriente a la red. A continuación, se describe el funcionamiento del equipo frente a situaciones particulares.

En caso de que se interrumpa el suministro en la red eléctrica, el inversor se encuentra en situación de cortocircuito, en este caso, el inversor se desconecta por completo y espera a que se restablezca la tensión en la red para iniciar de nuevo su funcionamiento.

Si la tensión de red se encuentra fuera de rango de trabajo aceptable, tanto si es superior como si es inferior, el inversor interrumpe su funcionamiento hasta que dicha tensión vuelva a encontrarse dentro del rango admisible. A partir de 250 V CA el equipo reduce la potencia a fin de no incrementar más esta tensión. Si a pesar de esta reducción la tensión sobrepasa 255 V CA, se detendrá.

Si la frecuencia de la red está fuera de los límites de trabajo se detiene inmediatamente pues esto indicaría que la red es inestable o está en modo isla (Indica que no puede suministrar energía).

El inversor dispone de un sistema de refrigeración por convección. Está calculado para un rango de temperaturas similar al que puede haber en el interior de una vivienda.

En caso de que la temperatura ambiente se incremente excesivamente o accidentalmente se tapen los canales de ventilación, el equipo seguirá funcionando, pero reducirá la potencia de trabajo a fin de no sobrepasar internamente los 75 °C. Esta situación se indica con el led de temperatura intermitente. Si internamente se llega a 80°C, se detendrá y el intermitente se quedará fijo iluminado.

Cuando la tensión del generador fotovoltaico baja, el inversor no puede funcionar, es la situación en la que se encuentra durante la noche o si se desconecta el generador solar. El led de paneles estará fijo apagado.

Los generadores fotovoltaicos alcanzan el nivel de tensión de trabajo a partir de un valor de radiación solar muy bajo (de 2 a 8 mW/cm<sup>2</sup>). Cuando el inversor detecta que se dispone de tensión suficiente para iniciar el funcionamiento, el sistema se pone en marcha solicitando potencia del generador fotovoltaico. Si el generador no dispone de potencia debido a que la radiación solar es muy baja, el valor de la intensidad mínima de funcionamiento no se verifica, lo que genera una orden de parada del equipo para posteriormente iniciar un nuevo intento de conexión. El intervalo entre intentos es aproximadamente 3 minutos (Figura 37).

### Características eléctricas del inversor XXX

Rango de potencia pico de panel instalada recomendable (Wp)	2500...5000
Potencia mínima de conexión (W)	160
Consumo en vacío	8 W a 230 V <sub>AC</sub>
Rizado de tensión de paneles a potencia nominal (V <sub>rsm</sub> )	10
Máxima tensión (V <sub>CC</sub> ) de entrada de continua en vacío a 25°C	176 V
Rango de temperatura de trabajo	-5...40°C
Rango de tensión de red admisible	205...253 V <sub>AC</sub>
Frecuencia de trabajo	49,5...50,5 Hz
Distorsión de la intensidad a 0,6 Pn con THD de red < 2%	<3,5%
Relé de potencia de estado sólido	Conexión en paso por 0
Sistema de aislamiento Red/Panel	Transformador toroidal
Humedad relativa máxima	<90%
Sistema de refrigeración	Convección natural + ventilación forzada
Sensibilidad en PMP (W) aproximada	60
Tiempo de respuesta búsqueda PMP	Entre 3 seg. Y 3 min.
Desconexión total del transformador	Si
Tiempos de espera entre arranques	2 minutos aproximadamente
Forma de onda	Senoidal sincronizada con la red
Tipo de control	Digital + analógico
Protecciones de entrada y salida	Varistores

Figura 37.- Datos generales de un inversor. Fuente: (SEAS, 2004)

## 2.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED

En la configuración de un sistema fotovoltaico de conexión a red intervienen distintos factores que determinan la selección y diseño de un sistema. Se describen los principales elementos que se deben utilizar en primera fase de diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red. Sus principales parámetros que definen el inversor para una instalación determinada son:

- La tensión del campo de paneles.
- La potencia del campo de paneles.
- Las características de la red eléctrica.

## 2.5.1 TENSIÓN DEL CAMPO DE PANELES.

En los sistemas fotovoltaicos de conexión a red el concepto de tensión nominal difiere del utilizado en sistemas autónomos con baterías. En sistemas de conexión a red, la tensión de trabajo del campo de paneles es la del punto de máxima potencia, ya que los inversores disponen de dispositivos que tienden a situar la tensión de trabajo en dicho punto. En este caso, es por lo tanto más correcto al hablar de tensión nominal de un sistema a utilizar la del punto de máxima potencia del generador fotovoltaico.

El número de módulos en serie y el número de ramas en paralelo necesarias para configurar un sistema dependerá de las características de cada módulo, ya que existen módulos en el mercado de diferentes tensiones, por lo que no será posible utilizar reglas de carácter general en cuanto al número de ellos necesario. Por ejemplo, en una instalación autónoma de 24 V necesitaremos conectar 2 paneles en serie independientemente del modelo mientras que en una de cada 48 V necesitaríamos conectar 4.

La tensión máxima del sistema se alcanza en la situación de circuito abierto del campo de paneles. Esta tensión es importante ya que define cual es el valor de tensión máxima existente en el generador y que debe soportar el inversor.

Para construir una forma de onda senoidal de 220 V CA, normalmente se necesita disponer de una tensión de entrada superior al valor de cresta (310 V) que presenta la forma senoidal. Si a este valor le añadimos un pequeño margen que permita absorber las caídas de tensión del sistema de conmutación del inversor, podemos fijar en unos 340-360 V CD la tensión de entrada necesaria para generar una forma de onda senoidal mediante un sistema de conmutación.

La tensión de entrada que simplifica los dispositivos internos del inversor no siendo necesaria la incorporación de un dispositivo elevador es pues de 340-360 V CD, por lo que será la tensión más adecuada en este tipo de instalaciones. Si se utilizan tensiones inferiores de entrada en el inversor necesitaremos incorporar en este un dispositivo elevador de tensión lo que añadirá mayor complejidad técnica, pero es una tensión menor y por lo tanto más adecuada para instalaciones de tipo doméstico. También es importante observar que cuanto mayor sea la tensión de la instalación mayor será el número de módulos en serie necesarios, y como sólo es posible incluir series completas, las potencias que se pueden suponer intervalos mayores, lo cual resta flexibilidad para adaptar la potencia a cada sistema particular.

## 2.5.2 POTENCIA DEL CAMPO DE PANELES

En general la potencia del inversor necesario para un determinado campo de paneles fotovoltaicos suele ser un 20% inferior a la potencia pico instalado de dicho campo. Este se debe principalmente a los siguientes aspectos:

- a) La potencia pico del campo generador se alcanza en ocasiones puntuales por lo que normalmente el inversor trabaja con valores de potencia inferiores al 70% de su potencia máxima. Como sabemos el rendimiento del inversor es menor cuanto más lejos trabaja de su potencia máxima. La utilización de un inversor de un 20% de potencia menor proporciona pues un ajuste más adecuado de la potencia de funcionamiento real de la instalación, además de una reducción en el coste del inversor que no representa una reducción de la potencia obtenida.
- b) La potencia pico del generador fotovoltaico que nos da el fabricante se obtiene a una temperatura de célula de 25°C y una irradiancia de 1000W/m<sup>2</sup>. Esta situación es un poco probable en la realidad ya que de 1000 W/m<sup>2</sup> que correspondería al valor medido al mediodía de un día claro de verano sería necesario estar a una temperatura ambiente en el exterior entre -10°C y 0°C para encontrar la célula a 25°C lo cual es obviamente imposible. Además, valores de irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> solo se alcanza en condiciones muy puntuales. Por lo tanto, debido a que los paneles no trabajan en condiciones estándar de medida, sino que sus condiciones de funcionamiento dependen de su ubicación y de las condiciones climatológicas la potencia de salida es sensiblemente inferior a la potencia pico proporcionada por el fabricante.
- c) Por último, existen pérdidas de potencia por desacoplo de los módulos en las series (p.e. sombreados parciales en el campo generador), caídas de tensión en los conductores y otros factores que reducen la potencia máxima disponible a la entrada del inversor.

## 2.5.3 CARACTERISTICAS DE LA RED

Cuando se trata de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, suele existir un cierto recelo por parte de la compañía eléctrica debido a la posibilidad de que el inversor que deba inyectar la

corriente pueda producir armónicos (ondas a distinta frecuencia que la red que es de 60 Hz), o realizar operaciones que puedan alterar la calidad de la red.

Actualmente la tecnología en el diseño de inversores permite alcanzar niveles muy bajos de distorsión, lo cual posibilita la utilización de este tipo de instalaciones sin que ello afecte la calidad de la red comercial. La red eléctrica se suele identificar como un generador ideal, sin variaciones ni distorsiones importantes. Los generadores de la red eléctrica comercial proporcionan una calidad y estabilidad de tensión adecuadas. No obstante, en algunas ocasiones dependiendo del estado en el que se encuentren las líneas de distribución y de las cargas conectadas a dichas líneas, la calidad de la red en el punto de conexión (punto al que se conecta la instalación fotovoltaica a la red eléctrica convencional) pueda ser baja, presentando variaciones y distorsiones repentinas, lo que puede provocar problemas para el inversor que tiene que sincronizarse con la red.

En instalaciones de potencia elevadas (mayores de 5kW), la conexión a red suele ser trifásica por lo que el inversor ha de ser trifásico. Inyectar potencia en monofásica a estos niveles podría contribuir al desequilibrio de las fases de la red.

En general la tensión de red trifásica que suministra la compañía eléctrica no tiene la misma tensión en cada una de sus tres fases. Esta situación debe considerarse como normal dentro de unos límites que se establecen normalmente en el 7%. El campo de paneles se suele subdividir en tres grupos para poder absorber las diferencias entre tensiones de salida de forma que se proporcionan tres entradas independientes de panel para cada una de las fases. En instalaciones domésticas de pequeña potencia (iguales o inferiores a 5 kW) se utilizan inversores monofásicos. El posible desequilibrio que se puede generar en la línea de distribución trifásica es en este caso despreciable, ya que la potencia de la conexión a red es muy pequeña comparada con la de la línea a la cual está conectada la instalación fotovoltaica.

En el funcionamiento de un inversor para conexión a red se realiza un control preciso de una serie de parámetros de la red (principalmente la tensión y la frecuencia) y se gestiona la forma de onda que tiene que generar para que las diferencias entre la tensión generada y la de red sean mínimas. Por otra parte, para mantener el sincronismo y resolver los posibles problemas generados por los armónicos en el punto de conexión se necesita utilizar una avanzada tecnología que sea capaz de proporcionar soluciones a estos problemas.

Para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema es necesaria una calidad de red mínima. Una baja calidad de red hará necesario que necesitemos incorporar sistemas que sean capaces de mantener la continuidad en la inyección de potencia sin que se activen las protecciones del sistema. Entre los distintos tipos de perturbaciones que se pueden encontrar en la red, tenemos los siguientes:

- **Microcortes.** - Son interrupciones del suministro de muy corta duración. Cuando se produce un micro corte el inversor se encuentra con un cortocircuito en su lado de alterna lo que generará la activación de la protección correspondiente.
- **Tensión fuera de rango admisible.** - A veces podemos encontrar en el punto de conexión una tensión que se encuentre fuera del rango admisible. En este caso el inversor interrumpirá su funcionamiento ya que no debe contribuir a un suministro de potencia con valores que no son admisible.
- **Distorsión de la forma de onda.** - Normalmente la distorsión de la forma de onda en redes de distribución suele ser muy baja, aunque a veces las cargas conectadas a la red introducen armónicos que pueden llegar a ser importantes en el punto de conexión. Este problema es muy difícil de resolver por parte de las compañías eléctricas, ya que se generan en los distintos puntos de consumo de la línea de distribución.
- **Caídas de tensión.** - Si la línea de distribución utilizada para el punto de conexión a red no dispone de sección suficiente, la tensión de red medida en dicho punto sufrirá variaciones importantes en función de la intensidad proporcionada por el inversor. Si dichas variaciones son muy notables, ya que la red causará de forma importante las variaciones de intensidad inyectada.

## CAPITULO 3 MEMORIA DEL PROYECTO

En este apartado se detallará en que consiste el proyecto a desarrollar y en que fraccionamiento (emplazamiento) se contemplará, describiendo las características de la instalación, cálculos necesarios para el dimensionado, tomando una decisión adecuada ya que dicho proyecto está diseñado para casas de interés social.

### 3.1 EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La ubicación de la instalación solar fotovoltaica a proyectar será al oeste de la Cd. De Fresnillo, Zac, México, a un costado del Parque industrial Fresnillo. Dentro del Fraccionamiento Villas de Plateros. (Figura 38).



Figura 38.- Fraccionamiento Villas de Plateros, Zac. Fuente: Google Earth

La técnica propuesta en este proyecto está contemplada implementarse en una casa habitación de interés social de dicho fraccionamiento. El área donde se encuentra el fraccionamiento está situado a 2064 metros sobre el nivel del mar cuyas coordenadas se presentan a continuación: Fresnillo se localiza en el Municipio Fresnillo Estado de Zacatecas, México y se encuentra en las coordenadas GPS:

Longitud (dec): -103.03611

Latitud (dec): 23.216944

## **3.2 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN**

Para la implementación de este proyecto se desarrolló un estudio y análisis del consumo de energía eléctrica dentro de una colonia de interés social (Fraccionamiento Villas de Plateros), en el municipio de Fresnillo, estado de Zacatecas, en el cual se analizan los datos de consumo de energía eléctrica. El uso de la energía eléctrica en el hogar fue uno de los principales objetivos de la creación de la CFE y ha sido símbolo de desarrollo económico. Considerando que el consumo de energía eléctrica para uso doméstico en el estado de Zacatecas en específico en el Municipio de Fresnillo, ha tenido un crecimiento paulatino durante los últimos años, tendencia que se espera que no se detenga ya que la demanda juega un papel muy importante por ser un factor determinante para satisfacer a todos los hogares y la estimación de la misma se espera que en el futuro conforme un elemento clave en el proceso de planeación y toma de decisiones para suministrar la energía a las familias en el área urbana y rural del municipio.

Las altas temperaturas en el ambiente de los estados del norte de México resultan en el uso excesivo de aire acondicionado, hecho que implica una inversión sustancial en el pago de energía eléctrica. Sin embargo, la generación mensual por sistemas fotovoltaicos tiene un efecto positivo doble: reduce los picos de demanda eléctrica, así como el total de la demanda, evitando que el usuario caiga en los rangos altos de consumo eléctrico.

En respuesta a esta situación y aprovechando el potencial de radiación solar del país, el proyecto de pequeños sistemas fotovoltaicos conectados a la red promueve el desarrollo de capacidades nacionales y fortalece los marcos regulatorios para que se vuelva más sencilla la integración de esta tecnología a la red eléctrica en el mercado mexicano.

### **3.2.1 INTRODUCCIÓN.**

La dinámica poblacional en México ha sido creciente en la última década, dado que la tasa de crecimiento media anual pasó de 1.6 a 1.8 en este periodo, México tenía cerca de 93 millones de habitantes, para el año 2002, la población de nuestro país rebasa los 101 millones de habitantes.

Es importante resaltar que en la zona central del país presenta el mayor número de habitantes a nivel nacional con un 32.3% del total, mientras que en la zona noreste del país tiene el menor número de habitantes, dado que solo tiene el 8.8% del total, así mismo la dinámica poblacional de un país, es un

indicador importante para el sector energético, la cual dirige la política, para satisfacer a los consumidores con seguridad, calidad y preciso de oportunidad. (Campos, 2002)

### 3.2.2 TAMAÑO DE LAS VIVIENDAS A NIVEL NACIONAL.

En México, para el año 2010 el número de viviendas rebasó los 24 millones siendo el tamaño de las viviendas un factor que influye directamente en el consumo de energía eléctrica: iluminación y aire acondicionado, con ello el consumo de energía eléctrica es directamente proporcional al número y tamaño de las viviendas.

El INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) brinda información de la estructura y dinámica del país, dicha información es registrada en la Encuesta Nacional Ingreso Gasto de Hogares (ENIGH), la cual presenta los datos de la estructura física de las viviendas dando el número de cuartos registrados por vivienda, esto con el fin de inferir indirectamente el consumo eléctrico de las viviendas. Figura 39. (Campos, 2002)

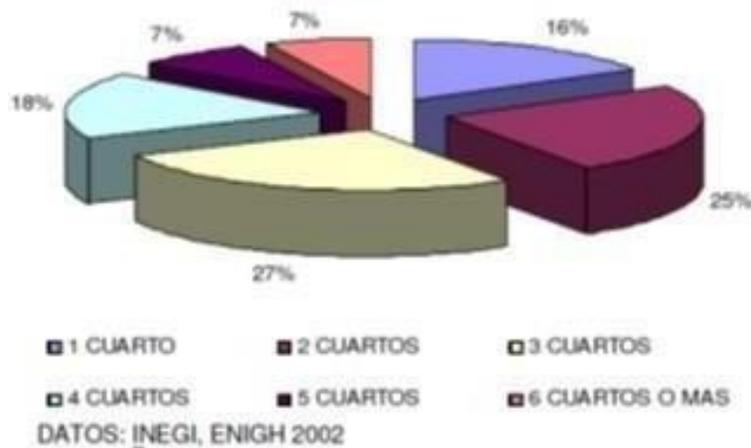


Figura 39.- Tamaño de las viviendas a nivel Nacional (Número de cuartos por vivienda). Fuente: (Campos, 2002)

### 3.2.3 ESTUDIO DEL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL

Llevar a cabo el estudio del mercado eléctrico requiere de la actualización y análisis de la información más reciente sobre el consumo de los diversos sectores de usuarios con la finalidad de identificar, mediante modelos económicos, como el comportamiento histórico de las condiciones económicas,

tecnológicas y demográficas que afectan el nivel y la estructura del consumo eléctrico. Así poder estimar tanto el consumo de energía eléctrica como el estudio económico.

Las tarifas eléctricas se encuentran sujetas a ajustes mensuales, salvo algunas como la residencial (excepto la Domestica de Alto Consumo (DAC)), agrícola y de servicio público, las cuales se efectúan mediante factores fijos, en tanto que el resto lo hace automáticamente con base en la disposición complementaria, aplicable a las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica.

Los factores fijos se autorizan generalmente en forma anual, mediante acuerdos específicos y se relacionan con las estimaciones de la evolución inflacionaria esperada. Por otro lado, el ajuste automático representa incrementos o decrementos en los cargos tarifarios, derivados de los movimientos del costo total, considerando por una parte los combustibles fósiles utilizados en la generación de energía eléctrica y por otra, el resto de los factores de costo.

Los cambios mensuales son en función de:

1. Las variaciones en los precios de los combustibles fósiles;
2. La proporción que representa la generación con estos combustibles en el total.
3. Las variaciones de un promedio ponderado de los Índices de precios productor de tres divisiones industriales seleccionadas (metálica básica, maquinaria y equipo, y otras manufacturas)

Las tarifas sujetas al ajuste automático son las industriales de alta y mediana tensión (HT, HTL, HS, HSL, HM, HMC Y OM), las comerciales (2,3 y 7) y en el sector residencial, la DAC. En consecuencia, la proyección de su precio medio para el periodo de pronóstico 2006-2016, se vincula directamente con la perspectiva de evolución del ajuste automático que resulta de los escenarios económicos y de los precios de combustibles proporcionados por la SENER.

Para el ajuste normalmente anual del resto de las tarifas, en los tres escenarios se han supuesto incrementos asociados a la evolución del índice Nacional de Precios al Consumidor, considerando una ligera racionalización de los subsidios sin que, en ningún caso y en ningún escenario, se alcance el equilibrio de su relación precio/costo. Ver Figura 40. En este grupo se encuentran básicamente las tarifas con subsidio: en el sector residencial las 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y en el agrícola las 9, 9M, 9CU y 9N. (Salgado, 2009)

### Tasas de crecimiento del valor de la vivienda - Nivel Nacional

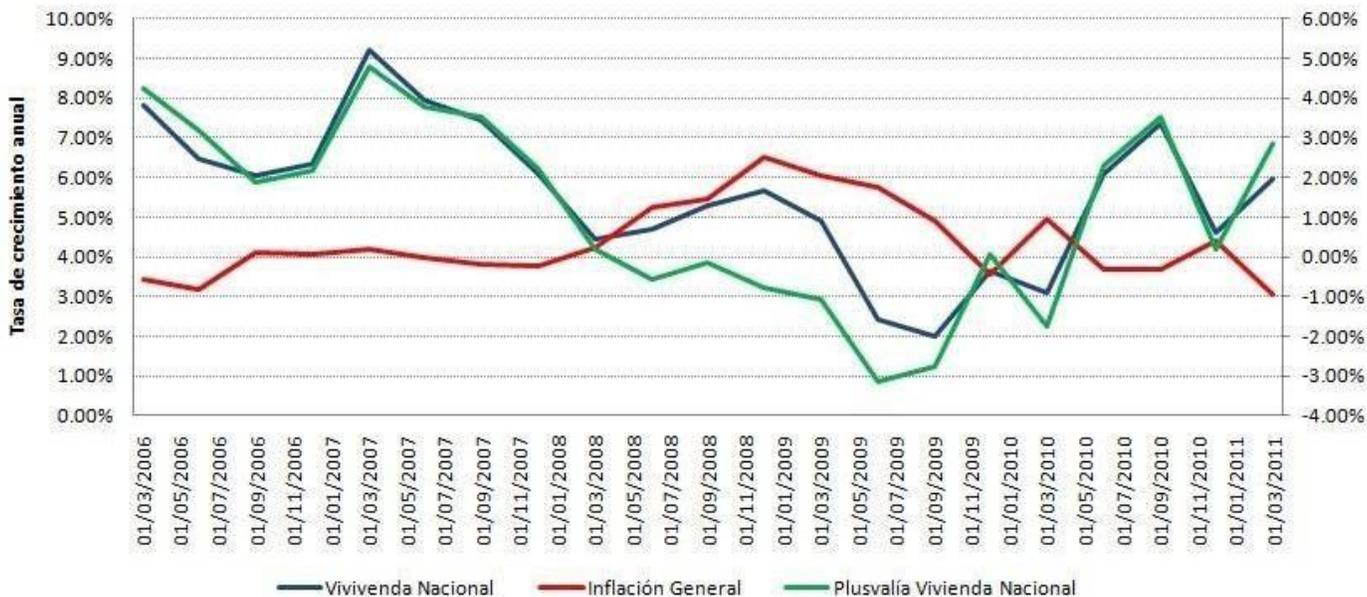


Figura 40.- Relación precio/costo de taifas residenciales y agrícolas. FUENTE: (ayud, 2007)

### 3.2.4 FUNDAMENTOS

La Ciudad de Fresnillo es uno de los 58 municipios del estado de Zacatecas, México. La cabecera Municipal es la Ciudad de Fresnillo de González Echeverría. El municipio es el de mayor importancia económica y el de mayor población en el estado y está localizado en el centro de éste a 60 km al norte de la capital.

De acuerdo a los datos presentados por el INEGI (2011), en el Municipio de Fresnillo, el total de usuarios de energía eléctrica asciende a 72,016 y el volumen de venta de energía eléctrica (Megawatts-hora) es de 389,050. El valor de ventas de energía eléctrica (Miles de pesos) es de 440,429. El estudio se centra en el Fraccionamiento Villas de Plateros, cuenta con 125 casas habitación del tipo interés social (Figura 41), por lo que para el estudio del consumo de energía eléctrica en dicha colonia ha tomado una muestra del 10% del total de las viviendas analizando el recibo de CFE para las casas habitación.



Figura 41.-Fraccionamiento Villas de Plateros Fresnillo,Zac.Fuente:(Panoramasociodemográfico de Zacatecas, 2011)

Una casa de interés social consta de un terreno de 90 m<sup>2</sup>, y de construcción con 2 recamaras, baño, cocina, sala-comedor, patio de servicio y cochera, (Figura 42).



Figura 42.- Plano de una casa de interés social. Fuente: (Panorama sociodemográfico de Zacatecas, 2011)

Se estima para cada vivienda contiene los siguientes aparatos electrodomésticos y potencia total como se describe en la siguiente tabla 2:

Cantidad	Equipo	Potencia (w)
1	Refrigerador	215
1	Microondas	1200
2	Televisores	60
1	Licudora	350
1	Planchas	1200
1	Lavadora	480
1	Secadora	500
1	PC	200
7	Alumbrado	40
	<b>Potencia Total</b>	<b>4545</b>

Tabla 2.- Potencia de Equipos electrodomésticos en casas de interés social. Fuente: Elaboración propia

Se realiza un análisis del consumo de energía eléctrica verificando los recibos que emite la comisión Federal de Electricidad en los que se puede observar el tipo de tarifa y el uso en el consumo, así mismo se verifica la estimación de consumo durante un año y el pago por facturación, los cuales se presenta a continuación el análisis en 10 viviendas. (Ver Tabla 3).

	Periodo		Promedio	Consumo	Consumo	Pago	Pago	Promedio	Facturación
			Consumo	Máximo	Mínimo	Facturación	Facturación	Pago	
			kWh	kWh	kWh	Máxima	Mínima	Facturación	
Vivienda 1	25-Abr-13	26-Feb-15	335	643	221	1561	221	536	DAC
Vivienda 2	29-Mar-13	29-Ene-15	317	619	115	1482	127	427	DAC
Vivienda 3	18-Feb-13	16-Oct-15	271	762	31	1986	51	428	DAC
Vivienda 4	24-Abr-13	25-Feb-15	291	332	256	494	271	359	Básico Intermedio Excedente
Vivienda 5	24-Abr-13	25-Feb-15	180	216	145	227	148	184	Básico Intermedio
Vivienda 6	24-Abr-13	25-Feb-15	253	285	222	329	229	273	Básico Intermedio
Vivienda 7	21-May-13	19-Mar-15	288	383	214	610	213	343	Básico Intermedio
Vivienda 8	19-Ago-13	23-Feb-15	121	269	1	286	48	154	Básico
Vivienda 9	23-Abr-13	24-Feb-15	115	174	62	176	59	114	Básico
Vivienda 10	16-Ago-12	17-Feb-15	372	1328	240	1394	258	457	DAC

Tabla 3.- Consumo de energía eléctrica en vivienda por periodo. Fuente: Elaboración propia

Analizando el comportamiento de consumo eléctrico dentro de las muestras, se ha tomado como referencia tanto el promedio de consumos de energía eléctrica en cada vivienda como los pagos de facturación en un periodo comprendido desde el año 2012 a marzo del 2015, con el fin de determinar las variaciones para cada vivienda ya que en ocasiones en la facturación de cada vivienda se detecta que sobrepasa la tarifa de facturación al cargo por excedente.

### 3.2.5 PROCEDIMIENTO

La comparativa del promedio de consumo (kWh) (Figura 43) y el promedio de pago de facturación (Figura 44), con respecto a cada periodo, en cada una de las viviendas se muestra, que en las viviendas 1, 2, 3 y 10 se presenta un consumo y el pago de facturación más alto, que en lo representativo con respecto a las otras viviendas (Figura 45).

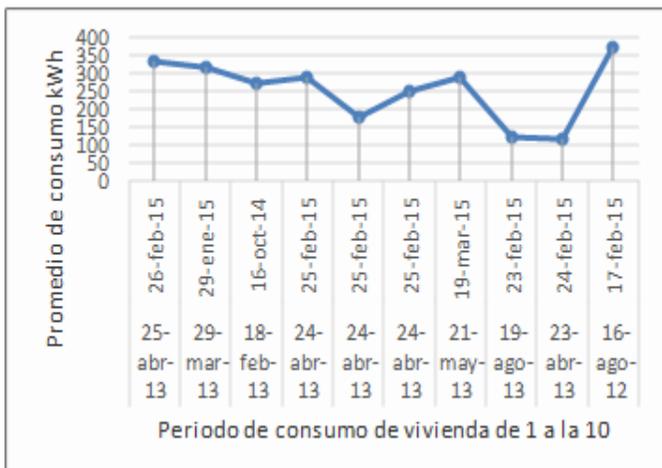


Figura 43.- Promedio de consumo (kWh)- periodo por vivienda



Figura 44.- Promedio de pago de factura por vivienda



Figura 45.- Comparativo promedios consumo-pagos de facturación. Fuente: Elaboración propia.

Se ha tomado como referencia el estadístico entre los promedios de los consumos de energía eléctrica en las viviendas con respecto al promedio de pago de facturación destacando que para las viviendas 1, 2, 3 y 10 dentro de la tabla de frecuencias representa un alto pago de facturación así como el consumo de energía eléctrica de dichas viviendas, ha sido muy elevado, ya que al analizar el historial de consumo, en sus recibos se detecta que sobrepasan el consumo permitido para no

generar cargos adicionales (Figura 45), es decir que se genera un cargo por sobrepasar el consumo de energía eléctrica a un nivel de tarifa DAC que estipula la CFE para la tarifa 01 de uso doméstico, como se describe en la siguiente tabla (Tabla 4):

Concepto	kWh	Precio
Básico	150	0.809
Intermedio	<150-280>	0.976
Excedente	280<	2.859

Tabla 4.- Cargo en consumo de energía eléctrica para tarifa 01 uso Doméstico. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.6 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez determinado el alto consumo para las viviendas antes mencionadas se ha revisado el historial de consumo (recibo de CFE) en caso específico para la vivienda N° 10 (Figura 47); analizando que dentro del periodo del 16 Ago 12 al 17 Feb 15, se ha detectado un alto consumo de energía en el periodo del 16 Ago 12 al 03 de Jun 13, hasta 1328 kWh, y un pago de facturación de \$1394.00 (Figura 47) lo que nos indica que ha sobrepasado el cargo a excedente a una tarifa DAC. Por lo que se estima que en los casos de las viviendas 1, 2 y 3 se ha considerado la misma situación de excedente en los consumos a tarifa DAC.

Nivel	Count	Prob
V-9 115	114	0.03481
V-8 121	154	0.04702
V-5 180	184	0.05618
V-6 253	273	0.08336
V-3 271	428	0.13069
V-7 288	343	0.10473
V-4 291	359	0.10962
V-2 317	427	0.13038
V-1 335	536	0.16366
V-10 372	457	0.13954
Total	3275	1.00000

Figura 46.- Promedio de consumo kWh

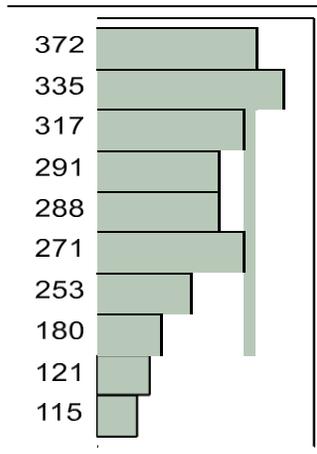


Tabla 5.- Frecuencias de Consumos Históricos



Figura 47.- Historial de Consumo en Vivienda 10. Fuente: Elaboración Propia

El disponer de estos análisis nos da un pronóstico acerca del consumo anual (Tabla 5), en función de los factores que lo determinan y que dan un valor para establecer parámetros de crecimiento para conocer la infraestructura necesaria para satisfacer la demanda (Figura 46).

La generación de energía eléctrica abarca todas las tarifas, sin embargo, las ventas para uso en servicio doméstico son consideradas de interés social ya que impacta directamente en la vida y economía de todos los mexicanos. Estar en posibilidades de pronosticar el consumo de energía eléctrica y conocer los factores que lo determinan permite realizar anticipadamente una mejor planeación y gestión de los recursos para llevar a cabo la infraestructura que satisfaga de manera más eficiente la demanda generada por los hogares ubicados en toda el área del municipio.

Se analiza en la siguiente Figura 48, una muestra representativa del recibo de CFE, en una casa de interés social, en la que se puede observar el historial de consumo en el periodo de dos años, mostrando un comportamiento en el consumo uniforme, así mismo se analiza en la facturación en los conceptos que excede la carga permisible para una tarifa 01 de uso doméstico hasta por 12kWh lo que indica que se debe cobrar un cargo en el pago de la facturación.

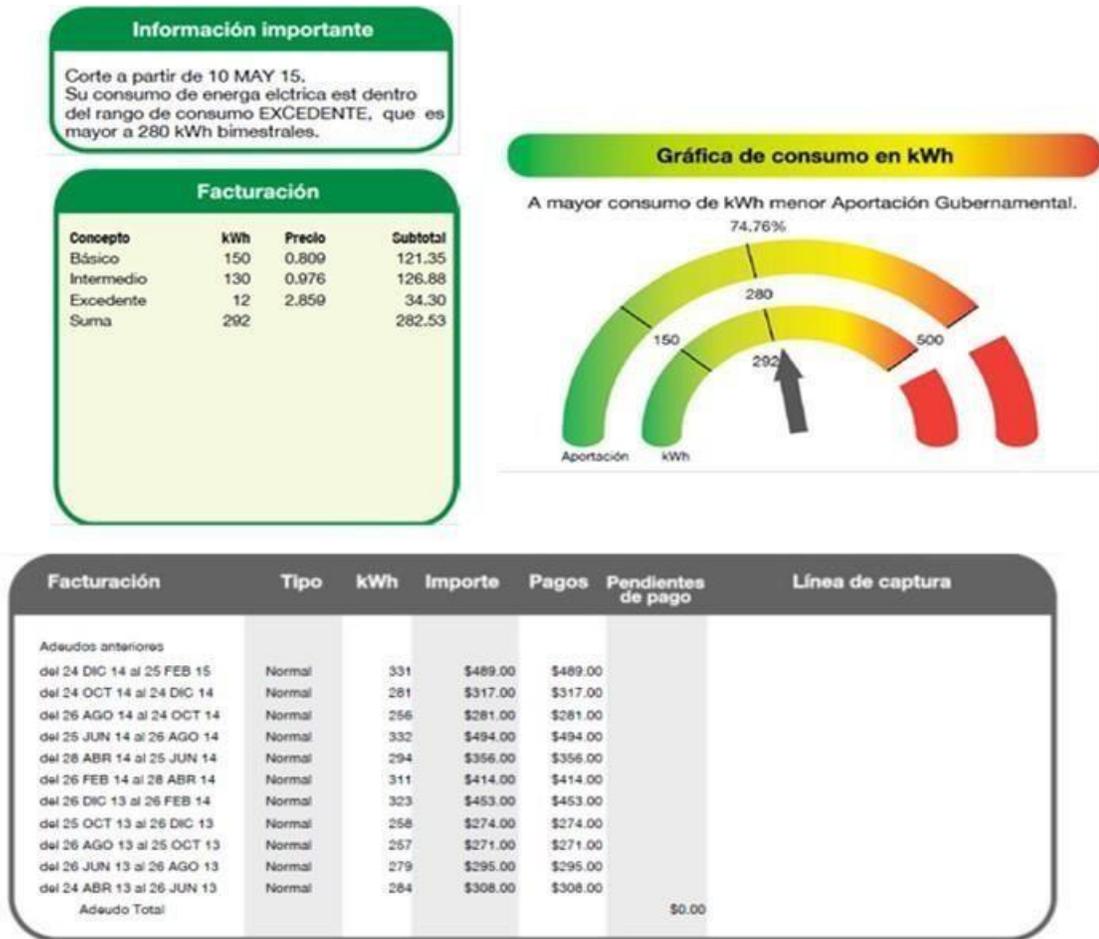


Figura 48.- Ejemplo de Recibo de CFE en casa de Interés social. Fuente: Elaboración Propia

### 3.3 ELECCIÓN DEL NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS.

Para el cálculo, diseño e instalación del sistema fotovoltaico se requiere seguir los pasos como se mencionan a continuación:

- Determinación de la carga
- Calculo de la energía consumida (Recibo de CFE)
- Selección del Módulo Fotovoltaico (FV) e inversor
- Cálculo de los módulos FV

- e. Cálculo del arreglo panel FV
- f. Determinación del Número de Inversores
- g. Dimensiones del arreglo panel FV
- h. Determinación del área adecuada
- i. Cálculo e inclinación de sombras y distancia entre paneles FV
- j. Diagrama de distribución de módulos FV
- k. Diagrama de conexión de Módulos
- l. Instalación y anclaje de paneles FV
- m. Selección de Conductores y protecciones
- n. Diagrama Unifilar.

Descripción de cada uno de los pasos que marca la metodología descrita anteriormente:

1. Para realizar el cálculo del sistema fotovoltaico, se debe obtener la carga instalada de equipos electrodomésticos en casa o comercio que sobrepasa a una tarifa DAC.
2. Se calcula la energía consumida en base a las horas en que se utilizan los equipos electrodomésticos, para esto se toma en cuenta el consumo registrado en el recibo de CFE.
3. Se selecciona el módulo fotovoltaico e inversor de un fabricante para conocer los datos y características eléctricas.
4. Calcular el número total de paneles FV que sean adecuados para la carga instalada.
5. Se calcula el arreglo de paneles FV dependiendo de las especificaciones de entrada/salida del inversor y panel.
6. Cálculo del número de inversores de acuerdo al número del arreglo del sistema fotovoltaico.
7. Una vez determinado el número de paneles FV se procede a calcular el área total de ocupación, en caso de exceder el área disponible se debe volver a seleccionar el módulo FV e inversor.
8. Cálculo de la inclinación, sombras y distancia entre paneles que son necesarios para un buen uso y aprovechamiento de estos.
9. Diagrama de distribución de los paneles sobre el área seleccionada.

10. Diagrama de instalación eléctrica de los paneles FV sobre el techo del edificio, incluyendo la conexión serie y paralelo.
11. Diagrama de anclaje de los paneles FV sobre el área seleccionada.
12. Cálculo y selección de los conductores de acuerdo a la normatividad.
13. Realización del diagrama Unifilar.

Obtenida la energía consumida diariamente, se selecciona los módulos FV. Una de las principales razones para la selección de los módulos es la eficiencia y su potencia pico, ya que a mayor eficiencia y potencia, menor número de módulos por instalación y área a utilizar. Una de las recomendaciones es utilizar módulos poli-cristalinos de 250 Wp (Figura 49), ya que su potencia es una de las más altas en su clase y su material tiene una mayor eficiencia a comparación de otros materiales, además de que permite al módulo operar sin problemas en múltiples configuraciones de montaje.

### 3.3.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Considerando las especificaciones de salida del módulo FV de la Figura 49, las H.S.P. (Horas de sol pico) y la energía obtenida ( $E_c$ ) de acuerdo al consumo de energía en las casas de interés social, se calcula el número de módulos que necesita en sistema de acuerdo a la siguiente fórmula.

<b>CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS</b>		
Celdas	Policristalino 156mm x 156mm cuadrado, 6 x 10 piezas en serie	
Tamaño	1640mm (L) x 992mm (W) x 40mm (H)	
Peso	19 kg	
Vidrio frontal	3.2mm vidrio templado	
Marco	Aleación de aluminio anodizado	
Cable	4mm2(IEC) / 12AWG(UL), 900mm	
Caja de conexión	IP 67	
<b>PARÁMETROS</b>		
Temperatura de funcionamiento	De -40 a +85 °C	
Diámetro de una bola de granizo @80 km/h	Hasta 25 mm	
Capacidad de carga máxima de la superficie	Hasta 5400Pa	
Fusibles en serie	15A máximo	
IEC Tipo de aplicación (IEC61730)	A	
Resistencia al fuego (UL 1703)	C	
Tensión máxima del sistema	DC 600V(UL)/1000V(ETL)	
<b>VALORES TÍPICOS ELÉCTRICOS</b>		
Modelo	PS250P-20/U	
Potencia nominal (Pm)	250W	
Corriente nominal (Im)	8.30A	
Tensión nominal (Vm)	30.2V	
Corto circuito (Isc)	8.70A	
Circuito abierto (Voc)	37.8V	
Eficiencia del módulo (%)	15.37	
<b>CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA</b>		
NOCT (Operación nominal de la temperatura de la celda)	45°C±2°C	
Coefficiente de la temperatura del voltaje	-0.31%/K	
Coefficiente de la temperatura de la corriente	+0.07%/K	
Coefficiente de la potencia	-0.40%/K	
<b>LUZ DÉBIL</b>		
Intensity [W/m2]	Impp	Vmpp
1000	1.0	1.000
800	0.8	0.996
600	0.6	0.990
400	0.4	0.983
200	0.2	0.952

Figura 49.- Módulo Fotovoltaico policristalino de 250 Wp. Fuente: Hoja Técnica Conermex

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = \frac{E_c}{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot \text{H.S.P.}} \dots \dots \dots (7)$$

*Ecuación 7.- Determinación del Número de Módulos.*  
*Fuente: (Francisco Adrián Loaeza Salcedo, 2012)*

Numero de módulos necesarios para cubrir la demanda de energía consumida en casas de interés social tomando en cuenta la selección del módulo FV como son voltaje de circuito abierto (Voc), corriente de corto circuito (Isc) y las horas de sol pico (Horas de aprovechamiento de la radiación solar).

### 3.3.2 CÁLCULO DEL ARREGLO DE LOS PANELES FV.

Para calcular el número de filas de módulos en serie que se va a conectar para un inversor, se emplea (Ec.8) y para calcular el número de columnas de módulos se emplea (Ec. 9). El arreglo de los paneles FV se determina con base a las especificaciones de entrada del inversor y especificaciones de salida del panel FV.

$$N^{\circ} \text{ de Filas en Serie} = \frac{V_{inv}}{V_M} \dots \dots \dots (8)$$

*Ecuación 8.- Numero de Filas en seria. Fuente: (Francisco Adrián Loaeza Salcedo, 2012)*

$$N^{\circ} \text{ de ramas en Paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_M} \dots \dots \dots (9)$$

*Ecuación 9.- Numero de ramas en paralelo. Fuente: (Francisco Adrián Loaeza Salcedo, 2012)*

El arreglo fotovoltaico no necesariamente tiene que tener la configuración, ni el número de módulos, esto solo se refiere a las conexiones en serie y paralelo entre los módulos para tener las condiciones necesarias de entrada del inversor.

### 3.3.3 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE LOS INVERSORES.

Tomando el total de módulos del arreglo y el número de módulos que necesita el sistema FV para cubrir la carga, el número de inversores se obtiene por:

$$N^{\circ} \text{ de Inversores} = \frac{M}{N^{\circ} \text{ de módulos del Arreglo}} \dots \dots \dots (10)$$

Para asegurar que los inversores cubren la potencia requerida por la carga del edificio, se hace la siguiente comprobación, multiplicando el número de inversores por la potencia de salida del inversor, como se especifica por:

$$\text{Potencia Requerida} = N^{\circ} \text{ de Inversores} * \text{Potencia del Inversor} \dots \dots \dots (11)$$

El valor de la potencia total de los inversores debe ser mayor que la potencia total de la carga para que el número de inversores sea el adecuado.

### 3.3.4 CÁLCULO DE INCLINACIÓN, SOMBRAS Y DISTANCIA ENTRE PANELES.

Teniendo en cuenta que la trayectoria del Sol durante un día es de Este a Oeste (Figura 50), pero la trayectoria durante un año es de Norte a Sur se requiere que los paneles fijos se coloquen inclinados hacia el sur (Figura 51). El ángulo óptimo del panel que garantice su mejor aprovechamiento varía de acuerdo al lugar, por lo que el cálculo de inclinación del panel FV se obtiene y el valor de la latitud, Por lo que la orientación de la estructura debe estar orientada hacia el sur geográfico (Figura 50) para un mejor aprovechamiento de la radiación.

$$\text{Inclinación} = \text{Latitud del Lugar} + 10^{\circ} \dots \dots \dots (12)$$

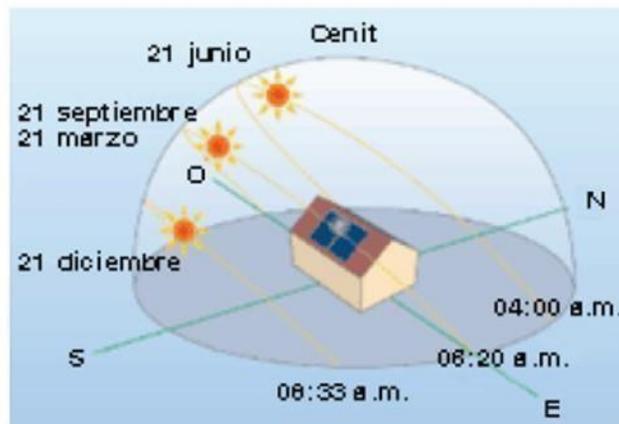


Figura 50.- Trayectoria Solar.

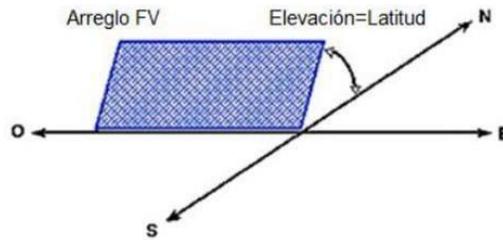


Figura 51.- Orientación de la estructura fija para maximizar la captación de la radiación solar a lo largo del año.

La distancia entre paneles se establece de tal forma que al medio día, la sombra de la arista superior del panel se proyecte, como máximo, sobre la arista inferior del panel siguiente, como se observa en la Figura 52.

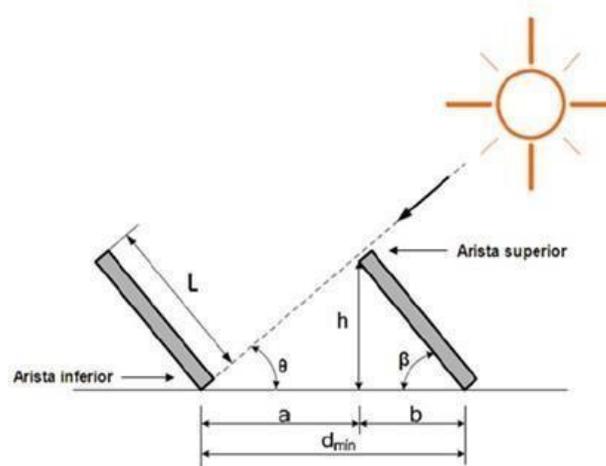


Figura 52.- Distancia mínima entre aristas de paneles.

Donde:

$d_{min}$ : Distancia mínima entre aristas de paneles para evitar sombras, [m].

L: Longitud del panel (columna de módulos en paralelo), [m].

H: Altura solar al medio día, [m].

$\beta$ : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal. [Grados]

$\Theta$ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal. [Grados]

A: Distancia de la arista inferior de un panel a la arista inferior del otro, [m].

B: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior del mismo respecto a la horizontal, [m].

### 3.3.5. ESTRUCTURA SOPORTE Y MONTAJE

A la hora de hacer un montaje, con respecto a la estructura, tendremos en cuenta los siguientes aspectos:

- La forma de la estructura estará basada en correcta utilización de los paneles, altura sobre el suelo y separación entre filas.
- La posición de los paneles hará prever una separación entre ellos de al menos 3 cm, para que el aire pase y reduzca las cargas del viento.
- La posición de los paneles facilitará la conexión entre los mismos.
- La forma de la estructura y los anclajes de los paneles se diseñarán de forma que se retenga el agua de lluvia.
- En estructuras no analizadas podremos montar con distintos ángulos de inclinación la estructura, según la latitud del lugar.
- También tendremos en cuenta la posibilidad de ampliar la estructura fácilmente.

El bastidor es el encargado de sujetar el panel solar y se suele proveer con kits de montaje para instalarlo adecuadamente, y si no son proporcionados, el instalador los realizará de acuerdo a la normativa existente (además de tener en cuenta la fuerza del viento, entre otras, evitando el desprendimiento de los mismos por acción de vientos huracanados, por los que tendrá que soportar como mínimo una velocidad el viento de 150 Km/h). Esta estructura fijará la inclinación de los paneles solares, la cual se realiza como:

- 20° más de la latitud del mayor durante el invierno para instalaciones de servicios eléctricos.
- 15° más de la latitud del mayor para electrificación durante todo el año en viviendas, bombas de agua y funciones uniformes.
- Igual que la latitud del lugar en primavera o verano.

Esta variación de la inclinación la haremos para captar toda la energía solar posible, si no se dispone de ninguna otra forma de energía alternativa.

Hay varios tipos de estructuras: desde un simple poste que soporta hasta 4 paneles solares, hasta grandes estructuras de vigas aptas para aguantar varias decenas de ellos.

Para anclar los paneles se utiliza hormigón y tornillos de rosca (acero inoxidable), siendo tanto la estructura como los soportes de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodizado, de espesor de chapa debiendo dejar una altura mínima entre el suelo y el panel, no obstante es

aconsejable consultar las Normas de instalaciones eléctricas (Figuras 53 y 54).



*Figura 53.- Montaje de paneles solares sobre piso con guía de inclinación*



*Figura 54.- Montaje de paneles solares ya con inclinación y separación entre paneles definida sobre techo.*

### **3.3.6 SELECCIÓN DEL CABLEADO**

De acuerdo a las Normas de Instalaciones eléctricas (NOM-001-SEDE-2012) menciona las siguientes recomendaciones para la selección del cable conductor para un sistema fotovoltaico.

- **Capacidad de conducción de corriente eléctrica y dispositivos de protección contra sobrecorriente.** La capacidad de conducción de corriente eléctrica de los conductores y la especificación o ajuste de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito

de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menores a 125% de la corriente eléctrica calculada.

- **Cable conductor dúplex.** Se permite cable tipo THW en circuitos de la fuente fotovoltaica, cuando se instalen a la intemperie y expuestos a los rayos del sol.
- **Cables y cordones flexibles.** Cuando se usen cables y cordones flexibles para conectar las partes móviles de seguidores solares, se debe cumplir con las normas y deben ser cordones extra uso rudo adecuados para uso en intemperie y resistentes al agua y a la luz del sol.

La selección de cable conductor se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$S = \frac{4 * l * i}{V_{ab} * \phi} \dots \dots \dots (12)$$

*Ecuación 12.- Selección del conductor. Fuente: (Puebla, 2004)*

Donde:

*l* : Longitud del cable (m)

*i* : Intensidad de la corriente (amp)

*V<sub>ab</sub>* : Tensión de alimentación (v)

*ϕ* : Caída de tensión (%)

Para la puesta a tierra se hacen referencia las siguientes recomendaciones:

- Puesta a tierra del sistema:** Para una fuente de energía fotovoltaica, un conductor de un sistema de dos conductores especificado a más de 50V o un conductor neutro de un sistema de tres conductores, deben ser puestos a tierra solamente.
- Puesta a tierra del equipo:** Las partes metálicas de los marcos de los módulos, del equipo y de las envolventes de conductores que no lleven corriente eléctrica, deben ser puestas a tierra sin importar la tensión eléctrica.
- Tamaño nominal del conductor de puesta a tierra del equipo.** En sistemas donde la

corriente eléctrica de corto circuito disponible de la fuente fotovoltaica sea menor que dos veces la corriente eléctrica especificada del dispositivo de protección contra sobrecorriente, el conductor de puesta a tierra del equipo, no debe ser menor tamaño nominal al requerido para los conductores del circuito.

**d) Capacidad del conductor neutro puesto a tierra:** Si una unidad de acondicionamiento de energía monofásica, dos hilos, se conecta al neutro puesto a tierra y un solo conductor de fase de un sistema de tres hilos o a un sistema trifásico estrella de cuatro hilos, la suma de la carga máxima conectada entre el neutro puesto a tierra y cualquier conductor de fase, más la capacidad de salida de la unidad de acondicionamiento de energía, no debe exceder la capacidad de conducción de corriente del conductor neutro puesto a tierra.

La prestación más demandada para un cable fotovoltaico es la de ofrecer una vida útil de al menos 25 años de perfecta funcionalidad en cualquier instalación fotovoltaica que esté correctamente diseñada y en adecuadas condiciones de uso y mantenimiento durante ese periodo. Las principales características de un cable se pueden resumir en tres conceptos:

- Resistencia térmica, que se comprueba mediante ensayos de endurance térmica.
- Resistencia climática (UV, frío, humedad), que se comprueba mediante ensayos de resistencia a la intemperie.
- Resistencia al incendio, que se comprueba mediante ensayos específicos de incendio.

Los materiales de aislamiento y de cubierta han de ser de alta calidad, reticulados, de alta resistencia mecánica además de flexible. El conductor de los cables del cableado de los módulos y hasta la caja de conexiones debe estar estañado, ya que confiere una mayor resistencia a la posible corrosión por oxidación.

### **3.3.7 PROTECCIONES**

Para proporcionar seguridad tanto a los equipos que forman la instalación solar fotovoltaica como al personal encargado de su mantenimiento y correcta operación, es necesario proporcionar una serie de elementos de protección que aseguren una explotación correcta de la instalación.

Al igual que para el cálculo del cableado de la instalación, el cálculo de protecciones se realizará independientemente para cada uno de los circuitos que forman la instalación, diferenciado entre tramos de corriente continua y de corriente alterna, ya que las protecciones deberán ser distintas para cada tramo dependiendo de la naturaleza continua o alterna del tramo y al valor de corriente

admisible por los conductores. Aunque los fusibles e interruptores para corriente continua son diferentes a los de corriente alterna, su cálculo es similar.

El cálculo de protecciones se realiza dividiendo la instalación en dos grupos, uno de corriente continua y otro de corriente alterna, cada grupo será a su vez dividido en los diferentes tramos de cableado que forma la instalación solar fotovoltaica.

### 3.3.7.1 PROTECCIONES DE CC

Las interrupciones de corrientes presentan mayores problemas con redes en corriente continua que en corriente alterna. En la corriente alterna existe un paso natural de la corriente por el cero en cada semiperiodo, al cual corresponde un apagado espontaneo del arco que se forma cuando se abre el circuito. En la corriente continua esto no sucede y, para extinguir el arco, es preciso que la corriente disminuya hasta anularse. Es necesario que la interrupción se realice gradualmente, sin bruscas anulaciones de la corriente que darían lugar a elevadas sobretensiones.

El esquema unifilar de la instalación, muestra que los tramos pertinentes a la parte de potencia continua son tres, que se encuentran entre los paneles solares fotovoltaicos y la entrada al inversor.

#### a) Módulos solares a Caja de conexiones de grupo.

Este tramo estará protegido contra sobre intensidades mediante fusibles en cada uno de los ramales módulos del generador fotovoltaico que provoquen la apertura del circuito en caso de producirse una corriente superior a la admisible por los equipos o conductores de la instalación. Cada ramal poseerá dos fusibles de idénticas características eléctricas, uno para el conductor de polaridad positiva y otro para el de polaridad negativa.

#### b) Caja de conexión de grupo a Caja de conexiones de generador fotovoltaico.

Este tramo estará protegido por tres elementos:

- **Descargador:** Las instalaciones fotovoltaicas que se caracterizan por ocupar extensas superficies están especialmente expuestas a las descargas atmosféricas y las consiguientes sobretensiones transitorias. Las consecuencias de estas sobretensiones son la reducción del rendimiento y la vida de la instalación. El uso de protecciones contra sobretensiones garantiza la optimización del rendimiento de la instalación y en consecuencia se muestra como una decisión altamente rentable.
- **Los protectores de sobretensión** descargan a tierra los picos de tensión transitorios que se

transmiten a través de los cables de la instalación eléctrica.

Las protecciones contra sobretensiones de tipo atmosférico pueden ser de dos clases:

- Clase I: La protección contra sobretensiones de Clase I están destinados a ser instalados en las extremidades de las líneas exteriores de una instalación fotovoltaica para protegerla contra impactos directos de rayo. Este tipo de protecciones no se utilizará en esta instalación al no ocupar mucho terreno y tratarse de una zona de bajo riesgo de impacto directo por un rayo (Figura 55).



*Figura 55.- Protección contra sobretensiones de Clase I*

- Clase II: Las protecciones de clase II se destinan a la protección de las redes de alimentación fotovoltaica contra las sobretensiones transitorias debidas a descargas atmosféricas indirectas que se producen a una determinada distancia de la instalación fotovoltaica e inducen una sobretensión (Figura 56).



*Figura 56.- Protecciones de clase II*

Para la elección de la protección contra sobretensiones a utilizar en la instalación, se tendrá en cuenta la tensión máxima de funcionamiento que puede producirse en el generador fotovoltaico para escoger un descargador que soporte dicha tensión. Esta tensión máxima aparece cuando los paneles trabajan en condiciones de circuito abierto y a una temperatura ambiente de  $-5^{\circ}\text{C}$ .

- Interruptor-seccionador: Los interruptores de continua que se instalarán en este tramo de la instalación, tendrán la función de aislar las zonas del generador para labores de mantenimiento de los módulos solares como limpieza y reparación de incidencias. Se colocará un interruptor de este tipo por cada subgrupo de ramales del generador fotovoltaico y al abrirlos proporcionará un aislamiento eficaz de los ramales pertenecientes a subgrupo de interruptor.

Para la elección de los interruptores-seccionadores (Figura 57) se tendrá en cuenta dos parámetros, la tensión de servicio de la línea y la corriente que deben ser capaces de interrumpir al abrirse. Para esta instalación dichos parámetros vendrán dados por la corriente de cortocircuito que pueda producirse en cada panel por el número de ramales que conecta el interruptor-seccionador y la tensión máxima de servicio será la tensión máxima que pueda darse en la instalación, es decir bajo condiciones de circuito abierto y a una temperatura ambiente de  $-5^{\circ}\text{C}$ .



*Figura 57.- Interruptor-seccionador*

Dependiendo de la tensión de servicio a la cual va a trabajar el interruptor, se utilizará un número de polos determinado, es decir, cuanto mayor sea la tensión de servicio de la instalación, se deberá aumentar el número de interruptores de corriente y, por consiguiente, el número de polos conectado en serie.

- Fusible: además de un descargador de sobretensiones y un interruptor-seccionador, en cada línea de este tramo de corriente continua donde se conectan subgrupos de ramales de módulos del generador fotovoltaico, se instalarán fusibles para la protección contra sobrecorrientes para evitar que se sobrepasen valores de corriente superiores a las admisibles por los conductores y equipos de la instalación.

Al igual que en los interruptores-seccionadores se colocarán dos fusibles por cada tramo, uno para cada uno de los conductores de polaridad positiva y otro para cada uno de los conductores de polaridad negativa dentro de la caja de conexiones (Figura 58) para cada sección del sistema.



*Figura 58.- Caja de Conexión porta-Fusible*

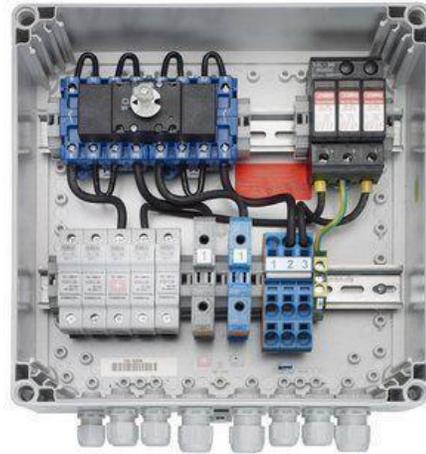
- Magnetotérmico: Estos dispositivos son aparatos modulares con distinto número de polos, unipolares, bipolares, tripolares y tetrapolares. Tienen incorporados un disipador térmico y otro magnético, actuando sobre un dispositivo de corte de lámina bimetálica y el electroimán.

La tensión de servicio para este dispositivo Magnetotérmico (Figura 59) varía dependiendo del número de polos que se conecten en serie. La tensión de salida del generador fotovoltaico en condiciones de circuito abierto y temperatura ambiente deben ser considerados, suficiente para los módulos solares.



*Figura 59.- Interruptor Magnetotérmico*

Los equipos destinados a la protección de este último tramo de corriente continua se dispondrán en una caja de conexiones (Figura 60). A esta caja llegarán los conductores con su respectiva polaridad.



*Figura 60.- caja de conexiones*

### **3.3.7.2 PROTECCIONES DE CA**

Las protecciones de alterna estarán protegiendo al inversor, para la protección de los circuitos y conexión a red de la instalación una vez que sea convertida la corriente continua proveniente de los módulos solares a corriente alterna para la inyección a red.

Las protecciones de corriente alterna se diseñarán para la protección del último tramo del circuito que deberá acogerse a la normativa vigente sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión y además tener en cuenta los requisitos de conexión de la empresa en el punto de conexión a red de la instalación fotovoltaica como se describe a continuación:

- Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia así como de mínima y máxima tensión.
- Interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico con intensidad de corto circuito superior a la indicada por la empresa de distribución en el punto de conexión. Este interruptor será accesible a la empresa distribuidora en todo momento, con objeto de poder realizar la desconexión manual.
- Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte continua de la instalación.
- Interruptor automático de la interconexión para la desconexión/conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto al relé de enclavamiento.

- La puesta a tierra de la instalación fotovoltaica interconectadas se hará siempre de forma que no se alteren las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos de la red de distribución. La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, bien sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones.

El inversor utilizado en la instalación puede incorporar alguna de estas protecciones antes mencionadas, además este inversor posee un transformador por tanto proporcionará la separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas exigida por la normatividad.

Por consiguiente, las protecciones que se instalarán en este tramo son: un interruptor general manual (magnetotérmico) y un interruptor automático diferencial, fusible incorporado en la interconexión ya que su actuación es más rápida que la de los magnetotérmicos.

Interruptor general manual: Se trata de un interruptor magnetotérmico (Figura 61) similar al utilizado en corriente continua, pero en este caso protegerá en corriente alterna.



*Figura 61.- Interruptor general manual*

El valor de la intensidad nominal de funcionamiento (Ecuación 14) que circulará por el tramo vendrá dado por la potencia máxima que el inversor pueda entregar a la red y se calculará mediante la siguiente fórmula para un sistema de 1F – 2H.

$$I = \frac{P}{V} \dots \dots \dots (14)$$

*Ecuación 14.- Intensidad Nominal de Funcionamiento (Puebla, 2004)*

Además de las condiciones estándar que deben cumplir todos los interruptores de este tipo, el magnetotérmico utilizado en este tramo debe tener una capacidad de corte igual o superior a la intensidad de cortocircuito.

## **CAPITULO 4. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES**

La idea de este capítulo se centra principalmente en varios factores en los que desde el punto de vista de la necesidad del ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, nace de la economía de los hogares debido a la alta demanda de energía eléctrica de consumo en las viviendas que ha generado una extensión en la instalación de los sistemas de generación para cubrir dicha demanda, uno de las principales aportaciones de este tema es conocer el consumo general en las viviendas de acuerdo a su condición social ya que se estima en general un consumo bimestral promedio de 282kWh, considerando ya los excedentes que por cobro de tarifa se generan dentro de su recibo de CFE. Se ha analizado también que varias viviendas pasan a un nivel de tarifa más alto por sus altos consumos y por no regular sus instalaciones ya que en ocasiones se conectan más equipos de los que habitualmente se tendría en una casa habitación (De tarifa Doméstica) que de acuerdo a los costos por tarifa ya es un costo mayor que se pudiera evitar que es la tarifa DAC.

Dentro de los equipos electrodomésticos en casas habitación en general se ha analizado un factor común que cada vivienda no regula su consumo ya que en ocasiones deja todo el día prendido ya sea el radio o la televisión y/o en ocasiones trabaja muy continuo el horno de microondas y no se diga los equipos antiguos como son los refrigeradores los cuales hacen un incremento considerable en el consumo de energía eléctrica, otro factor que se analizó, es la demanda energética de cada mes, mostrando claramente que en diciembre se incrementa en un porcentaje mayor el consumo de energía eléctrica por la conexión excesiva de adornos navideños y por los sistemas de calefacción en los hogares y más en esta zona del país la cual es muy extrema en condiciones de frío.

### **4.1 FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN CASAS DE INTERÉS SOCIAL.**

Una vez analizado las condiciones de instalación de equipos electrodomésticos y de acuerdo a su consumo en casas de interés social es importante conocer si es viable realizar, un estudio técnico-económico de instalación de un sistema interconectado a red que por sus características deberá contribuir en el gasto familiar.

a) Estudio del número de módulos e inversores para consumo doméstico

Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de distribución, es una forma de incrementar la electricidad en nuestro medio influyendo en el desarrollo y mejora de la calidad de vida de las

personas, porque genera una energía limpia que no produce gases de efecto invernadero. En este tipo de instalaciones toda la energía que se produce se vierte a la red eléctrica general.

Por tal motivo se hace un estudio para determinar si es factible la instalación de un sistema fotovoltaico considerando el consumo en casas de interés social.

Consumo de energía eléctrica y tarifa en casa de interés social. Tomando como datos de carga instalada en casas de interés social una Potencia de 4545 W y un consumo promedio de energía de acuerdo a la Tabla 6.

	Periodo		Promedio	Consumo	Consumo	Pago	Pago	Promedio	Facturación
			Consumo	Máximo	Mínimo	Facturación	Facturación	pago	
			kWh	kWh	kWh	Máxima	Mínima	facturación	
Vivienda 1	25-Abr-13	26-Fbr-15	335	643	221	1561	221	536	DAC
Vivienda 2	29-Mrz-13	29-Ene-15	317	619	115	1482	127	427	DAC
Vivienda 3	18-Fbr-13	16-Oct-15	271	762	31	1986	51	428	DAC
Vivienda 4	24-Abr-13	25-Fbr-15	291	332	256	494	271	359	Básico-Intermedio-Excedente
Vivienda 5	24-Abr-13	25-Fbr-15	180	216	145	227	148	184	Básico - Intermedio
Vivienda 6	24-Abr-13	25-Fbr-15	253	285	222	329	229	273	Básico - Intermedio
Vivienda 7	21-My-13	19-Mrz-15	288	383	214	610	213	343	Básico - Intermedio
Vivienda 8	19-Ago-13	23-Fbr-15	121	269	1	286	48	154	Básico
Vivienda 9	23-Abr-13	23-Fbr-15	115	174	62	176	59	114	Básico
Vivienda 10	16-Ago-12	17-Fbr-15	372	1328	240	1394	258	457	DAC

Tabla 6.- Consumo de energía eléctrica en vivienda por periodo. Fuente: Elaboración propia

Considerando las especificaciones de salida del módulo FV seleccionado (250 W); así como los datos son: ( $V_{oc}=37.8v$ ,  $I_{sc}=8.7amp$ ), las H.S.P. (Horas de sol pico, 4.4) y la energía obtenida de acuerdo a los promedios de consumo sería ( $E_c = 254.3 kWh$ , energía bimestral, lo que corresponde a una energía diaria de 4,238.33 wh) de acuerdo al dato de consumo en las casas de interés social, se calcula el número de módulos que necesita en sistema.

Obtenemos los datos del número de paneles necesario, que para este caso serían 3 módulos

policristalinos de 250W.

Para poder cubrir la demanda y considerando que únicamente se han calculado tres módulos en este caso no es necesario realizar el cálculo del arreglo fotovoltaico ya que únicamente se considera un solo inversor, que para cubrir la energía generada por el sistema fotovoltaico en la casa de interés social se determina mediante el 20% más del total de módulos fotovoltaicos (Ecuación 15) por el que únicamente consideramos un inversor de 1 kW. Potencia del Inversor = (3) \* (250) \* (1.2) = 0.9 kw, del Catálogo Excel Solar Modelo Solis 1 kW 127V-cd. (Figura 62).

$$\text{Potencia del Inversor} = \text{N}^\circ \text{ de Módulos Fotovoltaicos} * \text{Potencia del Módulo} * 1.2 \dots (15)$$

Ecuación 15.- Cálculo de la potencia del Inversor

Fuente: (Francisco Adrián Loeza Salcedo, 2012)

Solis Monofásico, Trifásico y Mini													
Características													
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio rango de voltaje de entrada, diseño Dual MPPT.</li> <li>• Compacto, ligero y de fácil instalación por una sola persona.</li> <li>• Conexión RS 485 e interfaz Wi-Fi (opcional).</li> </ul>													
													
DATOS DE ENTRADA (DC)	Solis 1kW 127V-DC	Solis 1kW 220-DC	Solis Mini 2kW-DC	Solis 3.6kW 2G-DC	Solis 5kW 2G-DC	Solis 1P6K2 4G-DC	Solis 6kW 4G-DC	Solis 8kW 4G-DC	Solis 10kW 4G-DC	Solis 10kW LVDC	Solis 10kW DC	Solis 15kW DC	Solis 30kW DC
Voltaje de entrada	450 V	500 V	600 V						1000 V				
Voltaje de inicio	60 V		120 V						170 V	330 V			
Rango de MPPT	50 - 400 V		100 - 500 V						150-500 V		300 - 800 V		
Corriente nominal MPPT	10 A		10 + 10 A	15 + 15 A	11 + 11 A	10 + 10 + 10 A			15 + 15 A		18 + 18 A	18+18+18+18A	
#MPPT/#Strings	1 / 1		2 / 1		2 / 2		3 / 3			2 / 2		4 / 8	
DATOS DE SALIDA (AC)													
Máxima potencia	1 kW		2 kW	3.6 kW	5 kW	6 kW	8 kW	10 kW		15 kW	30 kW		
Voltaje nominal AC	127 V	208 / 220 / 240 V						440 / 480 V					
Corriente máxima	7.9 A	4.3 A	8.3 A	15.7 A	21.7 A	27.3 A	26.1 A	34.8 A	43.5 A	25/25/24A	14.4/13.2A	19.7/19.8A	45.6 A
Rango de voltaje	100-157 V		180-270 V			160-285 V			177-276 V	313-470 V (ajustable)			
Eficiencia máxima	>96.7%		>97%			>98.1%			>97.2%	>97.5%		>98.3%	
Fases	1		2						3				
DATOS GENERALES													
DC Disconnect	Induye DC Disconnect												
Ancho/Alto/Fondo(mm)	270/417/124			339/565/173			310/543/160		333/573/249		430/600/220		520/676/347
Peso	5.2 kg	5.6 kg	14.5 kg	15.5 kg	11.5 kg	18 kg			30 kg	27 kg	30 kg	50 kg	
Temperatura ambiente	-25 °C ... + 60 °C												
Interfaz / Protección	Wifi (opcional)-GPRS (opcional) /IP65												
Garantía	5 años ampliables a 10 años												

Figura 62.- Datos técnicos de inversores Fuente: Catalogo EXCEL Solar

## b) Estudio de viabilidad técnico-económica

Desarrollando el estudio técnico-económico podemos ver en la siguiente tabla los costos de los equipos:

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Precio Unitario (DlIs)</b>	<b>Precio Total (DlIs)</b>	<b>Precio Total en MXN (18.64)</b>
<b>3</b>	Módulo solar policristalino de 250w	281.33	843.99	\$15,731.97
<b>1</b>	Inversor de conexión a red de 1000 W	1209.05	1209.05	\$22,536.69
<b>1</b>	Lote de estructura caja de conexión y cableado	346	346	\$6,449.44
		<b>Total</b>	<b>DlIs 2400.05</b>	<b>\$44,718.1</b>

Tabla 7.- Costos de material para instalación Fotovoltaica Fuente: Elaboración propia

Realizando un estimado de pago en el recibo de CFE, el promedio de pago es de \$327.00 bimestral, podemos con esto determinar cuánto sería el ahorro con la implementación del sistema conectado a red, como se describe a continuación:

$$Eg = \frac{Pm * N^{\circ} \text{ de Módulos} * H.S.P. * 365 * N^{\circ} \text{ de años } 1000}{\dots\dots\dots(16)}$$

Ecuación 16.- Determinación de la energía generada Fuente: (Francisco Adrián Loaeza Salcedo, 2012)

Sustituyendo los datos de la ecuación 16 obtenemos que los paneles seleccionados generan 30,112.5 kWh a un tiempo de vida de 25 años por lo que al mes obtendríamos una generación de energía de 100.375 kWh, si consideramos que el costo máximo por excedente en la tarifa doméstica es de 2.859\$/kwh, podemos decir que ahorramos \$286.97 ahora podemos obtener el tiempo de recuperación de la inversión que sería con respecto al total de la inversión de \$44,718.1 entre el ahorro mensual de \$286.97 y el tiempo de recuperación de la inversión sería de 155.82 meses (12.98 años). Por lo que podemos considerar que no es viable la instalación en este tipo de consumo en la vivienda.

## **4.2 REGULACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **4.2.1 ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA.**

Durante los últimos años, las organizaciones han visto como la energía ha pasado de representar un factor marginal en su estructura de costos a ser capítulo importante en la misma. Debido al incremento paulatino de su precio, han tenido que afrontar el reto de disminuir la participación de la energía en los costos, o por lo menos mantener su mismo nivel. Para ello, es preciso conocer claramente el tipo y la cantidad de energía que se utiliza en cada uno de los procesos que conforman la operación industrial y determinar las acciones pertinentes para abaratar los costos de producción por concepto de energía, sin afectar la calidad ni la cantidad de producción.

Para lograr lo anterior es necesario implementar u operar un programa de ahorro de energía cuya estrategia central es el ahorro y uso eficiente de la energía. Estos programas mejoran la competitividad, amplían el horizonte energético y liberan los recursos energéticos para destinarlos a otras actividades.

El concepto de administración se encarga de la planificación, dirección y seguimiento de los esfuerzos individuales encaminados hacia el mejor uso de los recursos. Es por ello, que la administración de la energía debe estar firmemente apoyada por un programa de conservación de energía, encargado de reducir el despilfarro de la misma, la mayor utilización por parte de los consumidores (uso racional) y la sustitución de fuentes energéticas.

Así la definición e implementación de un programa de ahorro de energía se inserta dentro de un programa global de administración de la energía. Este programa de ahorro de energía requiere de un soporte adecuado para identificar y evaluar las oportunidades dentro de todo sistema eléctrico.

El ahorro de energía no puede llevarse a cabo si no se conoce dónde y cómo se está utilizando, para lograr la eficiencia en su consumo. En la mayoría de los casos, el establecimiento de este punto de partida requiere de una inspección y de análisis detallado de los consumos y pérdidas de energía que generalmente se le conoce como diagnóstico energético.

### **4.2.2. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.**

El diagnóstico energético es una herramienta-técnica utilizada en la evaluación del uso eficiente de la energía. Sin embargo, no se podría alcanzar ahorros significativos a largo plazo sin el respaldo de un programa de ahorro de energía dentro del hogar.

Para poder desarrollar eficientemente y con éxito un programa de ahorro de energía en un sistema eléctrico debe cumplirse las siguientes condiciones.

- Compromiso en recursos y tiempo, tanto del responsable como de los integrantes de la familia para implementar y desarrollar un programa energético con esfuerzo permanente.
- Debe existir una base de datos consistente, sobre consumos energéticos.
- El programa de ahorro de energía debe manejarse como cualquier programa gerencial o administrativo de la empresa.

En resumen un programa de ahorro de energía en un sistema eléctrico, implica compromiso y una organización permanente a largo plazo y que sienta las bases y desarrolla un plan de acción para un diagnóstico energético mientras éste representa una intervención temporal que identifica ahorros potenciales.

### **4.2.3. OBJETIVOS DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.**

El objetivo final es la identificación de medidas técnicas y administrativas rentables para el ahorro de energía en un sistema eléctrico. Para llegar a ese objetivo, deben emplearse las siguientes metas:

- ✓ El análisis preliminar de datos sobre consumos, costos de energía y de producción para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos del sistema eléctrico.
- ✓ Obtener el balance energético global del sistema, así como balances energéticos de los equipos en consumos de energía.
- ✓ Identificar las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.
- ✓ Determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
- ✓ Analizar las relaciones entre los costos y los beneficios de las diferentes oportunidades dentro del contexto financiero para priorizar su implementación.
- ✓ Desarrollar un plan de acción para la realización de todos los proyectos de ahorro de energía, incluyendo fechas y responsabilidades.

El diagnóstico energético es la herramienta-técnica utilizada para la evaluación sistemática del uso eficiente de la energía, definiendo la situación del consumo y las posibles oportunidades potenciales de ahorro. Existen básicamente dos tipos de diagnóstico según su nivel de análisis:

- Diagnóstico energético de primer nivel (DEN-1): Su objetivo principal es la obtención de un balance global de energía y potenciales de ahorro que no requieren de inversión, por ejemplo: el control de encendido de luminarias cuando sea solo necesario.
- Diagnóstico Energético de segundo nivel (DEN-2): Su objetivo principal es la obtención de balances específicos de energía, así como potenciales de ahorro de energía sin y con

inversión.

### **4.3 ANALISIS DE LA FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FV DE ACUERDO A SU CONSUMO Y TARIFA DOMESTICA DAC**

#### **4.3.1 TARIFAS ELÉCTRICAS EN MÉXICO**

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene la responsabilidad de brindar el suministro de energía eléctrica en México. La paraestatal aplica diferentes tarifas para los hogares y negocios además de estratificar el costo del consumo en diferentes apartados. La presente investigación describe las diferentes tarifas aplicadas al uso de este servicio.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la empresa gubernamental encargada de la prestación de servicio público de este tipo de energía. De acuerdo con el artículo 27 de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos* y el primero de la *Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica* la nación tiene el ejercicio exclusivo de generar, transportar, modificar, distribuir y abastecer el recurso eléctrico. Esta Ley fue reformada en 1992 a fin de permitir que productores independientes a CFE pudieran generar electricidad para su venta a la paraestatal. En 2012 la capacidad generadora nacional ascendió a 260 millones de megawatts (MW) de los cuales 31% son producidos por productores independientes. La CFE contaba con cerca de 36 millones de clientes a fines de 2012 y de acuerdo con sus estimaciones estos crecerán anualmente en un millón, en los próximos años. El sector industrial representa más de la mitad de ventas de la CFE pese a que sólo equivale a 1% de los consumidores. Por su parte el consumo doméstico constituye cerca de la cuarta parte de los ingresos clientelares de la CFE pese a que congrega a 88.41% de los compradores de la paraestatal. A fin de abastecer de electricidad a más de cien millones de mexicanos la CFE cuenta con 214 centrales generadoras además de 32 más integradas de la extinta Compañía de Luz y Fuerza. No obstante, la diferencia entre el tipo de clientes y consumo obliga a que la Secretaría de Hacienda y Crédito

Público (SHCP) determine la tarifa que los distintos usuarios del servicio eléctrico deban pagar. El fundamento legal son los artículos 30 y 31 de la *Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica* que faculta a esta institución a fijar el precio, con la participación de las Secretarías de Economía y de Energía, a propuesta de la CFE.

### 4.3.2 DIFERENTES TIPOS DE TARIFAS

La CFE divide sus tarifas en cinco grupos de clientes (doméstico, agrícola, industrial, comercial y servicio) en la que la unidad de medida es el kilowatt por hora (kw/h). En el caso de las tarifas destinadas a los hogares, estas se clasifican por el nivel de consumo en ocho rangos (1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y DAC) de los cuales los siete primeros están relacionados con la temperatura media de cada región; es decir, los precios son diferentes en las distintas entidades federativas debido a los subsidios aplicables en las regiones más cálidas del país (debido a la demanda de energía en refrigeración, por ejemplo), además existe una variación en los precios dependiendo la época de verano o invierno. Por su parte la tarifa *Doméstica de Alto Consumo* (DAC) tiene relación con la demanda de utilización de electricidad, por lo que este cobro "aplica cuando excede el límite establecido para la localidad del usuario en el consumo mensual promedio", en el último año.

Además de la temperatura media promedio, el monto de la tarifa del servicio eléctrico considera el consumo de kWh para establecer la escala de consumo. Otros montos de clasificación para los clientes de la CFE corresponden a comerciales, industriales, agrícolas, acuícolas o servicios públicos. De los 36 millones de compradores de electricidad en nuestro país 32 fueron residenciales en 2012, pero la industria es la principal consumidora de ventas al público por sector con 58.24%.

Las tarifas comerciales utilizadas por la CFE se dividen en tres rubros, clasificadas en:

- Tarifa 2: Precio utilizados por los servicios que utilizan la energía en baja tensión a cualquier uso (usualmente en 220 y 120 volts), con demanda de hasta 25 kilowatts.
- Tarifa 3: Costo aplicable a clientes que utilizan la energía en baja tensión a cualquier uso, con demanda mayor de 25 kilovatios.
- Tarifa media tensión: Depende de una solicitud de factibilidad que servirá para analizar la posibilidad de suministrar el servicio con la red actual. En un plazo no mayor de 15 días, la CFE emitirá Oficio Resolutivo donde se notificará la solución técnica más económica del proyecto de obra que se requiera.

De acuerdo con la Comisión Nacional de Uso Eficiente de la Energía (CONAE) las tarifas de electricidad en el sector industrial tienen diferentes formas de cálculo, (Tabla 8) por ejemplo la tarifa tiene un cargo fijo y otro por consumo. Además la tarifa 3 y la de media tensión comerciales "tienen un cargo por demanda y un cargo por energía y las tarifas horarias tienen cargos por energía y demanda por cada periodo horario". Para la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFERMER) el sector eléctrico calcula la tarifa de acuerdo a las redes de generación, distribución y venta de electricidad, por lo que debe "invertir en infraestructura como redes o cableado para conducir la

electricidad, transformadores, subestaciones, etc". Entre los principales datos de consumo de electricidad en el sector industrial destacan en 2008:

- CFE suministraba energía eléctrica a 701 clientes en alta tensión que consumen anualmente 36.7 TWh, 24% de las ventas totales al público.
- En media tensión brindó servicio a 205,386 clientes que consumen 54.9 TWh al año y son el 35% de las ventas totales.
- En baja tensión se atendían 2.6 millones de clientes que facturaban 9.7 TWh al año y representan el 6% del total.

<b>TARIFA</b>	<b>Para localidades con temperatura media mínima en verano.</b>
<b>1</b>	Servicio Doméstico
<b>1A</b>	De 25 °C
<b>1B</b>	De 28 °C
<b>1C</b>	De 30°C
<b>1D</b>	De 31 °C
<b>1E</b>	De 32°C
<b>1F</b>	De 33°C

Tabla 8.- Tarifa Doméstica Fuente: CFE

Tarifa Doméstica. Esta tarifa sólo se suministra en baja tensión y se aplica a los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, en función de la región y la temporada del año. Tarifas 1, 1A, 1B, 1C, 1D Y 1E.

Tarifa doméstica de Alto Consumo (DAC). Esta tarifa se aplica cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior al límite de alto consumo definido por la localidad. El límite de alto consumo se define para cada localidad en función de la tarifa en la que se encuentre clasificada. (Tabla 9)

<b>Tarifa</b>	<b>Límite para ingresar a tarifa de alto consumo</b>
<b>1</b>	250 kwh/mes
<b>1<sup>a</sup></b>	300 kwh/mes
<b>1B</b>	400 kwh/mes

<b>1C</b>	850 kwh/mes
<b>1D</b>	1,000 kwh/mes
<b>1E</b>	2,000 kwh/mes
<b>1F</b>	2,500 kwh/mes

Tabla 9.- Tarifa de Alto Consumo (DAC) Fuente: CFE

Existen diferentes tarifas residenciales donde la tarifa DAC (de alto consumo) es la tarifa más alta con un costo promedio de \$3.382 /kWh consumido (varía la temporada del año), se es acreedor a la tarifa DAC (Figura 63) cuando su demanda es de la siguiente manera:

- Demanda mayor a 500kWh bimestral.
- Si se tiene un consumo mayor a 3000 kWh durante un periodo anual se establece la tarifa DAC.
- Para bajar de la tarifa DAC es necesario promediar menos de 500 kWh durante los últimos seis bimestres
- Al rebasar la tarifa subsidiada no se tiene derecho a la aportación gubernamental.

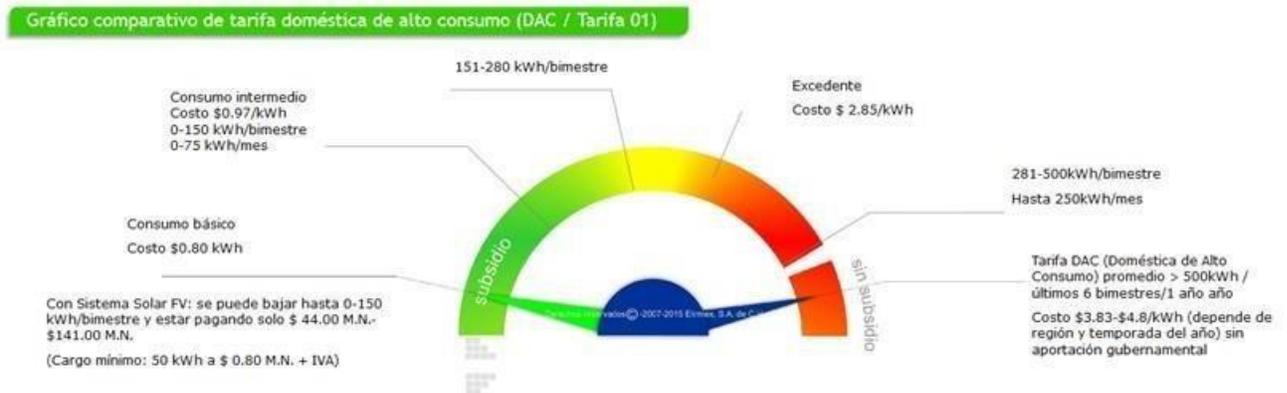


Figura 63.- Grafico comparativo de tarifa doméstica de alto consumo (DAC/Tarifa 01) Fuente: CFE

### 4.3.3 CASO DE ESTUDIO PARA REDUCIR LA TARIFA DAC CON LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FV INTERCONECTADO A RED.

El ahorro de cualquier forma de energía y su uso racional inevitablemente presupone la aplicación y control de un programa confeccionado para ese fin, pero dicho programa no se elabora de forma empírica, sino a partir de métodos o procedimientos técnicamente fundamentados, es decir, que debe estar sustentado por los diagnósticos energéticos que permiten identificar en cada lugar que se apliquen (industria, hogar, centro de servicio, escuela, etc.) la eficiencia y la responsabilidad con que es utilizada la energía, de cualquier tipo (eléctrica, térmica, etc.). Para este propósito se aporta un conjunto de elementos que permiten realizar y evaluar el diagnóstico energético.

El actual análisis se hace con la finalidad de evaluar en consumo de energía eléctrica a nivel residencial en tarifa DAC y la aportación de analizar la viabilidad de interconectar un sistema fotovoltaico interconectado a red con el fin de determinar el costo-beneficio para este tipo de consumos altos.

Dicho análisis se realizó en un domicilio cuya tarifa ha alcanzado el excedente hasta la tarifa DAC (Rebasando los 500 kWh). Por lo que se ha tomado la carga de 585 kWh como se muestra en la siguiente Figura 64:

Facturación	Tipo	kWh	Importe	Pagos	Pendientes de pago	Línea de captura
Adeudos anteriores						
del 23 JUN 15 al 25 AGO 15	Normal	585	\$2,483.00	\$2,483.00		
del 24 ABR 15 al 23 JUN 15	Normal	494	\$2,151.00	\$2,151.00		
del 24 FEB 15 al 24 ABR 15	Normal	491	\$2,194.00	\$2,194.00		
del 23 DIC 14 al 24 FEB 15	Normal	501	\$2,691.00	\$2,691.00		
del 23 OCT 14 al 23 DIC 14	Normal	526	\$2,481.00	\$2,481.00		
del 25 AGO 14 al 23 OCT 14	Normal	570	\$1,350.00	\$1,350.00		
del 24 JUN 14 al 25 AGO 14	Normal	605	\$1,466.00	\$1,466.00		
del 25 ABR 14 al 24 JUN 14	Normal	598	\$1,431.00	\$1,431.00		
del 25 FEB 14 al 25 ABR 14	Normal	533	\$1,194.00	\$1,194.00		
del 24 DIC 13 al 25 FEB 14	Normal	262	\$281.00	\$281.00		
del 24 OCT 13 al 24 DIC 13	Normal	225	\$447.00	\$447.00		
Adeudo Total					\$0.00	

Figura 64.- Datos del recibo en Tarifa DAC. Fuente Elaboración Propia

Considerando las especificaciones de salida del módulo FV seleccionado (250 w) ( $V_{oc}=37.8v$ ,  $I_{sc}=8.7amp$ ), las H.S.P. (Horas de sol pico, 4.4) y la energía obtenida de acuerdo al promedio de los promedios de consumo sería ( $E_c = 585 kwh$ , energía bimestral y el consumo diario se estima en 9,750 kWh) de acuerdo a dicho promedio de consumo en las casas de interés social, se calcula el número de módulos que necesita en sistema. Obtenemos los datos del número de paneles necesario, que para este caso serían 7 módulos policristalinos de 250 W.

Para poder cubrir la demanda y considerando que únicamente se han calculado siete módulos en este caso no es necesario realizar el cálculo del arreglo fotovoltaico ya que únicamente se considera un solo inversor, que para cubrir el total de la energía generada por el sistema aplicado en la casa de interés social para esta tarifa DAC se considera conforme a la ecuación 15 antes mencionada únicamente un inversor de 2 kW. (Potencia del Inversor = N° de Módulos \* Potencia del Módulo \* 1.2), Potencia del Inversor = (7) \* (250) \* (1.2) = 2.1 kW. Catálogo Excel Solar Modelo Solis Mini 2 kW-dc. (Como lo muestra la Figura 62).

### b) Estudio de viabilidad técnico-económica

Desarrollando el estudio técnico-económico podemos ver en la siguiente tabla los costos de los equipos:

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Precio Unitario (DlIs)</b>	<b>Precio Total (DlIs)</b>	<b>Precio Total en MXN (18.64)</b>
<b>7</b>	Módulo solar policristalino de 250w	281.33	1,969.31	\$36,707.93
<b>1</b>	Inversor de conexión a red de 5000w	1,209.05	1,209.05	\$22,536.69
<b>1</b>	Lote de estructura caja de conexión y cableado	346	346	\$6,449.44
		SubTotal	DlIs 3,524.36	\$65,694.06

Tabla 10.- Costos de material para instalación Fotovoltaica Fuente: Elaboración propia

Realizando un estimado de pago en el recibo de CFE, el promedio de pago es de \$2,483.00 bimestral, podemos con esto determinar cuánto sería el ahorro con la implementación del sistema conectado a red.

Sustituyendo los datos de la ecuación 16 obtenemos que los paneles seleccionados generan 70,262.5 kWh a un tiempo de vida de 25 años por lo que al mes obtendríamos una generación de energía de 234.2 kWh, si consideramos que el costo máximo de la tarifa DAC es de 3.382\$/kWh, podemos decir que ahorramos \$792.09

Ahora podemos obtener el tiempo de recuperación de la inversión que sería con respecto al total de la inversión de \$65,694.06 entre el ahorro mensual de \$792.09 y el tiempo de recuperación de la inversión sería de 82.94 meses (6.91 años). Por lo que podemos considerar que es viable la instalación en este tipo de consumo en la vivienda.

## **COMENTARIOS FINALES**

El tema de investigación analiza los resultados acerca del ahorro de energía eléctrica para las tarifas 1 y la tarifa de alto consumo (DAC) lo que podemos decir que es mayor el ahorro en el consumo de energía eléctrica para la tarifa DAC ya que representa un mejor beneficio para instalar un sistema fotovoltaico.

Una vez analizado los resultados para la tarifa doméstica de alto podemos decir que si se genera un ahorro considerable en el pago bimestral ya que la generación de energía del sistema fotovoltaico es suficiente para retornar la inversión en un buen tiempo con respecto a la vida útil del sistema.

Es importante analizar el impacto que tienen los sistemas fotovoltaicos para la contribución en la generación de energía eléctrica interconectada a red para cada una de las tarifas (Tarifa 1 y tarifa DAC) con el fin de analizar el ahorro tanto de energía eléctrica como el ahorro en el pago del servicio de energía eléctrica, es importante mencionar también que la presente investigación se puede aplicar para el análisis en otras tarifas considerando los cambios que pudiera generar el sistema eléctrico nacional.

## **CONCLUSIONES**

La finalidad del presente trabajo es proponer una metodología de diseño de un sistema fotovoltaico

interconectado a red eléctrica de la CFE para uso en casas de interés social; así mismo estimar en qué casos (tarifas) es factible la instalación y diseño para la contribución en el ahorro tanto de energía como de gasto por facturación. Debe de cubrir los requisitos indispensables que son, una generación limpia de energía eléctrica por medio de los paneles FV, el máximo aprovechamiento de la radiación solar disponible, un ahorro económico considerable durante el periodo de tiempo, así como el tiempo de amortización del proyecto. Para este caso se realizó el análisis en casa de interés social el cual de acuerdo a su consumo, se observó, que tanto el ahorro como la inversión no es viable la instalación ya que tiene un costo total de \$56 426.91 y un tiempo estimado de retorno de la inversión de 16.38 años, se estima que el tiempo de vida útil de los equipos es de 25 años por lo cual no se recomienda hacer la inversión en estos casos.

Por otra parte se realizó un estudio en casas cuya tarifa sobrepasan los excedentes hasta llegar a una tarifa de Alto Consumo (DAC) la cual es tiene un costo mayor por cada kWh que sobre pase el límite de consumo, en este caso se realizó un estudio estimando una inversión de \$77 817.71 y se genera un retorno de la inversión de 8.19 años por lo que se recomienda que en estos casos es más viables realizar la inversión, esto puede reducir aún más considerando la radiación y el tiempo de horas de sol pico, así mismo se recomienda que los usuarios revisen bien sus instalaciones realizando un uso eficiente del consumo de los equipos electrodomésticos así como estimar las prioridades en el uso, apagar alumbrado no utilizado, desconectar equipos innecesarios (Celulares, Fuentes de Voltaje, etc.).

Este costo se puede reducir aún más con los planes de financiamiento, que ofrecen las instituciones gubernamentales, tales como la Secretaría de Economía (SE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), otorgando apoyos al desarrollo e impulso de proyectos destinados a la generación y tecnologías limpias. También de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) provee estímulos económicos, lo importante es motivar a los administradores gubernamentales para desarrollar este tipo de proyectos y así generar impactos medioambientales positivos.

## **TRABAJOS FUTUROS**

Se pretende desarrolla una técnica inteligente para dimensionar el sistema fotovoltaico conectada a la red (GCPV) del sistema utilizando la programación evolutiva (EP), utilizando esta técnica es posible seleccionar el conjunto óptimo de módulo fotovoltaico (PV) y el convertidor, de tal manera que el rendimiento técnico y económico del sistema pueda ser optimizado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán, M. E., & Boscán, N. (2011). Identificación de necesidades para la adquisición de tecnología para la producción de energía eléctrica mediante el uso de sistemas fotovoltaicos en Venezuela. *redalyc.org*, 19.
- Caballero Guendolain, K., & Galindo Paliza, L. M. (2006). El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios. *Revista Latinoamericana de Economía*, 26.
- conermex. (06 de Mayo de 2013). *conermex soluciones de energía renovable*. Obtenido de conermex soluciones de energía renovable: [www.conermex.com.mx](http://www.conermex.com.mx)
- energía, C. r. (2014). *Reporte Mensual de Estadísticas del Sector Eléctrico*. México: CRE.
- Energía, S. d. (01 de 05 de 2013). *mmm.sener.gob.mx*. Obtenido de [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/ENE\\_2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf)
- Escobar Mejía, A., Andrés Torres, C., & Hincapie Isaza, R. A. (2012). Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica. *redalyc.org*, 7.
- Fernández Martínez, X., Navarrete Barbosa, J. I., Sánchez Luevano, G., & Ontiveros Montesinos, J. A. (2012). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026*. México D.F.: SENER.
- Guzmán Soria, E., Rodríguez Magaña, J. R., Hernández Martínez, J., & Rebollar Rebollar, S. (2011). Consumo de energía eléctrica para uso doméstico en San Juan del Río, Querétaro. *redalyc.org*, 14.
- inifap. (24 de 02 de 2015). <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/historico.php?id=18806&mes=02&ano=2015>. Obtenido de <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/historico.php?id=18806&mes=02&ano=2015>: <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx>
- Loeza Salcedo, F. A., Ramiro Carmona C., Tenorio Caselin J. C. Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a red (SFCCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco (Tesis), IPN, 2012.
- McDonald, D. A., & Ruiters, G. (2012). *Alternatives to privatisation*. New York: Board. Mc
- Donald, D. A., & Ruiters, G. (2012). *Alternatives to Privatisation*. New York: board.
- Medina-Ross, J. A., Mata-Sandoval, J. C., & López Pérez, R. (2008). Indicators for sustainable energy development in Mexico. *Natural Resource Forum*, 14.
- Oscar, P. I. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Creative Commons.
- Pérez Buendía, J. E. (2010). Evaluación económica de la producción independiente de energía en México 2000-2007. *Economía Informa*, 74-90.
- Pérez Buendía, J. E. (s.f.). Evaluación económica de la producción independiente de energía en México 200.
- Prada Blanco, A., Vázquez Rodríguez, M. J., & Soliño Millán, M. (2007). Percepción social sobre generación de electricidad con fuentes de energía renovables en Galicia. *redalyc.org*, 21.
- redondo Quintela, F., García Arévalo, J. M., & redondo Melchor, N. (2011). Eficiencia en el Consumo de Energía Eléctrica.

*Tecnología Energética*, 47.

Rodríguez, C.G., & Sarmiento, A. (2011). Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. *redalyc.org*, 10.

Sandoval García, E. R. (2011). La Industria Fotovoltaica en México. *Revista Universitaria de Ciencias Sociales*, 5.

SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A. (2004). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Publicaciones de SEAS ISBN: 84.8422- 881-9.

SENER. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*. México D.F. : SENER.

solartronic. (2003). *Irradiaciones global, directa y difusa, en Superficies horizontal e inclinadas, así como irradiación directa normal, para la república Mexicana*. Cuernavaca, Morelos, México: Departamento de Información Científica y Técnica.

tecnosolar. (11 de Mayo de 2013). *tecnosolar*. Obtenido de tecnosolar: [www.tecnosolar.com.mx](http://www.tecnosolar.com.mx)

PUEBLA, 2004, Universidad Tecnológica de Puebla, Instalaciones Eléctricas Industriales, Manual de asignatura, Carrera Electricidad y Electrónica Industrial Programa 2004.

Valle Pereña, J. A., & Ortega Navarro, H. O. (01 de Mayo de 2013). [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx). Obtenido de [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx): [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PER\\_2012-2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PER_2012-2026.pdf)

Valle Pereña, J. A., Eckermann, A., & Barzalobre, V. (01 de Mayo de 2013). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Secretaría de Energía: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Valle, J., & Eckermann, A. (2012). *Programa de Fomento de sistemas fotovoltaicos en México*. México D.F.: Publicaciones SENER.

Zamora, M. R. (2008). curvas de Demanda de energía eléctrica en el sector doméstico de dos regiones de México. *Smart Metering West*, 3 y 4.

Beltrán, M. E., & Boscán, N. (2011). Identificación de necesidades para la adquisición de tecnología para la producción de energía eléctrica mediante el uso de sistemas fotovoltaicos en Venezuela. *redalyc.org*, 19.

Caballero Guendolain, K., & Galindo Paliza, L. M. (2006). El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios. *Revista Latinoamericana de Economía*, 26.

conermex. (06 de Mayo de 2013). *conermex soluciones de energía renovable*. Obtenido de conermex soluciones de energía renovable: [www.conermex.com.mx](http://www.conermex.com.mx)

Energía, S. d. (01 de 05 de 2013). [mmm.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx). Obtenido de [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/ENE\\_2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf)

Escobar Mejía, A., Torres, C., & Hincapié Isaza, R. A. (2012). Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica. *redalyc.org*, 7.

Fernández Martínez, X., Navarrete Barbosa, J. I., Sánchez Luevano, G., & Ontiveros Montesinos, J. A. (2012). *Prospección del Sector Eléctrico 2012-2026*. México D.F.: SENER.

Guzmán Soria, E., Rodríguez Magaña, J. R., Hernández Martínez, J., & Rebollar, S. (2011). Consumo de energía eléctrica para uso doméstico en San Juan del Río, Querétaro. *redalyc.org*, 14.

Mc Donald, D. A., & Ruiters, G. (2012). *Alternatives to Privatisation*. New York: board.

Medinna-Ross, J. A., Mata-Sandoval, J. C., & López Pérez, R. (2008). Indicators for sustainable energy development in Mexico. *Natural Resource Forum*, 14.

Oscar, P. I. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Creative Commons.

Pérez Buendía, J. E. (2010). Evaluación económica de la producción independiente de energía en México 2000-2007. *Economía Informa*, 74-90.

Pérez Buendía, J. E. (s.f.). Evaluación económica de la producción independiente de energía en México 200.

Prada Blanco, A., Vázquez Rodríguez, M. J., & Soliño Millán, M. (2007). Percepción social sobre generación de electricidad con fuentes de energía renovables en Galicia. *redalyc.org*, 21.

redondo Quintela, F., García Arévalo, J. M., & redondo Melchor, N. (2011). Eficiencia en el Consumo de Energía Eléctrica. *Tecnología Energética*, 47.

Rodríguez, C. G., & Sarmiento, A. (2011). Dimensionado mediante simulación de sistemas de energía fotovoltaica aplicados a la electrificación rural. *redalyc.org*, 10.

Sandoval García, E. R. (2011). La Industria Fotovoltaica en México. *Revista Universitaria de Ciencias Sociales*, 5. SEAS, Estudios Superiores Abiertos S.A. (2004). *Energía Solar Fotovoltaica*. España: Publicaciones de SEAS ISBN: 84.8422- 881-9.

SENER. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*. México D.F. : SENER.

solartronic. (2003). *Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontal e inclinadas, así como irradiación directa normal, para la república mexicana*. Cuernavaca, Morelos, México: Departamento de Información Científica y Técnica.

tecnosolar. (11 de Mayo de 2013). *tecnosolar*. Obtenido de tecnosolar: [www.tecnosolar.com.mx](http://www.tecnosolar.com.mx)

Valle Pereña, J. A., & Ortega Navarro, H. O. (01 de Mayo de 2013). [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx). Obtenido de [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx): [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PER\\_2012-2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PER_2012-2026.pdf)

Valle Pereña, J. A., Eckermann, A., & Barzalobre, V. (01 de Mayo de 2013). *Secretaría de Energía*. Obtenido de Secretaría de Energía: [www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Valle, J., & Eckermann, A. (2012). *Programa de Fomento de sistemas fotovoltaicos en México*. México D.F.: Publicaciones SENER.