



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MODELO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE INSTALACIONES DOMÉSTICAS FOTOVOLTAICAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO
ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

PRESENTA:

Jesús Elías Jaime Uribe Rodríguez

DIRECTOR DE TESIS: M.C. HÉCTOR ALEJANDRO BELTRÁN MORA



Ciudad Universitaria, México D. F., junio 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por darme una visión ganadora sobre la vida

A la Facultad de Ingeniería

Por enseñarme los retos de la ingeniería

A mi madre

Por tu cariño y apoyo incondicional

A mi hermana

Por ser una fuente de inspiración

A mis profesores

Por guiarme y darme la oportunidad de enfrentar esos retos que me formaron y me dieron la convicción al trabajo y además por darme su amistad

INTRODUCCIÓN

1 LA ENERGÍA SOLAR	5
1.1. Fundamentos Básicos	6
1.1.1. Concepto de energía	6
1.1.2. Energías renovables	7
1.1.3. Cambio climático	8
1.2. Aspectos generales de la energía solar	10
1.2.1. El espectro solar	10
1.2.2. Energía solar aprovechable	12
1.2.3. Procesos artificiales de aprovechamiento	15
1.3. Teoría eléctrica	16
1.3.1. Corriente eléctrica	16
1.3.2. Semiconductores	19
1.3.3. Efecto fotoeléctrico	19
2 CELDAS FOTOVOLTAICAS	22
2.1. Principio de funcionamiento	22
2.1.1. Celdas de primera generación	24
2.1.2. Celdas de segunda generación	27
2.1.3. Celdas de tercera generación	28
2.2. Actualidad	29
2.2.1. Visión en el mundo	30
2.2.2. Visión en México	32
3 SISTEMAS FV DOMÉSTICOS INTERCONECTADOS A RED	36
3.1. Componentes	36
3.1.1. Modulo solar (generador)	37
3.1.2. Inversor	37
3.1.3. Dispositivos de interconexión	38
3.2. Marco legal y regulatorio en México	39
4. MODELO DE ANÁLISIS (FOTOCOST)	44
4.1. Metodología	45
4.2. Estructura	51
4.3. Estudio de caso	58
5. CONCLUSIONES	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fusión nuclear	5
Figura 2 - Efecto Invernadero.....	8
Figura 3 Países ratificantes al protocolo	10
Figura 4- Relación entre frecuencia y longitud de onda	11
Figura 5 - Espectro de luz visible	12
Figura 8 - Colector solar	15
Figura 9 - Modelo atómico.....	16
Figura 10 - Funcionamiento de las celdas FV	23
Figura 11 - Celda FV	24
Figura 12 - Celda FV monocristalina	25
Figura 13- Celda FV policristalina	26
Figura 14 - Celda FV amorfa	27
Figura 15 - Potencial FV vs Irradiación solar	31
Figura 16 - Generador	37
Figura 17 - Ejemplo de inversores.....	38
Figura 18 - Sistema FV domestico interconectado a la red	39
Figura 19 -Marco legal, regulatorio y normativo para el uso de sistemas FV en el sector residencial en México	42
Figura 21 - Flujos de inversión y operación	47
Figura 22 - Flujo convencional de erogaciones durante la construcción y operación de una central.....	48
Figura 23 – Comportamiento de la inversión.....	50
Figura 24 – Portada “FotoCost”	52
Figura 25 - Lozaliza tu Tarifa.....	52
Figura 26 - Consumos en Tarifa 1	53
Figura 27 - Consumos, tarifas con Temporada de Verano	53
Figura 28 - Tabla de Datos de Entrada	54
Figura 29 - Tabla de Datos de Salida.....	56
Figura 30 - Caso 1, consumos mensuales	58
Figura 31 - Caso 1, Datos de Entrada.....	59
Figura 32 - Caso 1, Datos de Salida	60
Figura 33 - Caso1, Aplicación del fvp.....	61
Figura 34 - Caso1, Costo de inversión por unidad de energía generada	61
Figura 35 - Caso 1, Costo de O&M por unidad de energía generada	61
Figura 36 - Caso 1, Costo de financiamiento por unidad de energía generada	62
Figura 37 - Caso 1, CNG solar	62
Figura 38 - Caso 1, CNG CFE.....	62
Figura 39 - Caso 1, Tabla de ahorro neto	63
Figura 42 - Caso 2, consumos mensuales	65

Figura 43 - Caso 2, Datos de Entrada.....	66
Figura 44 - Caso 2, Datos de Salida	67
Figura 45 - Caso 2, Aplicación del fvp.....	67
Figura 46 - Caso 2, CNG solar	68
Figura 47 - Caso 2, CNG CFE.....	68
Figura 48 - Caso 2, Tabla de ahorro neto	68

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Distribución de la energía solar que llega a la Tierra	13
Grafica 2 Energía detallada en la Tierra.....	14
Grafica 3 - Capacidad instalada con sistemas FV en 2011, Países principales	30
Grafica 4 - % de inversiones en la tecnología FV, 2011-2025	32
Grafica 5 - Evolución de la capacidad instalada y energía generada con sistemas FV en México	33
Grafica 6 - Comparación de las tarifas domésticas comunes y la tarifa DAC	45
Grafica 7 - Caso 1, \$/kWp VS \$/kWh	64
Grafica 8 - Caso 1, Ahorro acumulado VS Vida útil.....	65
Grafica 9 - Caso 2, \$/kWp VS \$/kWh	69
Grafica 10 - Caso 2, Ahorro acumulado VS Vida útil.....	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Algunas características del sol.....	5
Tabla 2- Características de los gases	9
Tabla 3 - Obstáculos para el desarrollo del mercado FV en México	34
Tabla 4- Tarifas domésticas CFE	44

INTRODUCCIÓN

México cuenta con un gran potencial de generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos gracias a que es uno de los países con mayores niveles de irradiación solar, con alrededor de 5^1 kWh/m² en promedio, estando por encima de países líderes en la industria como Alemania.

Ya que se cuenta con este recurso en grandes proporciones, además de ser una fuente de energía renovable y limpia, se ha elaborado un modelo de computadora, llamado FotoCost, desarrollado en hojas de cálculo de MS Excel con el propósito de saber si la instalación de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red a nivel doméstico es económicamente viable, por lo que el modelo considera variables técnicas y económicas como la demanda de energía que se desea cubrir con el sistema, los costos, la vida útil, la calidad del recurso solar dependiendo del sitio, entre otros.

Estas variables deben ser introducidas en el modelo para así poder llevar a cabo un análisis económico de los costos de inversión, los costos de operación y mantenimiento O&M, así como los costos por el financiamiento, obteniendo el Costo Nivelado de Generación Solar (CNG_{SOLAR}), para así poderlo comparar con las tarifas domésticas de la CFE y poder llegar a una conclusión de si es viable o inviable.

Esto quiere decir, que se desarrolla una comparación entre el costo de la energía solar y el costo de la energía tarifaria.

$$\$/\text{kWh}_{\text{solar}} \text{ VS } \$/\text{kWh}_{\text{CFE}}$$

Esta comparación se realiza considerando la vida útil del sistema fotovoltaico, así como la cantidad de dinero que se le pagaría a la CFE por el consumo de energía eléctrica por el mismo número de años de vida útil del sistema, esperando siempre que:

¹ *ENERGÍA 360, septiembre de 2012, portada*



$$\$/\text{kWh}_{\text{solar}} < \$/\text{kWh}_{\text{CFE}}$$

Además, el modelo de análisis permite realizar evaluaciones con las distintas tarifas domésticas y en especial con la tarifa doméstica de alto consumo (DAC) identificando en aquellas circunstancias en las cuales resulta económicamente factible la instalación de un sistema solar fotovoltaico.

El modelo es una valiosa herramienta para conocer de manera preliminar el monto aproximado de inversión, el potencial de ahorro que se podría lograr debido al consumo de energía solar, el tiempo de recuperación de la inversión, el área que se necesita para su instalación, la capacidad necesaria para cubrir parte del consumo, así como lo que se le pagaría a la CFE por la energía consumida.

Esta tesis se encuentra organizada en cinco capítulos. En el Capítulo uno, para poder entender el funcionamiento de estos sistemas se introducirán conceptos básicos como, energía, energía renovable, y en general la teoría eléctrica de la cual surgen conceptos como corriente eléctrica, voltaje, conductividad, etc.; Además se tomarán en cuenta conceptos como el efecto invernadero y el impacto que ha tenido en el ambiente, tratando al mismo tiempo de que esto sea un factor determinante en la instalación de estos sistemas.

En el Capítulo dos, se explica el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, así como el principio de funcionamiento de las celdas fotovoltaicas debido al efecto fotoeléctrico en los semiconductores, de esta forma se logrará entender su funcionamiento además de poder diferenciar entre el tipo de tecnologías actuales en la industria fotovoltaica.

En el Capítulo tres se explica sobre los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red en México, se menciona cómo están conformados, explicando su estructura y cada uno de sus componentes, así también se da una mención sobre la parte

regulatoria y legal en México para poder llevar a cabo este tipo de proyectos en donde se mencionan algunas leyes y marcos regulatorios.

El funcionamiento y metodología llevados a cabo por el FotoCost, se mencionan en el Capítulo cuatro, donde se encuentra una sección donde se explica cómo hay que introducir los consumos mensuales y los Datos de Entrada, también cómo interpretar los resultados que arrojen los Datos de Salida. Además, se dan dos casos reales analizados por el FotoCost, en donde a primera instancia se observa la viabilidad para la comparación con la tarifa de alto consumo DAC.

Por último, en el Capítulo cinco se llega a las conclusiones obtenidas mediante la realización de distintos análisis con casos reales en las diferentes tarifas domésticas de la CFE.

CAPITULO 1

LA ENERGÍA SOLAR

1 LA ENERGÍA SOLAR

El sol, siendo una estrella clasificada como una enana amarilla, se ha calculado que posee una vida restante estimada de 5 000 millones de años.

Tabla 1 - Algunas características del sol

Radio	700 000 kilómetros
Distancia media a la Tierra	150 millones de km
Masa (la Tierra = 1)	332 946
Vida restante	5 000 millones de años
Temperatura de la superficie	5 500 °C
Temperatura del núcleo	14 millones de °C

Está compuesto principalmente por hidrogeno en alrededor de un 81% y helio con 18% de este, gracias a estos elementos en su núcleo es donde se dan las reacciones termo-nucleares de fusión que generan la energía solar.

La fusión consiste en la unión de un núcleo de deuterio (isotopo de hidrogeno) y otro de tritio (otro isotopo del hidrogeno), dando lugar a un núcleo de helio y liberando un neutrón junto con una determinada cantidad de energía. Este proceso se lleva a cabo a temperaturas de aproximadamente 14 millones de °C.

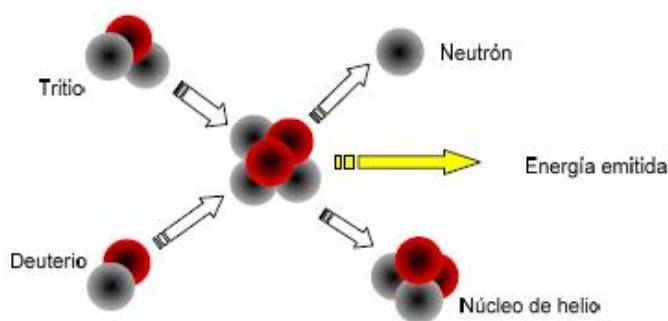


Figura 1 - Fusión nuclear²

² SEAS, Estudios abiertos, <http://mexico-seas-es/>; (diplomado sobre energía solar)

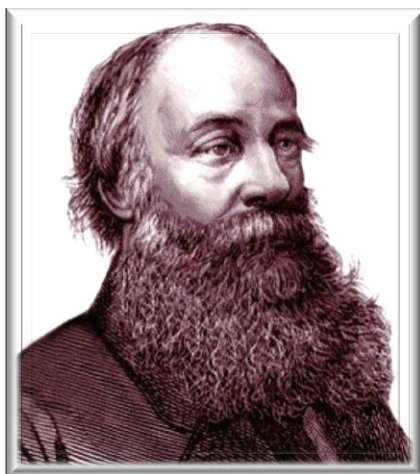
Esta energía es emitida en todas las direcciones del espacio en forma de ondas electromagnéticas las cuales están asociadas a fotones los cuales poseen energía adquirida del proceso de fusión antes descrito, los cuales son capaces de propagarse en el vacío a la velocidad de la luz (300 000 km/s) tardando alrededor de 8 minutos en recorrer unos 150 millones de kilómetros hasta nuestro planeta.

1.1. Fundamentos Básicos

En este punto se dará una breve explicación de los conceptos físicos que se llevan a cabo para el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos y que permiten transformar la energía solar en energía eléctrica por medio de estos, algunos de estos fenómenos físicos son el calor, trabajo, energía, potencial, frecuencia, longitud de onda, entre otros, también se toma el tema del cambio climático y lo que provoca este fenómeno.

1.1.1. Concepto de energía

La energía es una magnitud física que se manifiesta comúnmente en forma de trabajo y calor por lo que podría definirse o entenderse como la capacidad de un cuerpo para producir trabajo o generar calor. Estos conceptos son similares por lo que utilizan las mismas unidades en el Sistema Internacional de Unidades.



Estas unidades reciben el nombre de *Julios [J]*, en honor al físico inglés James Prescott Joule (1818-1889), quien logró establecer la equivalencia entre trabajo y calor.

Todos los cuerpos poseen energía dependiendo del estado en el que se encuentren, de tal forma que podemos diferenciar entre los distintos tipos de energía como la cinética, potencial, nuclear, electromagnética, térmica, etc.

- La energía cinética, es aquella que poseen los cuerpos en movimiento y la cual se puede aprovechar transformándola a energía eléctrica mediante los generadores eólicos.
- La energía potencial, se presenta gracias al efecto gravitatorio que ejerce el núcleo del planeta por lo que entre más altura con respecto a la superficie terrestre, más energía potencial, esta puede ser aprovechada mediante las caídas de agua con turbinas hidráulicas.
- La energía nuclear se genera mediante las reacciones que tienen lugar las partículas elementales y los núcleos atómicos de determinados elementos químicos y la cual es aprovechada por los reactores nucleares.

1.1.2. Energías renovables

En México se rigen este tipo de energías por medio de la “Ley para el aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética” (la LAERFTE³), donde en su Artículo 3 Fracción I, las define de la siguiente manera:

“Energías renovables. Aquellas, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que se enumeran a continuación:

El viento;

³ <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAERFTE.pdf>



La radiación solar, en todas sus formas;

El movimiento del agua en cauces naturales o artificiales;

La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: mareomotriz, maremotérmica, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal;

El calor de los yacimientos geotérmicos;

Los Bioenergéticos, que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, y

Aquellas otras que, en su caso, determine la Secretaría⁴, cuya fuente cumpla con el primer párrafo de esta fracción.”

1.1.3. Cambio climático

Se le denomina Cambio Climático al cambio de características climáticas como la temperatura, las precipitaciones, la presión atmosférica, nubosidad, el clima extremo a una escala global o regional.

El cambio en estas características se puede dar de forma natural o por causas antropogénicas como son las actividades humanas, además de emisiones de los llamados gases de efecto invernadero, aunque se piensa que estos últimos son la principal causa de este cambio debido a la capacidad de retener el calor proveniente del sol lo que causa un sobrecalentamiento en la atmosfera de la tierra.

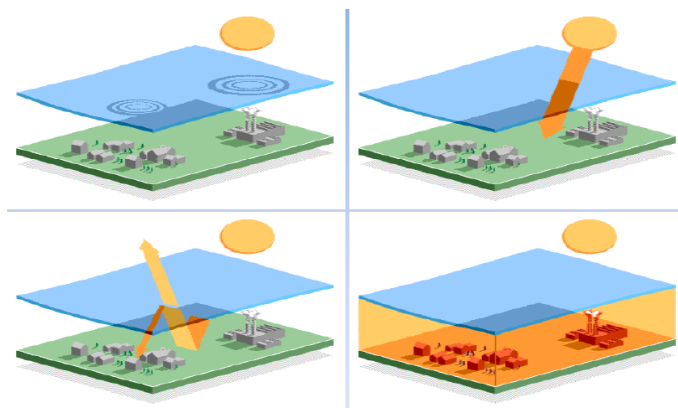


Figura 2 - Efecto Invernadero⁵

⁴ Secretaría de Energía

⁵ http://agr.unne.edu.ar/Materias/Agroclima/Cambio_Climatico.pdf, p - 8

En la tabla 2, se mostraran algunas características de los principales gases de efecto invernadero.

Tabla 2- Características de los gases

Nombre	Símbolo	Vida Media (años)	% emisiones totales	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono	CO ₂	5-200	55	1
Metano	CH ₄	5-10	15	23
Óxidos de nitrógeno	NO _x	170	6	296
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	3,200	15	20,000
Clorofluorocarbonos	CFCs	260	7	120-12,000
Otros	X	X	2%	X

También hay que señalar que cada gas posee diferentes características como el potencial de calentamiento global el cual es el grado de calentamiento que puede tener cierto gas comparándolo con el CO₂ del cual se toma como base que su potencial de calentamiento global es uno, partiendo de ahí se tiene cada uno de los gases con su valor característico.

Protocolo de Kioto:

El 11 de diciembre de 1997 los llamados países industrializados se comprometieron a ejecutar un conjunto de medidas para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, el acuerdo consistió en la reducción en al menos un promedio de 5% para el periodo 2008-2012, el acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005.

Actualmente hay un segundo protocolo de Kioto el cual considera un periodo del 2013 al 2020, pero con la gran problemática de que no se ha tenido un compromiso fuerte como anteriormente lo hubo por parte de países

industrializados tales como Estados Unidos, Rusia, Japón y Canadá los cuales decidieron no respaldar el acuerdo.

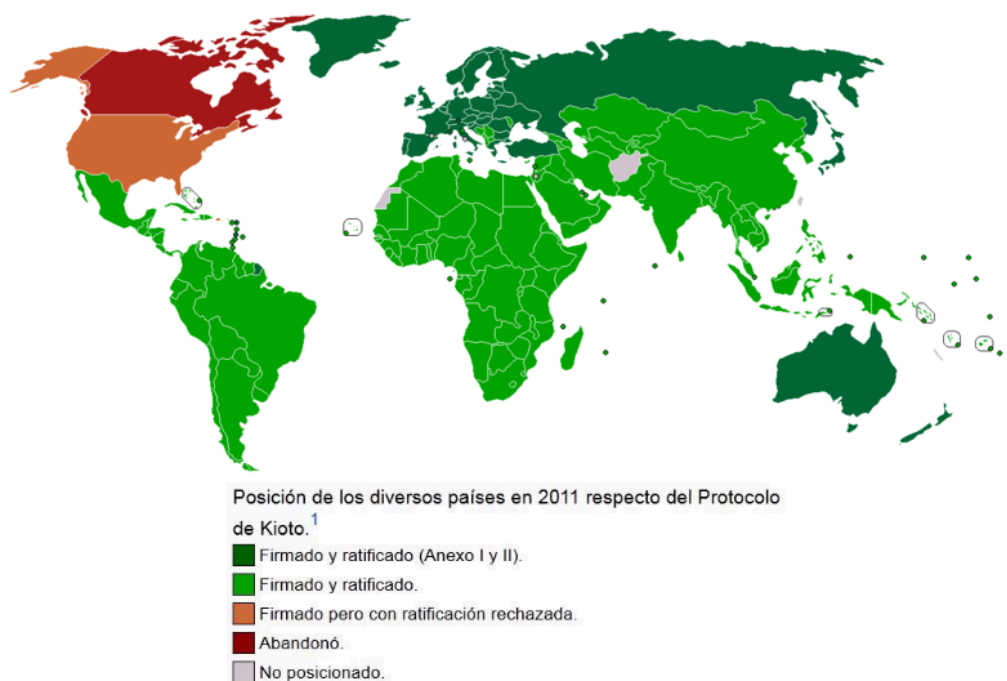


Figura 3 Países ratificantes al protocolo⁶

1.2. Aspectos generales de la energía solar

En este punto se dará una breve explicación de los aspectos que intervienen en el aprovechamiento de la energía solar como lo es el espectro solar, la energía solar aprovechable en el planeta y los procesos por los cuales se puede aprovechar esta energía.

1.2.1. El espectro solar

Como ya se mencionó, la energía que es emitida por el sol se manifiesta como un frente de ondas electromagnéticas. Este frente conforma lo que es conocido como

⁶ <http://blog.educastur.es/felipeangas/2012/02/15/7%C2%BA-aniversario-del-protocolo-de-kioto/>

espectro, la única diferencia entre una onda electromagnética y otra, es su frecuencia y por ende también su longitud de onda.

La frecuencia es el número de ciclos que hay en cada unidad de tiempo, se representa con la letra f y su unidad de medida es el hercio.

donde;

$$1 \text{ [Hz]} = 1 \text{ ciclo / segundo};$$

El símbolo [Hz] es en honor al físico alemán Heinrich Hertz

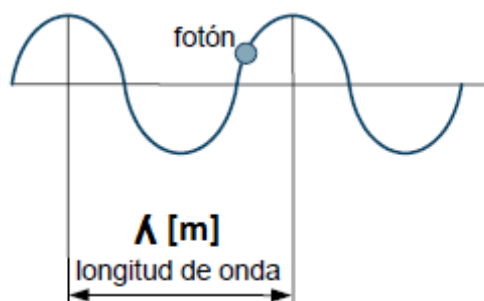


Figura 4- Relación entre frecuencia y longitud de onda

Además esta relación significa que a frecuencias bajas corresponden longitudes de onda largas y por el contrario a frecuencias altas corresponden longitudes de onda cortas.

Así, las ondas electromagnéticas pueden clasificarse en función de su longitud de onda y frecuencia.

En la figura 5, se muestra el rango del espectro en el que la luz es visible para los seres humanos.

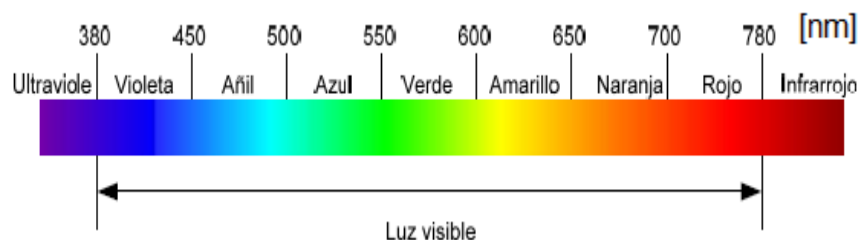


Figura 5 - Espectro de luz visible⁷

Por lo que la energía de un fotón [E], en general de cualquier onda electromagnética puede expresarse como:

Donde;

E Energía en [J]

$$E = h f$$

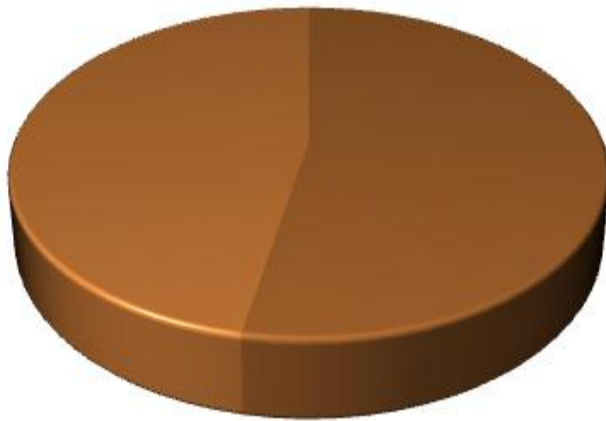
h Constante de Planck
= 6.62×10^{-34} [J s]

f Frecuencia del fotón [Hz]

1.2.2. Energía solar aprovechable

La energía solar es la fuente natural de energía más grande conocida hasta ahora. Sin embargo, no toda esta energía que llega a la Tierra puede ser aprovechada, del 100% de esta energía que llega a la atmosfera, la que logra llegar a la superficie terrestre es tan solo del 47%, lo que es considerablemente menor, esto debido a los efectos de difusión, absorción y reflexión que sufre la energía al atravesar la atmosfera.

⁷ <http://curiosidadcientifica.wordpress.com/tag/luz/>



53% Energía absorbida, reflejada y difundida por la atmosfera

47% Energía que incide sobre la superficie terrestre

Grafica 1 Distribución de la energía solar que llega a la Tierra

De la gráfica 1, del 53% de energía que no es aprovechable tan solo el 30% de esta es reflejada por la atmosfera hacia el espacio exterior.

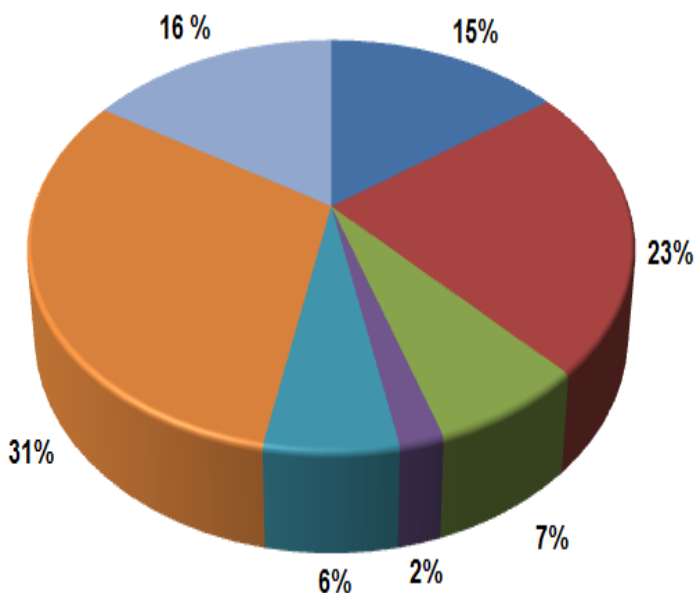
- El 15% de la energía es reflejada por las nubes.
- El 7% es reflejada por el suelo.
- El 6% se transforma en radiación difusa dirigiéndose al espacio exterior.
- Y el 2% es absorbida por las capas exteriores de la atmosfera

El 23% restante es absorbido por la atmosfera provocando así su calentamiento.

El otro 47% de la energía, la cual si es aprovechable origina ciertos fenómenos en la naturaleza.

- El 23% de esta energía es la responsable de la evaporación del agua de los océanos, lagos y ríos, teniendo como resultado el ciclo del agua el cual permite mantener el nivel de los embalses naturales estable.
- El 0.2% provoca los movimientos atmosféricos calentando el aire de la atmosfera y en consecuencia provocando el viento.
- El 0.02% es utilizado por la materia viva teniendo como lugar el fenómeno de la fotosíntesis, el cual es un proceso capaz de aprovechar la energía

15% de energía reflejada por las nubes



23% de energía absorbida por la atmósfera

7% de energía reflejada por el suelo

2% de energía absorbida por la estratosfera

6% de energía difundida por la
atmósfera hacia el exterior

31% de energía directa que
incide en la superficie terrestre

16% de energía difusa que
incide en la superficie terrestre

⁸ SEAS, Estudios abiertos, <http://mexico.seas.es/>; (diplomado sobre energía solar)

⁹ valor asignado de acuerdo a la 8a sesión de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación celebrada en la ciudad de México en 1981.

Al atravesar la atmosfera esta radiación solar, pierde intensidad, reduciendo su valor hasta unos 1000 W/m^2 , donde a este valor se le conoce como *1 Sol*.

1.2.3. Procesos artificiales de aprovechamiento

La energía proveniente del sol llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas, por lo que la energía en esta forma no puede ser aprovechada, por lo que debe ser transformada en otro tipo de energía la cual pueda ser útil, por lo que generalmente se opta por energía eléctrica o térmica.

La conversión a energía térmica consiste en calentar algún fluido de trabajo, que por lo general es agua evaporada con el calor que le proporciona la radiación solar por medio de *colectores solares* que utilizan materiales que puedan transmitir de forma fácil y eficiente el calor a ese fluido; y así el vapor generado puede ser aprovechado.



Figura 6 - Colector solar

Hay que mencionar que estos sistemas quedarán de lado para la elaboración de esta tesis.

La conversión a energía eléctrica, se logra por dos procesos físicos ligados en los cuales se aprovechan los fotones que se incluyen en las ondas electromagnéticas provenientes del sol.

Estos procesos serán descritos más adelante ya que se dará una breve introducción a la teoría eléctrica para que estos puedan ser comprendidos en su totalidad y así poder entender su funcionamiento.

1.3. Teoría eléctrica

Con los descubrimientos de los grandes físicos, a través de la historia, se encontró que los átomos están formados por núcleos de protones con carga eléctrica positiva (+) y neutrones los cuales no poseen carga neta, se descubrió también que alrededor de estos núcleos giraban los electrones de carga eléctrica negativa (-) los cuales eran más ligeros.

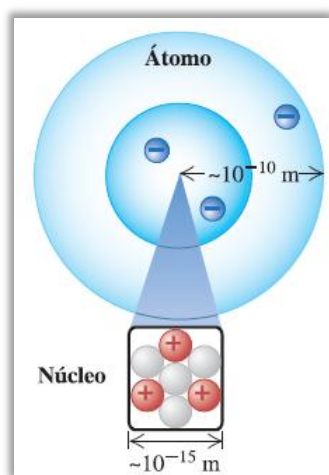


Figura 7 - Modelo atómico¹⁰

1.3.1. Corriente eléctrica

Una corriente eléctrica, es todo movimiento de electrones denominados electrones libres, los cuales tienen la libertad de trasladarse en todas direcciones dentro del material o superficie donde se encuentren, es por esta característica que se conocen como materiales conductores.

¹⁰ Física Universitaria, Sears & Zemansky, 11Ed, Vol. 2., p - 711

Este movimiento se da a una rapidez del orden de 10^6 m/s, aun así los electrones no escapan del material conductor, ya que son atraídos por las cargas positivas del material.



Su unidad de
medida es el
Amperio [A], en
honor al físico
francés
André-Marie Ampere
(1775-1836).
donde;
 $1 [A] = 1 [C/s]$ ¹¹

A la corriente eléctrica que pasa a través de un circuito eléctrico se le llama intensidad de corriente eléctrica I , además esta intensidad de corriente se puede presentar de forma directa o de forma alterna, a estas se les conoce como corriente directa (CD) y corriente alterna (CA).

La corriente directa CD, es en la que el flujo de electrones directo entre dos puntos con distinto potencial, en este recorrido, los electrones fluyen en la misma dirección como por ejemplo la que hay en las pilas o la que se genera con los paneles solares.

Esta corriente, se puede también definir por medio de la ley de Ohm la cual dice que la corriente eléctrica, es directamente proporcional a la diferencia de potencial que haya entre los dos puntos por donde circule e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica que posea el material.

¹¹ $C = 1$ Culombio = $6,24 \times 10^{18}$ electrones, es la medida de la magnitud física de la carga eléctrica de los electrones ya que los electrones son muy pequeños.

Donde;

I Intensidad de corriente
eléctrica [A]

$$I = \frac{V}{R};$$

V Diferencia de potencial [V]

R Resistencia [Ω]

En donde la resistencia eléctrica es la facilidad o dificultad del flujo de los electrones dentro del material conductor, su unidad es el Ohmio [Ω] y se representa con la letra R, la diferencia de potencial [V] también es llamada tensión eléctrica.

Por su parte la corriente alterna CA es aquella en la que la diferencia de potencial entre los dos puntos por donde circulara la corriente es producida por dos polos en los cuales el flujo de electrones no es siempre en el mismo sentido, yendo de un polo a otro dependiendo de la frecuencia a la que opere, aclarando que esta también contempla los fenómenos anteriores de tensión y resistencia eléctricas.

Así también para poder medir la potencia que no es más que el trabajo realizado por los electrones, se define como:

$$P = V I ;$$

Donde;

donde;

P Potencia [W]

V Diferencia de potencial [V]

$$1 [W] = 1 [J / s],$$

I Intensidad [A]

unidad de potencia

1.3.2. Semiconductores

Los semiconductores son materiales los cuales se caracterizan por tener cuatro electrones en su órbita, teniendo así una estructura atómica cristalina formada por enlaces de tipo covalente, lo cual significa que están compartidos.

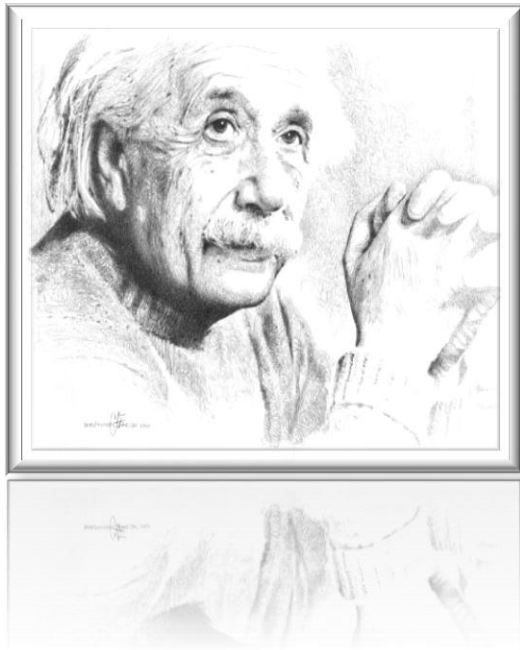
Para que estos materiales semiconductores puedan ceder electrones, se necesita una aportación de energía para liberarlo de su enlace la cual se conoce como energía de enlace o banda prohibida.

El silicio [Si] por ejemplo, es un material semiconductor de ser el elemento más abundante en la tierra después del oxígeno, además es de los más utilizados ya que su energía de enlace es de 1.12 [eV] (electrón-voltio), lo que significa que es la cantidad de energía necesaria para liberar un electrón de su enlace y formar un par electrón-hueco, lo que permitirá que al presentarse esto en todo el semiconductor se pueda producir una corriente eléctrica.

1.3.3. Efecto fotoeléctrico

Este efecto se produce cuando incide radiación electromagnética, ya sea luz visible o ultravioleta generalmente, sobre un material semiconductor.

Ya que la energía que se aporta gracias a los fotones incidentes es mayor a la energía de enlace mencionada anteriormente, se puede generar una corriente eléctrica a partir del desprendimiento de estos electrones y una diferencia de potencial generada entre dos puntos del semiconductor.



Albert Einstein
(1879-1955), recibió el
premio nobel en 1921
por la explicación
teórica del efecto
fotoeléctrico.

CAPITULO 2

CELDAS FOTOVOLTAICAS

2 CELDAS FOTOVOLTAICAS

HISTORIA.

- Los primeros experimentos sobre el efecto fotovoltaico empezaron en 1839 cuando el físico francés Edmund de Becquerel describió este efecto por primera vez a sus 19 años, encontrando que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando fueron expuestos a la luz.
- Poco más de 30 años después, cuando Heinrich Hertz estudió el efecto en ciertos sólidos en el año de 1870, descubrió que ciertos materiales cargados perdían más fácilmente su carga al ser iluminados con luz ultravioleta.
- En los años 40 se dio un paso grande en la comercialización de las celdas FV cuando Czochralski procesa el silicón cristalino puro y cuyo proceso lleva su nombre.
- En 1954 los laboratorios Bell usan el proceso Czochralski para producir una *celda fotovoltaica FV* de silicón cristalino con una eficiencia del 4%.

2.1. Principio de funcionamiento

Las celdas fotovoltaicas, funcionan por medio de los fenómenos anteriormente descritos, el efecto fotoeléctrico, los semiconductores y la corriente eléctrica, esto se da a partir de la unión de dos materiales semiconductores, uno de *tipo p* y el otro de *tipo n*.

En los tipos n, el material es alterado químicamente, añadiendo átomos de un cierto tipo, de forma que aumenten sus cargas libres en sus enlaces covalentes, y en los tipo p, es el mismo proceso solo que ahora se aumentarán los huecos o cargas positivas.

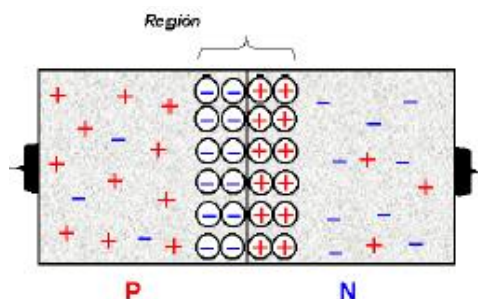


Figura 8 - Funcionamiento de las celdas FV

Actualmente en el mercado se ofrecen celdas FV de materiales semiconductores diferentes aunque actualmente las más utilizadas en instalaciones domésticas son las de silicio cristalino.

Las celdas FV son diferenciadas según su material de fabricación.

- Celdas de silicio cristalino.
- Celdas de silicio policristalino.
- Celdas de película delgada (Thin Film).
 - Celdas de silicio amorfas.
 - Celdas de CIS.
 - Celdas de CdTe.
 - Celdas de GaAS.
- Celdas orgánicas

Las celdas funcionan por medio de un circuito, el cual es formado por la unión de los materiales semiconductores y la incidencia de la radiación solar en estos, al desprenderse los electrones se produce una corriente eléctrica directa CD, ya que los electrones viajan en la misma dirección todo el tiempo, pero la dirección de esta corriente se da por la diferencia de potencial generada por las cargas eléctricas conectadas a los semiconductores las cuales consumirán la energía eléctrica generada por la celda solar, esto se ejemplifica en la figura 9 donde la carga eléctrica es un foco.

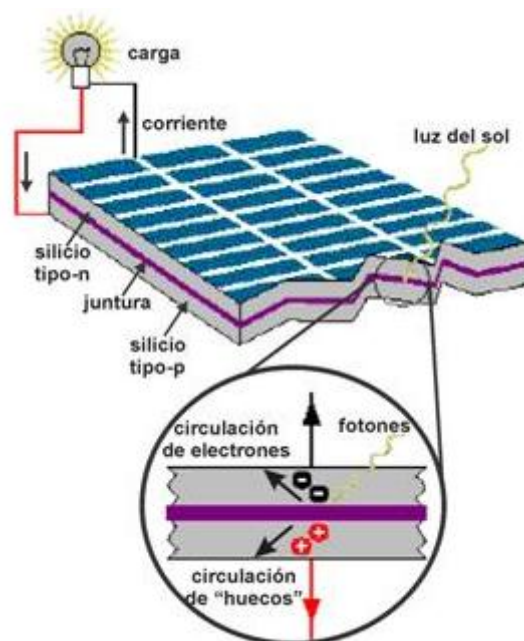


Figura 9 - Celda FV¹²

2.1.1. Celdas de primera generación

Las celdas de primera generación a pesar de ser las más antiguas, son hasta la fecha las más utilizadas ya que se ha logrado desarrollar esas tecnologías de tal manera que estas celdas pueden ofrecer eficiencias desde un 11% hasta 17%¹³, dependiendo del material semiconductor con el que sean fabricadas, estas celdas son las de silicio cristalino (también llamado monocristalino) o las de silicio policristalino

Celdas de silicio monocristalino; Estas se fabrican por el método Czochralski mencionado anteriormente, el cual consiste en la fundición del silicio puro en un crisol con una pequeña porción de boro, esto a una temperatura de 1400 °C, estando ya en estado líquido, se procederá a poner progresivamente los átomos

¹² <http://www.monografias.com/trabajos82/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones/energia-solar-fotovoltaica-y-sus-aplicaciones2.shtml>

¹³ IRENA (International Renewable Energy Agency), RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, p - 4 y 5; junio 2012

del material, formando así un monocristal cilíndrico el cual se cortará cuando se enfríe en obleas circulares o cuadradas de tres décimas de milímetro.

Después, se procede a la aplicación de los contactos para que los electrones entren y salgan a la celda fácilmente, esto se hace por medio de procesos químicos y electroquímicos en los cuales se inserta una rejilla de un material conductor de buena calidad y de geometría necesaria para poder recolectar electrones tratando de que se tape lo menor posible la superficie de la celda.

Estas celdas presentan eficiencias según la física cuántica, un valor de 23% de eficiencia al silicio (en laboratorio), aunque las celdas comerciales, las cuales son fabricadas en masa en procesos industriales, presentan valores de entre 14% y 19%¹⁴

Estas presentan las eficiencias más altas de este tipo de celdas, aunque el consumo de energía para su fabricación y tiempo es mayor, fabricándose generalmente de una medida de 5" y 6".



Figura 10 - Celda FV monocristalina¹⁵

¹⁴IRENA (International Renewable Energy Agency), *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES*, p - 5; Junio 2012

¹⁵<http://www.enforce-eeen.eu/esp/category/tecnologias/energia-solar-fotovoltaica/>

Celdas de silicio policristalino; Estas se fabrican por el procedimiento de bloque fundido, el cual consiste en calentar el silicio puro hasta que pase a su forma líquida, después es vertido en moldes de medidas controladas, al solidificarse los cristales del material se sitúan en direcciones irregulares, ya solidificado el molde se cortan estos a una medida de 0.3 [mm] de espesor

El color azulado que presentan estas celdas se obtiene por el baño de un tipo de anti reflejante, dependiendo del tipo que haya sido aplicado, este puede cambiar de color aunque comúnmente es de color azul ya que las celdas que mejor absorben y menos reflejan la radiación solar son las de este color.

Su eficiencia es más baja que las de silicio monocristalino, presentando eficiencias de entre 11% y 15%¹⁶ siendo fabricadas con una medida de 5", 6" y 8".

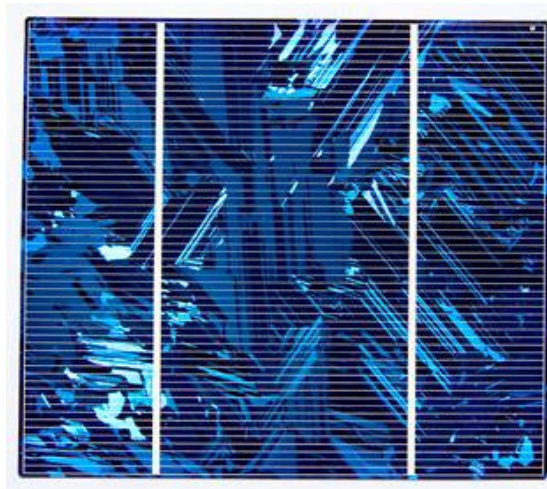


Figura 11- Celda FV policristalina¹⁷

¹⁶IRENA (International Renewable Energy Agency), *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES*, p - 5; Junio 2012

¹⁷<http://www.enforce-eeen.eu/esp/category/tecnologias/energia-solar-fotovoltaica/>

2.1.2. Celdas de segunda generación

Después de más de 20 años de desarrollo, las celdas FV de película delgada (*Thin-Film*), están empezando a implementarse en el mercado en cantidades significativas, esto gracias al desarrollo de diferentes tecnologías como la deposición química de vapor y la galvanoplastia la cual reduce las temperaturas en los procesos de fabricación.

Celdas de silicio amorfo; estas se fabrican aplicando silicio vaporizado sobre un material base como el vidrio, posteriormente es sometido a diferentes tratamientos para su fijación, además de colocarle sus contactos.

Gracias a su proceso de fabricación, el material semiconductor es de 0.5 a 2 μm siendo mucho más fino que el utilizado en las celdas cristalinas, además de que se utiliza menos material semiconductor, reduciendo así su precio un 40% aproximadamente, sus eficiencias se dan del 4% al 8%¹⁸.



Figura 12 - Celda FV amorfa¹⁹

¹⁸IRENA (International Renewable Energy Agency), *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES*, p - 5; junio 2012

¹⁹<http://www.enforce-eeen.eu/esp/category/tecnologias/energia-solar-fotovoltaica/>

Celdas de telurio de cadmio (CdTe); Estas son fabricadas a partir de dos materiales que no se obtienen directamente, esto ha sido un problema ya que el cadmio se obtiene a partir de la minería del zinc, además de que por su alta toxicidad su uso es muy limitado, por su parte el telurio es un producto obtenido a partir del procesamiento del cobre, lo que provoca disponibilidad a largo plazo y una producción mucho menor al cadmio.

2.1.3. Celdas de tercera generación

En esta generación, se encuentra hoy en día en una etapa de demostración, por lo que hasta hace pocos años estas empezaron a ser comercializadas y hasta la fecha, esperando tener éxito como lo están empezando a tener las de segunda generación y el obtenido ya por las de primera generación.

Celdas de tinte sensibilizado; Su fabricación se basa en estructuras de semiconductores formadas por un foto ánodo y una molécula de tinte sensibilizado (electrolito), el foto ánodo absorbe los fotones y la molécula del tinte es la responsable de la separación de la carga eléctrica²⁰, este efecto se dice que es similar al de la fotosíntesis natural.

Estas celdas son atractivas porque utilizan materiales de bajo costo y son fáciles de fabricar, ya que liberan electrones gracias a sus pigmentos absorbentes de luz, sin embargo su rendimiento se puede degradar con el tiempo debido a la exposición de los rayos UV, además de que el uso de un electrolito líquido puede ser problemático habiendo un riesgo de congelación en zonas con temperaturas muy bajas.

²⁰ Este tipo de celda solar también se conoce como la celda Grätzel, por su inventor Michael Grätzel.

Estas celdas han tenido eficiencias de hasta 12% en el laboratorio, pero sus eficiencias comerciales solo van del 4% al 5% ²¹ respectivamente, la razón principal de esto es que actualmente hay muy pocos tipos de tinte capaces de absorber una buena cantidad de luz.

Celdas orgánicas; Estas se fabrican a partir de compuestos orgánicos o materiales tales como polímeros orgánicos o pequeñas moléculas orgánicas creadas a partir de la química orgánica sintética, una de sus grandes ventajas es que son baratas, pero no muy eficientes.

Aunque todavía se considera como una tecnología en desarrollo, sus mejoras debido al gran interés que se tiene en este tipo de celdas, han llevado a obtener eficiencias en el laboratorio de hasta 6% a 8% y para las celdas comerciales se presentan con eficiencias del 4% a 5%²².

2.2. Actualidad

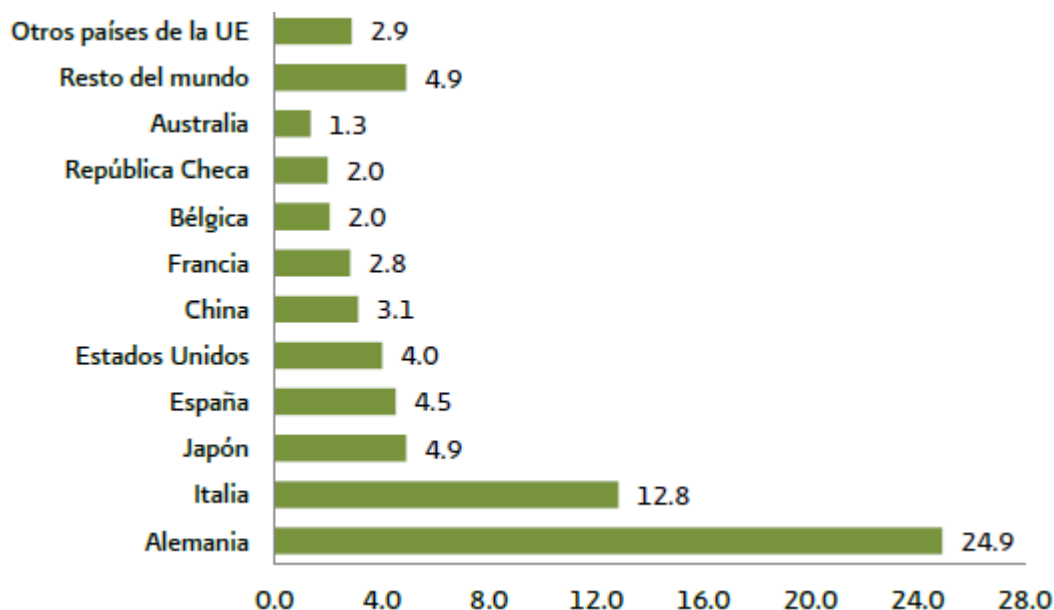
Aunque las tecnologías PV no han alcanzado la madurez en términos de desarrollo e investigación, se han tratado de analizar también la partes externas a las eficiencias de los sistemas FV dependiendo en la tecnología utilizada en la fabricación de las celdas, se deben analizar las reducciones en los costos de la electricidad producida y avanzar quizás también en el desarrollo de mejores materiales, la flexibilidad de sus usos lo que conllevaría a una mayor competitividad y así tener un mejor desarrollo de objetos que se integren a la vida diaria.

²¹IRENA (International Renewable Energy Agency), *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES*, p - 5; Junio 2012

²²IRENA (International Renewable Energy Agency), *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES*, p - 7; Junio 2012

Esta tecnología ya se aplica en más de 100 países en todo el mundo, además de ser la tecnología más dinámica en los últimos años. En la última década, la capacidad FV instalada creció un 44%, se calcula que se logró instalar una capacidad de 17 GW conectados a red solamente en 2010, finalizando con una capacidad de 40 GW²³.

Ya en 2011 el mercado FV tuvo un gran crecimiento, instalándose alrededor de 30 GW en todo el mundo, incrementando de esta forma un 74% llegando hasta los 70 GW, de esta manera, la capacidad instala en 2011 fue 48 veces la capacidad instalada una década antes.



Grafica 3 - Capacidad instalada con sistemas FV en 2011, Países principales²⁴

2.2.1. Visión en el mundo

China; La industria FV en este país ha crecido de manera acelerada, hoy en día es el país con mayores exportaciones de celdas FV; La producción anual de celdas FV fue de 2 GW, además de la capacidad instalada en 2011 se calcula en 2.1 GW.

²³ Renewables 2010, Global Status Report, REN21, 2010

²⁴ Renewables 2012, Global Status Report, REN21, 2012

Europa; La unión europea dominó el mercado en 2011, ya que logró instalar el 57% de la capacidad total instalada en ese año, esto solamente con las aportaciones de países líderes en la industria como Alemana e Italia. En ese mismo año Alemania fue el país que mayor crecimiento registró en instalaciones fotovoltaicas con 10.8 GW, alcanzando un total de capacidad instalada con sistemas FV de 26.2 GW.

EUA; En Estados Unidos la caída de los precios ayudó muchísimo, con lo que se logró que la capacidad instalada en 2011 fuese de casi 4 GW. Tan solo en California siendo el estado líder en ese país se cuenta con el 29% de la capacidad total instalada, seguido de Nueva Jersey con el 17% y Arizona con el 15%.

Otros países; además de los países ya mencionados y los cuales son líderes en el mercado mundial FV, estos estuvieron seguidos aunque en menor escala por países como Australia con una aumento en 2011 de capacidad total instalada de 0.8 GW, mientras que Japón aportó en ese mismo año lo que le concede el tercer lugar con 1.3 GW.

Mientras tanto en el Tíbet se instaló el sistema interconectado a red con la mayor altitud sobre el nivel del mar con una capacidad de 10 MW, de la misma forma en Kenia, se instaló el sistema con mayor capacidad en el África subsahariana con 0.5MW.

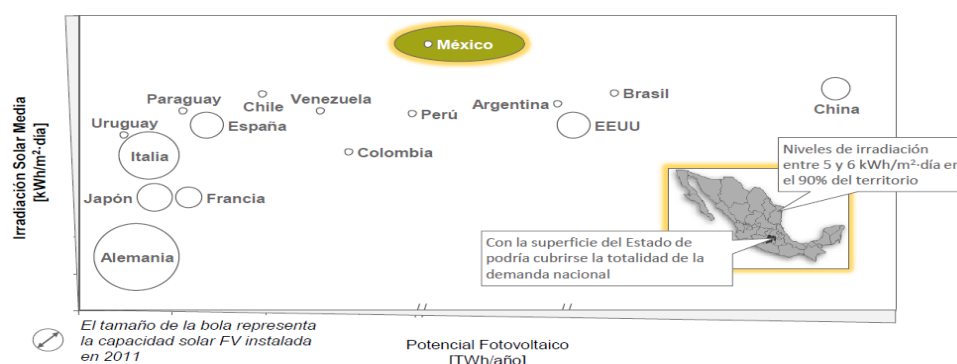
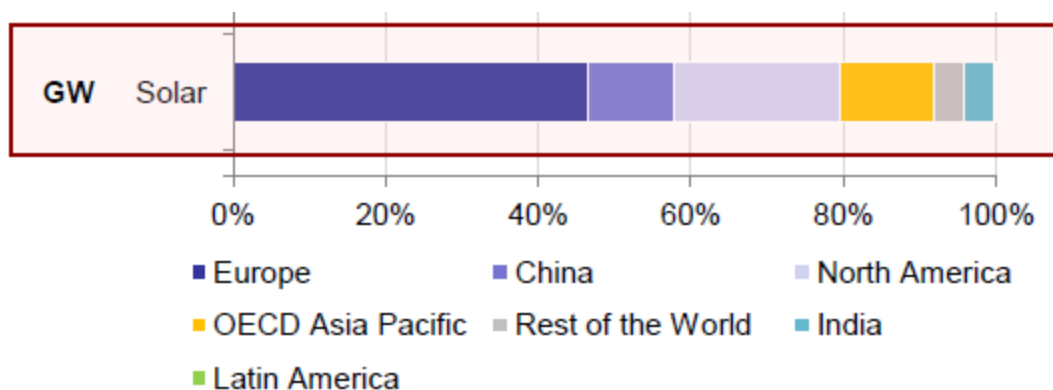


Figura 13 - Potencial FV vs Irradiación solar²⁵

²⁵ *Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, energía solar FV, noviembre 2012, p - 10*



Grafica 4 - % de inversiones en la tecnología FV, 2011-2025²⁶

2.2.2. Visión en México

Se espera que para el 2020 haya ya instalados unos 1.5 GW ²⁷ de capacidad FV, lo que significaría un incremento en el PIB, así como la generación de 12 400 nuevos empleos.

En cuestión ambiental, esto permitirá capturar el ~2% del potencial de abatimiento de emisiones de CO₂ para 2020, reduciendo 1.4 MtCO₂ (millones de toneladas), así como la reducción de pérdidas de alrededor de un 4% en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

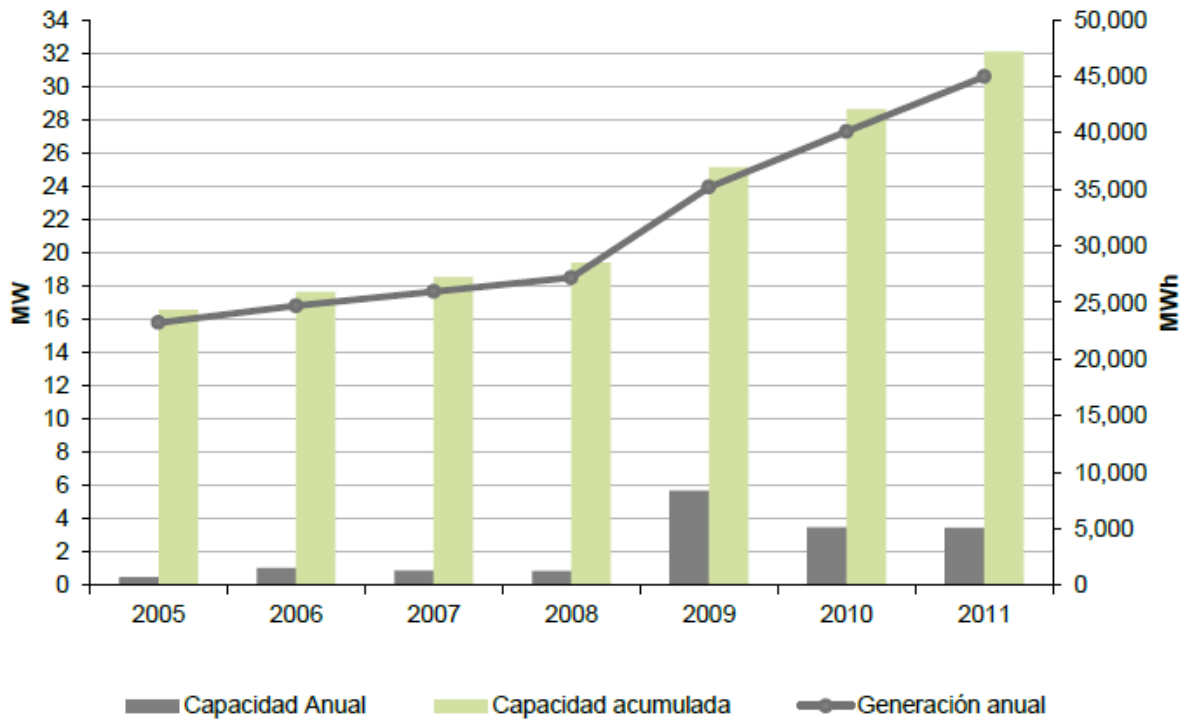
Esto permitirá también contribuir a la reducción de la demanda pico en determinadas regiones del país al estar generando en horas de alta demanda eléctrica, al mismo tiempo de que esto permitirá tener un desarrollo en las investigaciones y proyectos.

En el año 2011, de los 3.5 MWp instalados, alrededor del 94% fueron sistemas interconectados a red, para que así en términos de capacidad acumulada, esta aumentó de 16.5 MWp a 32 MWp, para que así la generación aumentara de 23,235 MWh en el 2005 a 44,974 MWh para el 2010²⁸.

²⁶ IHS, *Emergency Solar PV Markets*, septiembre 2011

²⁷ *Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México, energía solar FV*, noviembre 2012, p - 27

²⁸ *Programa de fomento de sistemas FV en México*, PROSOLAR, julio 2012, p - 29



Grafica 5 - Evolución de la capacidad instalada y energía generada con sistemas FV en México²⁹

De entre los principales obstáculos para el desarrollo de un mercado fotovoltaico en México, destacan lo que se presentan a continuación en la Tabla 3

Lo que se tiene en materia legal y regulatoria se discute más adelante en la sección 3.2.

²⁹ Programa de fomento de sistemas FV en México, PROSOLAR, julio 2012, p - 29, Datos SENER, 2012

Tabla 3 - Obstáculos para el desarrollo del mercado FV en México³⁰

Tipo de obstáculo	Obstáculo
Financiero	• Monto de inversión inicial elevado • Mercado poco competitivo • Altos costos de transacción • Limitada oferta de financiamiento
Legal, regulatorio y normativo	• Desconocen beneficios ambientales • Falta de estándares de garantía en los sistemas • Falta de transparencia en la regulación
Técnico	• Bajo desempeño y eficiencia de los sistemas • Poca flexibilidad en los diseños • Los diseñadores no consideran las necesidades del comprador
Falta de capacidades	• Los productos y servicios todavía no maduran • No hay agotamiento de la disponibilidad en invertir en estos sistemas
Falta de información	• No hay información suficiente sobre el mercado potencial y los vendedores no llegan a los posibles compradores • No proporciona información sobre los posibles beneficios por parte de los distribuidores • Falta de información sobre su desempeño • Falta de información en materia ambiental

³⁰ Programa de fomento de sistemas FV en México, PROSOLAR, julio 2012, p - 24

CAPITULO 3

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMÉSTICOS INTERCONECTADOS A RED

3 SISTEMAS FV DOMÉSTICOS INTERCONECTADOS A RED

Los sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica, pueden ser instalados en cualquier parte ya que el recurso solar se presenta en todos los lugares del planeta, por lo que se tiene una amplia variedad de aplicaciones dependiendo de las tecnologías ya mencionadas con que hayan sido fabricadas las celdas generadoras.

Las instalaciones domésticas interconectadas a red se han convertido en los últimos años en una opción de mucho interés dado su alto potencial para utilizarse en las zonas urbanas donde se cuenta cercanamente con una red eléctrica.

Existen dos tipos de sistemas FV domésticos, los sistemas interconectados a la red y los sistemas aislados.

Ya que el objetivo de esta tesis es implementar un modelo que nos permita saber bajo que parámetros económicos, técnicos y ambientales es viable económicamente el instalar sistemas FV a un nivel doméstico, se dejarán de lado los sistemas aislados y nos enfocaremos al estudio de los sistemas interconectados.

3.1. Componentes

Un sistema fotovoltaico doméstico interconectado a red está formado por distintos elementos los cuales han podido ser desarrollados gracias a los avances tecnológicos no solo en la generación de las celdas FV, sino también en el avance tecnológico en otros campos de la ciencia como la electrónica y la eléctrica de potencia, lo que ha permitido el desarrollo para tratar de mejorar la eficiencia y el funcionamiento de estos dispositivos, así como sus costos de fabricación y por ende sus precios en el mercado.

3.1.1. Módulo solar (generador)

El módulo solar está compuesto por un conjunto de paneles solares, los cuales a su vez están formados por las celdas solares individuales.

Este conjunto de arreglos están asociados para funcionar como si fuese una sola celda FV y así generar la energía eléctrica en función de su eficiencia, la disponibilidad solar y la potencia del módulo dependiendo del número de paneles solares por los que esté integrado, diferenciando siempre entre las eficiencias y potencias de las celdas, los paneles y el módulo en particular.

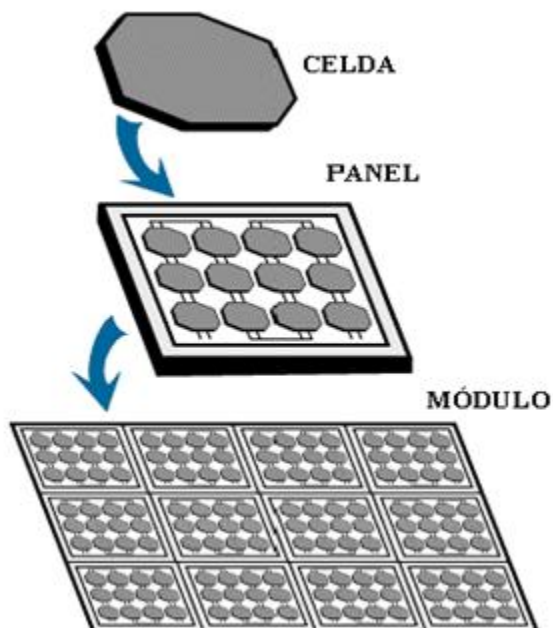


Figura 14 - Generador

3.1.2. Inversor

Como ya se ha mencionado, la energía eléctrica generada por las celdas FV, en este caso por el módulo FV, se hace en forma de corriente directa CD, esta corriente deberá ser invertida para poder así ser inyectada a la red la cual opera en corriente alterna CA a una frecuencia de 60 Hz para el caso de México.

El inversor deberá ser capaz de transmitir la corriente suministrada por el módulo al mismo tiempo que la está invirtiendo adecuándola a la misma tensión por lo que se deberá de cuidar la tensión de entrada con la cual opera el módulo FV y la tensión a la cual se va a interconectar a la red, así también como la frecuencia con la que opere la red a través de un medidor bidireccional y sus respectivas protecciones.



Figura 15 - Ejemplo de inversores

3.1.3. Dispositivos de interconexión

Estos dispositivos, contemplan los dispositivos de protección y medición, para la parte de las protecciones, esta se tendrá que hacer tanto en el lado de CD, como en el de CA, las protecciones son las cajas de interruptores, poseen sus correspondientes fusibles los cuales protegerán tanto al sistema FV como a la red eléctrica donde vaya a interconectar el sistema de sobre corrientes y sobre tensiones que se pudiesen presentar por lo que la protección será tanto manual como automática.

También se podrá utilizar un regulador el cual se encargará de proteger el sistema FV librando a la corriente eléctrica que se esté inyectando a la red, de las sobre cargas y sobre descargas que pudiesen generarse en el sistema, por medio de interruptores de desconexión o diodos de bloqueo.

Así mismo también se contempla el medidor bidireccional el cual será el encargado de medir la diferencia entre la energía eléctrica inyectada a la red por parte del sistema FV y la energía eléctrica consumida de la acometida de la CFE.

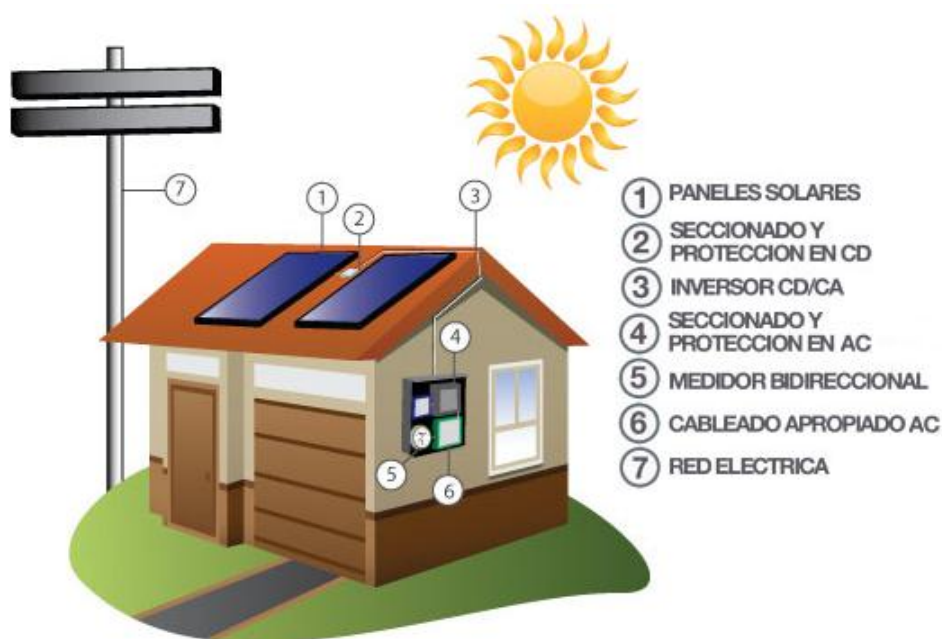


Figura 16 - Sistema FV doméstico interconectado a la red

3.2. Marco legal y regulatorio en México

En México como en cada país, existe un marco legal y normativo para la generación de la energía eléctrica, así como para el servicio público de energía eléctrica, estas se basan en leyes, decretos y acuerdos nacionales como internacionales para tratar de brindar un mejor servicio al mismo tiempo que se piensa en la parte ambiental.

*Ley general de cambio climático*³¹; Ley publicada el 6 de junio de 2012 en el Diario Oficial de la Federación (el DOF), la cual tiene como propósito garantizar un medio ambiente sano, estableciendo la concurrencia de los tres ejes de gobierno

³¹ LGCC, DOF, 2012 (<http://tinyurl.com/LGCC-DOF>)

en el país (ejecutivo, legislativo y judicial) para la aplicación de políticas públicas por medio de dos ejes que son, la adaptación al cambio climático y la mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero.

En cuanto a la mitigación de gases de efecto invernadero, México se compromete a reducir 30% sus emisiones hacia 2020; así como hasta un 50% hacia el 2050 teniendo como base las emisiones del año 2000.

*Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)*³² y su reglamento³³; Ley publicada a finales de 2008 en el DOF, la cual tiene como propósito regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de energía eléctrica con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica. Su reglamento³⁴ fue publicado en el DOF el 2 de septiembre del 2009, incluyendo aspectos más específicos para la remuneración de proyectos de energía renovable.

*Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña y Mediana Escala*³⁵; Publicado el 8 de abril de 2010 en el DOF por parte de la Comisión Reguladora de Energía (la Comisión), teniendo como propósito establecer los derechos y obligaciones por parte de un usuario que interconecta una fuente de energía renovable al SEN.

Estos contratos se basan en el principio de *medición neta*, la cual se lleva a cabo con un medidor bidireccional que como ya se mencionó, este calcula la diferencia entre la energía eléctrica inyectada por la fuente de energía renovable y la energía eléctrica consumida.

³² LAERFTE, DOF, 2008 (<http://tinyurl.com/947pccg>)

³³ RLAERFTE, DOF, 2 de Septiembre de 2009 (<http://tinyurl.com/947pccg>)

³⁴ Este reglamento no incluye alguna disposición aplicable al autoabastecimiento de usuarios del sector residencial

³⁵ www.cre.gob.mx/documento/1770.pdf

En el caso de pequeña escala es posible conectar un sistema FV a la red eléctrica de CFE en tensiones inferiores a 1 kV y hasta con una capacidad de 30 kW. En el caso de mediana escala, el principio es el mismo, solo que se permite entregar la energía asociada hasta una capacidad máxima de 500 kW y en tensiones que no sean mayores a 69 kV.

Contrato de Interconexión para Fuente Colectiva de Energía Renovable o Sistema Colectivo de Cogeneración en Pequeña Escala (será publicado por la CRE); A este tipo de contrato aplicará todo lo relacionado con pequeña escala mencionado en el párrafo anterior, pero con la característica de que la fuente colectiva de energía renovable le pertenece a un grupo generadores, además la energía generada por la fuente colectiva, es dividida, para efectos de facturación, entre los dueños dependiendo del porcentaje en la inversión realiza por cada uno de los dueños.

También se establecieron una serie de reglas técnicas que eviten molestias o daños a otros usuarios debido a que estos sistemas pueden disminuir o dejar de generar dependiendo del clima, desarrollando así el siguiente marco normativo.

- Especificación de interconexión en baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW (CFE G0100-04).³⁶.
- Reglas Generales de Interconexión al SEN para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente (publicadas en el D.O.F. por la CRE, el 22 de mayo de 2012)³⁷.

³⁶ <http://tinyurl.com/CFE-G0100-04>

³⁷ <http://tinyurl.com/CFE-Reglas-Interconexion>

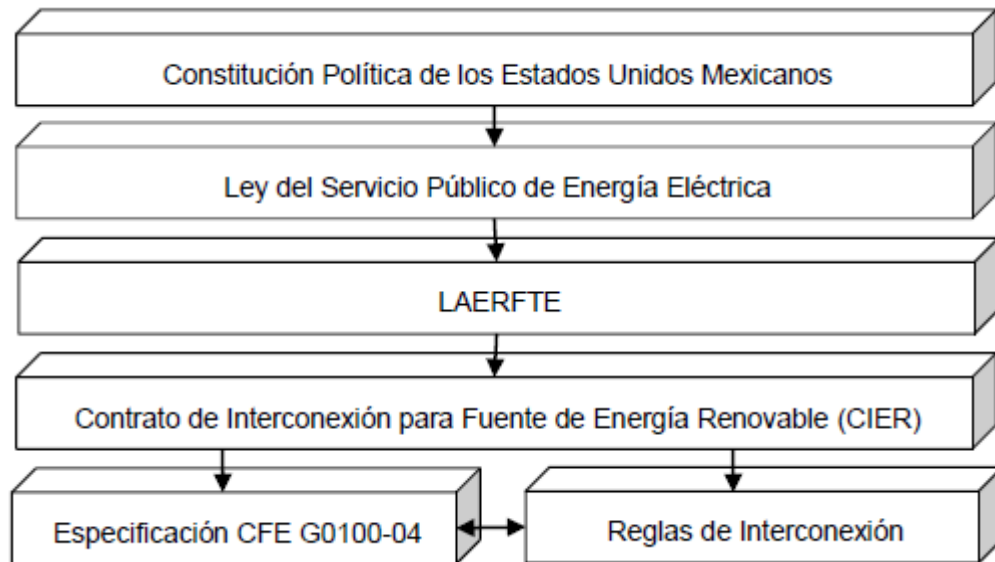


Figura 17 -Marco legal, regulatorio y normativo para el uso de sistemas FV en el sector residencial en México³⁸

³⁸ Programa de fomento de sistemas FV en México, PROSOLAR, julio 2012, p - 33

CAPITULO 4

MODELO (FotoCost)

4. MODELO DE ANÁLISIS (FOTOCOST)

A lo largo de este capítulo se explicará la estructura del FotoCost, los datos necesarios para hacer las simulaciones y la forma de ingresarlos, la interpretación de los resultados y la forma de realizar estudios de sensibilidad.

Como ya se ha mencionado, esta tesis ha sido elaborada para poder analizar los sistemas fotovoltaicos a nivel doméstico comparando el costo de suministro de la energía eléctrica por parte de la CFE ($\$/\text{kWh}_{\text{CFE}}$) contra el costo de la energía generado con el sistema fotovoltaico ($\$/\text{kWh}_{\text{SOLAR}}$).

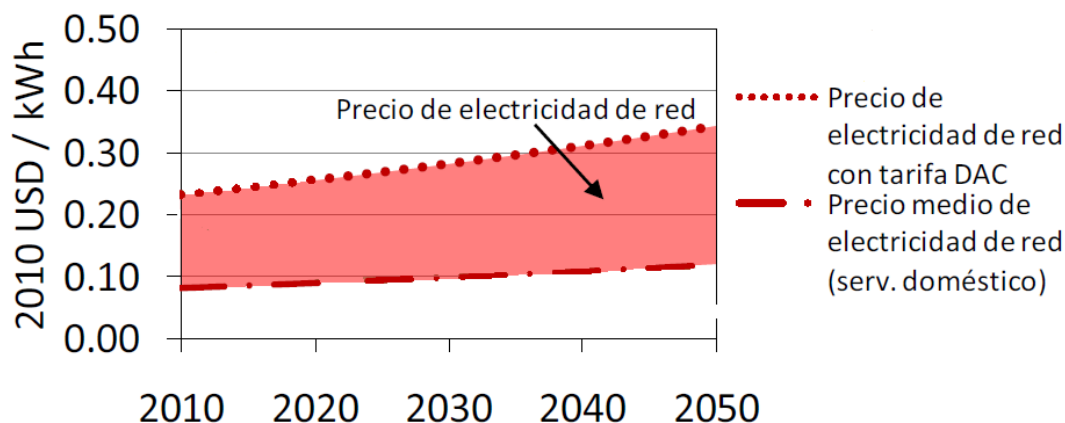
El costo de suministro está basado en los costos que reporta la CFE con respecto a sus tarifas domésticas. Existen ocho tarifas domésticas en México, siete que son las comúnmente aplicadas y las cuales se clasifican de acuerdo con la temperatura ambiente y región geográfica dentro de la República Mexicana, ya que entre mayor es la temperatura en las diferentes zonas, mayor es el consumo de la energía eléctrica; Esto debido a que en la temporada de verano se utiliza el aire acondicionado haciendo que los consumos se incrementen y en temporadas de invierno sucede lo mismo solo que con calefactores para las bajas temperaturas.

Tabla 4- Tarifas domésticas CFE³⁹

Tarifa	Límites de consumo kWh/mes
1	250
1A	300
1B	400
1C	850
1D	1,000
1E	2,000
1F	2,500
DAC	< Límites de consumo

³⁹ Para una mejor consulta, [Tarifas - CFE](#)

La octava tarifa doméstica es la DAC, esta tarifa es muy costosa a comparación de las demás con alrededor de tres veces el costo de la tarifa doméstica común. Esta tarifa aplica para los usuarios del servicio público de energía eléctrica de los cuales su consumo promedio de los últimos 12 meses sea mayor al límite establecido en la tarifa que aplica en esa localidad.



Grafica 6 - Comparación de las tarifas domésticas comunes y la tarifa DAC40

4.1. Metodología

El modelo está basado en la metodología que se presenta en el Copar (Costos y Parámetros de Referencia para la formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico), que es el cálculo del Costo Nivelado de Generación el cual para esta tesis será el CNG_{SOLAR} .

Como todo proyecto de inversión, se deberá de iniciar con el estudio de factibilidad técnica y económica para saber si es viable o inviable la inversión en ese proyecto, el método considera dos periodos, el de construcción y el de operación; El primero se tomará como 1 año debido al periodo de instalación de estos sistemas el cual es menos a un año pero por motivos de análisis se considerará

⁴⁰ Datos del IIE

de esta forma, y para el segundo periodo se considera desde que empieza a generar la central hasta que termina su vida útil.

En estos dos periodos se deben de considerar todas las erogaciones realizadas para así poder tener un costo nivelado de la energía que generará el sistema fotovoltaico, los gastos serán los realizados por los costos de inversión, costos de financiamiento (si lo hubiese), y los costos de operación y mantenimiento, así también los ingresos se verán reflejados por lo que se le deja de pagar a la CFE por el consumo de energía eléctrica sin olvidar que a pesar de que el sistema cubriese el 100% del consumo en ese domicilio, se deberá de pagar siempre un cargo mínimo a la CFE por el simple hecho de estar conectado al Sistema Eléctrico Nacional SEN y el cual es equivalente a 25 kWh de energía consumida.

En la figura 18 se muestran los gastos acumulados de todo el proceso de funcionamiento de la central, esto desde su instalación hasta su operación, estos periodos se dan de manera anual considerando que se incurre en erogaciones de forma continua, aunque para el análisis se considerarán de forma discreta y suponiendo que estos gastos se dan al principio de cada año.

Además en la parte superior se observan los gastos acumulados para cada periodo anual de la central, mientras que en la parte inferior, se muestra la convención de una flecha representando la magnitud de los gastos acumulados en cada año.

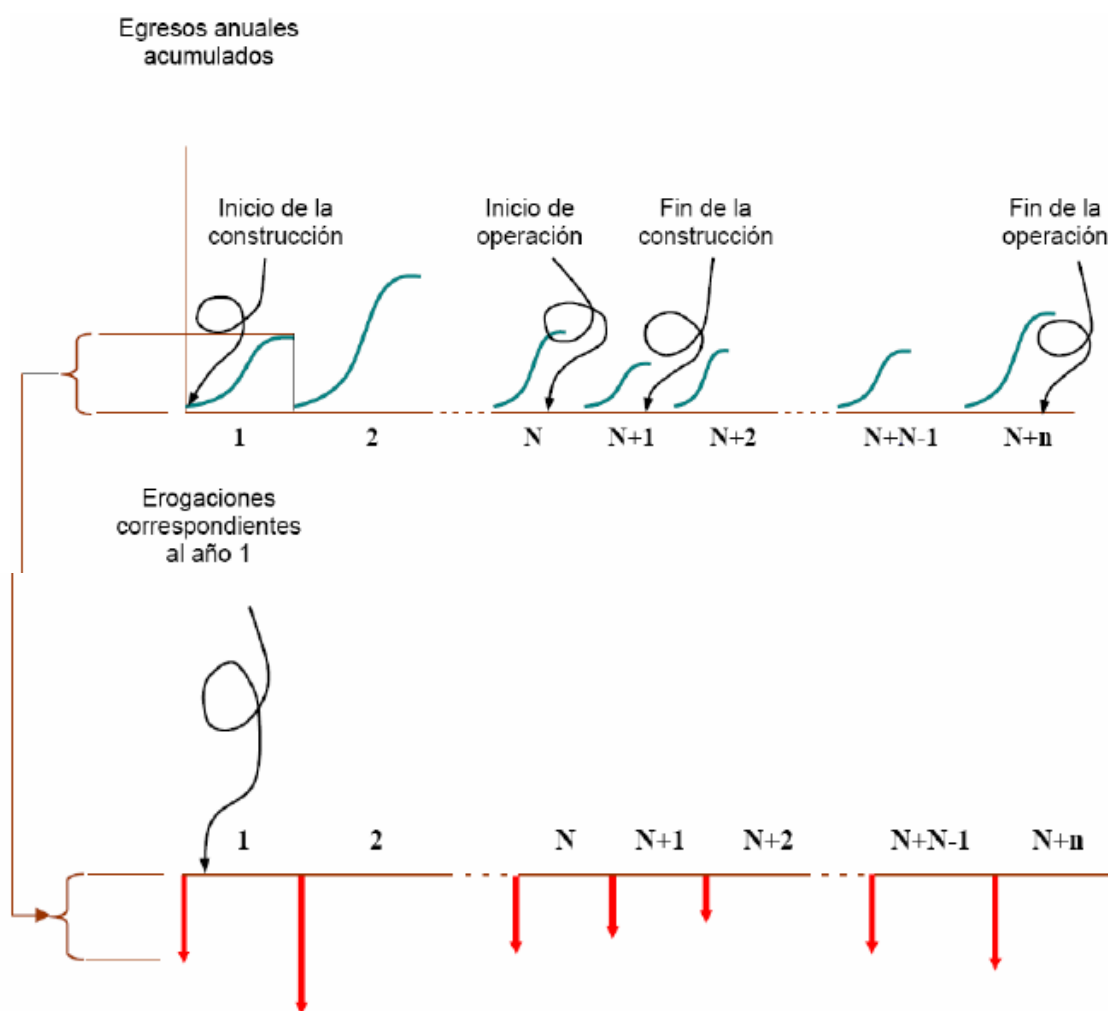


Figura 18 - Flujos de inversión y operación⁴¹

Así mismo en la figura 19, se muestran los costos incurridos en el periodo (1, 2,...,N), los cuales corresponden a las inversiones y los incurridos en el periodo (N+1, N+2,...,N+n) corresponden a los costos de O&M y *en el caso de esta tesis, de también financiamiento*. Como se observa, para facilitar el análisis económico, se considera que el principio del año cero es el inicio de operación, esto para poder recorrer arbitrariamente la numeración de los años para que así la construcción vaya del año $-N$ al año -1

⁴¹ Copar 2005

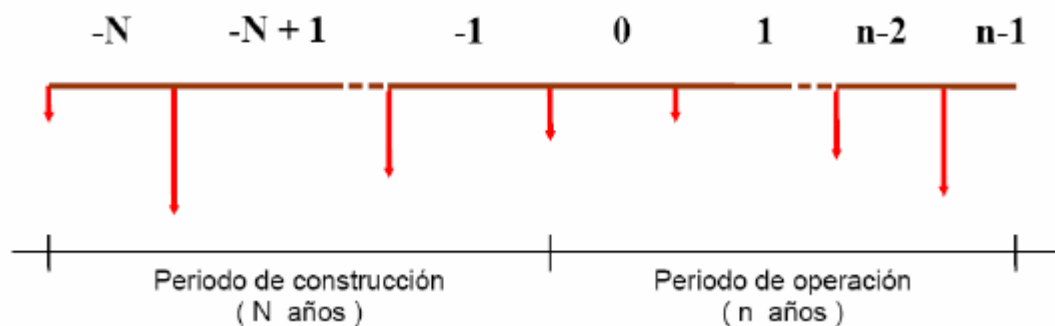


Figura 19 - Flujo convencional de erogaciones durante la construcción y operación de una central⁴²

Entonces para el Costo Nivelado de Generación⁴³ el cual es el costo medio del bien o servicio producido y sirve particularmente para comparar dos o más proyectos optativos de diferentes características técnicas y financieras pero teniendo siempre el mismo producto.

Para la determinación del CNG_{SOLAR} en \$ / kilowatt-hora, se deberán involucrar características técnicas, económicas y hasta ambientales como lo son el factor de planta el cual dependerá de las horas de sol al día, los costos de inversión, la vida útil del sistema, la generación por unidad instalada, la tasa de descuento, el periodo de financiación así como los intereses que genere el financiamiento, la capacidad y área requeridas para cubrir la demanda deseada, aunque estas características se deberán de representar por medio de sus costos en una sencilla ecuación la cual considera los costos totales de inversión, los costos totales de su operación y mantenimiento, así como la generación anual durante la vida útil del sistema.

⁴² Copar 2005

⁴³ Copar 2005

Por lo que:

Donde;

$$(I) \dots CNG_{SOLAR} = \frac{C_T I + C_T O\&M}{G_T}$$

CNG Costo Nivelado de Generación solar

$C_T I$ Costo total de inversión

G_T Generación total

Considerando que:

Donde;

$$(II) \dots C_T I = C I_i + C Fin$$

$C_T I$ Costo total de Inversión

$C I_i$ Costo de Inversión inicial

$C Fin$ Costo de financiamiento

Entonces:

$$(III) \dots CNG = \frac{C I_i + C Fin + C_T O\&M}{G_T}$$

Para poder calcular el CNG a través de cada año en toda la vida útil del sistema, se deberá de considerar el Factor de Valor Presente “fvp”, el cual nos permitirá obtener en valor presente los costos de años futuros, a lo que se le denomina como el valor del dinero en el tiempo, esto se logrará teniendo una Tasa de

descuento⁴⁴ “i”. Además se considera que la tasa de descuento a utilizarse en este análisis sea lo más representativa posible, ya que todos los flujos de dinero se expresarán en moneda constante⁴⁵.

Donde;

fvp Factor de Valor Presente

$$(IV) \dots fvp = \begin{cases} (1+i)^{-N}, & \text{construcción} \\ \frac{1}{(1+i)^n}, & \text{operación} \end{cases}$$

i Tasa de descuento

N Periodo de construcción

n Vida útil

Con base a lo anterior, el CNG se deberá calcular considerando el fvp en cada uno de los costos involucrados en el cálculo, esto es que se deberá de calcular cada factor de la ecuación III por el fvp para que así se tenga el valor actual del dinero en años futuros y así poder tener un costo total de la instalación del sistema en valor presente.

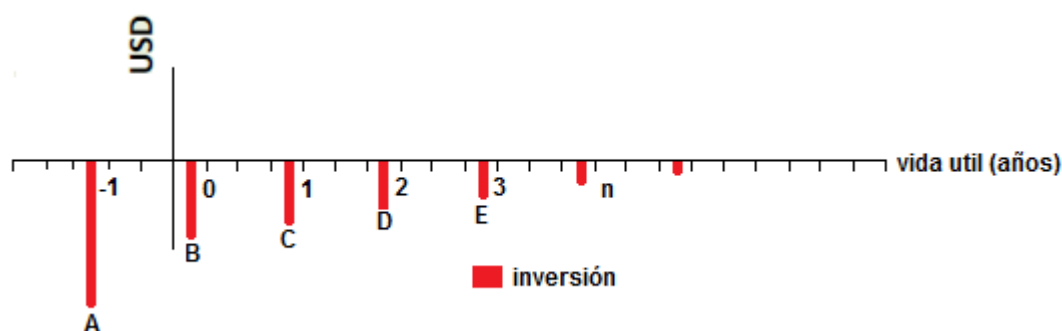


Figura 20 – Comportamiento de la inversión

⁴⁴ Tasa de interés que refleja el valor del dinero en el tiempo y que se utiliza para convertir costos que ocurren en tiempos diferentes a valores asociados a un tiempo en común.

⁴⁵ El análisis en moneda constante equivale a considerar una inflación igual para cada uno de los insumos del proyecto.

El año -1 se considera como el periodo de construcción, cabe señalar que por tratarse de un sistema FV doméstico, este no lleva más de un año para su construcción, inclusive no se lleva ni siquiera el año completo pero se dejará considerado como un año por motivos de seguir la metodología en el cálculo del CNG.

Entonces con base a la figura 20:

$$(V) \dots \text{CNG}_{\text{SOLAR}} = \frac{A(1+i)^{|-1|} + B(1) + C \frac{1}{(1+i)^1} + D \frac{1}{(1+i)^2} + \dots}{G_1(1) + G_2 \frac{1}{(1+i)^1} + G_3 \frac{1}{(1+i)^2} + \dots}$$

Por lo que:

$$(VI) \dots \text{CNG}_{\text{SOLAR}} = \frac{\sum_{t=|-N|}^{-1} C_{I_i}(1+i)^{-t} + \sum_{t=0}^n C_{\text{Fin}}(1+i)^{-t} + \sum_{t=0}^n C_{O\&M}(1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n G_T (1+i)^{-t}}$$

4.2. Estructura

El modelo se conforma por varias hojas de cálculo, cada una de ellas con diferentes características de acuerdo con los datos que manejan.

En la primera hoja se tiene un menú para navegar a las otras hojas de cálculo que componen al FotoCost.



Figura 21 – Portada “FotoCost”

En la primera hoja del programa se cuenta con una tabla para localizar fácilmente la tarifa que aplica en determinado poblado o municipio, además de que se cuenta otra tabla en la cual se podrá también saber la región tarifaria a la que pertenece.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3	REGRESAR		BAJA CALIFORNIA		BAJA CALIFORNIA SUR	NOROESTE	
4			Baja california			Sinaloa	
5			Sonora		baja california sur	Sonora	
6			San Luis Río Colorado			excepto San Luis Río Colorado	
7							
8		ESTADO	MUNICIPIO	POBLACIÓN	TARIFA	Temp. de V	
9		AGUASCALIENTES	AGUASCALIENTES	TODAS	1	N/A	
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							

Figura 22 - Localiza tu Tarifa

Una vez que se sabe la tarifa que aplica en esa localidad, lo siguiente es regresar al menú por medio de la liga “menú”, para posteriormente dirigirse a la tarifa deseada y llevar a cabo la simulación.

REGRESAR TARIFA 1													
cuota	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	consumo anual kWh
consumo	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	1680
básico 1.75 kWh	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	900
intermedio 76.140 kWh	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	780
excedente 141.250 kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cuota	\$enero	\$febrero	\$marzo	\$abril	\$mayo	\$junio	\$julio	\$agosto	\$septiembre	\$octubre	\$noviembre	\$diciembre	
básica	\$56.925	\$57.075	\$57.225	\$57.375	\$57.500	\$57.625	\$57.750	\$58.050	\$58.275	\$58.500	\$58.725	\$58.950	\$59.175
intermedio	\$60.255	\$60.450	\$60.645	\$60.840	\$61.035	\$61.230	\$61.425	\$61.620	\$61.815	\$62.010	\$62.205	\$62.400	
excedente	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	\$0.000	
Pago mensual	\$117.180	\$117.525	\$117.870	\$118.215	\$118.535	\$118.855	\$119.175	\$119.495	\$120.315	\$120.735	\$121.155	\$121.575	
Pago anual regular	\$1,431.630												

Figura 23 - Consumos en Tarifa 1

El siguiente paso es introducir los consumos de energía eléctrica mensuales para contabilizar la energía eléctrica que se consume durante un año. Se debe tener cuidado con aquellas tarifas en las que aplique la temporada de verano (1A a 1F), ya que el modelo está diseñado para introducir los consumos mensuales, de los meses a los que corresponda la temporada de verano y fuera de verano.

REGRESAR TARIFA 1 C													
TEMPORADA DE VERANO													
cuota	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	consumo anual kWh
consumo	0	0	0	451	451	451	451	451	451	0	0	0	2706
básico 150 kWh	0	0	0	150	150	150	150	150	150	0	0	0	900
intermedio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1806
TEMPORADA FUERA DE VERANO													
cuota	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	consumo anual kWh
consumo	176	176	176	0	0	0	0	0	0	176	176	176	1056
básico 75 kWh	75	75	75	0	0	0	0	0	0	75	75	75	450
intermedio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	606

Figura 24 - Consumos, tarifas con Temporada de Verano

Una vez que ya ha sido localizada la tarifa aplicable en ese sitio y que los consumos mensuales han sido introducidos como se muestra en la figura 24, se deben ahora de introducir la variables técnicas y económicas que se tengan para un caso específico a conveniencia del usuario. Los datos deberán introducirse en la tabla de Datos de Entrada como se muestran en la figura 25.

DATOS DE ENTRADA				
Costo del panel	▲ ▼	\$2,000.00	US \$/ kWp panel	
% panel	▲ ▼	50	%	
Capital propio %	▲ ▼	50	\$2,576.71	US \$
tipo de cambio	▲ ▼	\$12	pesos/dólar	
Demanda a cubrir	▲ ▼	50	%	
Costo (O&M)	▲ ▼	1	% del costo del sistema	
Area minima requerida	▲ ▼	7	m2/kWp instalado	
Tasa de interes	▲ ▼	8	%	
Periodo de financiación	▲ ▼	5	años	
Tasa de descuento	▲ ▼	8	%	
Horas de sol al día	▲ ▼	4	hrs/día	
Inflación anual	▲ ▼	4	%	
Inflación anual tarifa	▲ ▼	3	%	

Figura 25 - Tabla de Datos de Entrada

Se deberá de tener muy en cuenta que las únicas casillas que podrán ser manipuladas para introducir algún dato, serán las contenidas en la tabla de Datos de Entrada (Figura 25) y las casillas donde se introducirán los consumos mensuales (Figura 24), en cada una de las hojas de cada tarifa (1 a DAC).

Los datos de entrada pueden variar según las necesidades de la persona que esté realizando el estudio por medio de las simulaciones en el FotoCost, a continuación se explica el significado de cada una de las variables que se podrán ingresar en la tabla:

Costo del panel: El costo que actualmente se tiene en el mercado de los paneles, los cuales deberán de expresarse en US \$/kWp.

% del panel: Aquí, se deberá introducir el porcentaje del costo total que tienen los paneles de todo el sistema.

% Capital propio: El capital inicial, se deberá de introducir como un porcentaje del costo total del sistema. Este valor será complementado, en su caso, con el financiamiento para cubrir el costo total del sistema fotovoltaico.

Tipo de cambio: Se deberá introducir el tipo de cambio entre dólares americanos (USD) y pesos mexicanos (MXN)

% Demanda a cubrir: En esta casilla, se deberá introducir el porcentaje de la demanda eléctrica que se desea cubrir con el sistema fotovoltaico.

Costo de O&M: También se deberá introducir este costo el cual está expresado en porcentaje y está referido a un porcentaje del costo total del sistema.

Área mínima requerida: Se tiene la opción también de introducir el área requerida para la instalación del sistema FV, la cual está expresada en $\text{m}^2/\text{kWp}_{\text{instalado}}$.

Tasa de interés: Para la parte del financiamiento, se deberá de introducir el valor de la tasa de interés, el cual estará representado en porcentaje directamente y dependerá de la institución que proporcione el financiamiento.

Periodo de financiación: Además con financiamiento se tendrá el número de años que se hayan otorgado para cubrirlo en caso de haberlo requerido.

Tasa de descuento: Aquí deberá de ir el valor del porcentaje de la tasa de descuento que se vaya a manejar, la cual nos servirá además para obtener el factor de valor presente que es clave para el análisis económico del proyecto.

Horas de sol al día: Se deberán de introducir el número de horas de sol efectivas, estas son el número de horas de máxima irradiación solar en un día y las cuales varían dependiendo de la región, lo que permitirá calcular la capacidad necesaria.

Inflación anual: En esta casilla, se deberá de introducir el valor de la inflación anual, la cual se debe de considerar debido a que esta afecta directamente al valor del dinero en cada año.

Inflación anual tarifaria: En esta casilla, se deberá de introducir el valor de la inflación que se presenta en las tarifas de la CFE anualmente.

Una vez que se introdujeron los datos de entrada, los datos de salida que se muestran en la figura 26, servirán para poder continuar con la simulación y además saber las características técnicas que tendrá el sistema fotovoltaico.

DATOS DE SALIDA		
Consumo Anual	14400	kWh/año
Consumo a cubrir	14400	kWh/año
	39	kWh/día
Capacidad requerida	4.93	kWp
Factor de planta	33.33%	fp
Area requerida	34.52	m2
GNAu	2920	kWh/kW/año
Costo comercial	\$4,000.00	US \$/ kWp instalado
Costo del sistema	\$19,726.03	US \$
Ahorro	\$55,183.20	pesos/año
Ahorro	\$4,598.60	US \$/año
Financiación	50%	\$9,863.01 US \$
Costos (O&M)	\$197.26	US \$/año

Figura 26 - Tabla de Datos de Salida

Consumo anual: Este valor, representa el consumo *máximo* anual de energía eléctrica que se tiene en ese domicilio.

Consumo a cubrir: Este consumo, es la cantidad de energía eléctrica que se cubrirá con aquella que genere el sistema solar fotovoltaico y el cual dependerá a su vez del porcentaje de consumo máximo que se desee cubrir.

Factor de planta: Se obtendrá por medio de la relación entre la cantidad de energía que genere el sistema fotovoltaico y la energía que hubiese generado si siempre estuviera disponible la energía solar.

Área requerida: A diferencia del área mínima obtenida en la tabla de Datos de Entrada, esta área requerida, corresponde al área total que se necesitará para cubrir la capacidad que se requiere para generar la cantidad de energía que se desea.

Generación neta anual unitaria GNA_u : Para saber la cantidad de energía que generará el sistema fotovoltaico por cada unidad de potencia instalada y está representada en $kWh/kW_{p_{instalado}}$ conveniente tener este valor considerado.

Costo: El valor obtenido en esta casilla, representará el costo comercial de los sistemas FV dado en US $\$/kW_{p_{instalado}}$.

Costo del sistema: El valor obtenido en esta casilla, representará el costo del sistema que se necesita instalar para cubrir la demanda deseada en función de la capacidad instalada y el cual también estará dado en US $\$/kW_{p_{instalado}}$.

Ahorro: El valor obtenido en esta casilla, representará el ahorro anual solamente que se generará al dejarle de consumir la energía eléctrica a la CFE al momento de dejar de pagar el recibo, ya sea solo un porcentaje o por completo y el cual está dado en pesos $\$/año$ y dólares US $\$/año$.

Financiación: El valor obtenido en esta casilla, representará el porcentaje que se desee financiar del total de la demanda que se cubrirá, así como el monto que se financiará del total del costo del sistema FV.

Costos de O&M: EL valor obtenido en esta casilla, representará el costo de O&M que se tendrá que cubrir anualmente, y el cual representa un porcentaje del costo total del sistema.

4.3. Estudio de caso

Para ejemplificar el funcionamiento del FotoCost, así como sus ventajas se realizaron dos ejemplos de casos reales, para describir a detalle su funcionamiento y comprobar su utilidad.

CASO 1: En este primer caso se tomarán los consumos de una vivienda con tarifa domestica 1 ubicada en el Distrito Federal.

Primero se deberán introducir los consumos mensuales de esa vivienda.

cuota	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
consumo	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
básico 1-75 kWh	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
intermedio 76-140 kWh	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
excedente 141-250 kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 27 - Caso 1, consumos mensuales

Una vez que se han introducido los consumos mensuales, los cuales en este caso en particular se eligieron de 140 kWh/mes, de modo que este consumo es el limite de la cuota de consumo intermedio, esto tratando de ejemplificar un caso real en la que se tengan consumos comunes, tratando de que no sean tan altos pasando a excedente y además fuera de DAC.

Ahora se tendrán que introducir los datos de entrada, los cuales se deben basar en la mejor información que el usuario tenga disponible de acuerdo a las características del sistema fotovoltaico y la cantidad de consumo eléctrico que desee cubrir con energía solar. Para el caso de análisis se utilizó la información que se muestra en la siguiente figura 28:

DATOS DE ENTRADA				
Costo del panel	▲ ▼	\$2,500.00	US \$/ kWp panel	
% panel	▲ ▼	50	%	
Capital propio %	▲ ▼	20	\$767.12	US \$
tipo de cambio	▲ ▼	\$12	pesos/dólar	
Demanda a cubrir	▲ ▼	100	%	
Costo (O&M)	▲ ▼	1	% del costo del sistema	
Area minima requerida	▲ ▼	7	m2/kWp instalado	
Tasa de interes	▲ ▼	8	%	
Periodo de financiación	▲ ▼	5	años	
Tasa de descuento	▲ ▼	8	%	
Horas de sol al día	▲ ▼	6	hrs/día	
Inflación anual	▲ ▼	4	%	
Inflación anual tarifa	▲ ▼	3	%	

Figura 28 - Caso 1, Datos de Entrada

Ya que se han introducido los datos de entrada, el programa calcula todos los datos de salida y los muestra en la figura 29.

DATOS DE SALIDA			
Consumo Anual	1680	kWh/año	
Consumo a cubrir	1680	kWh/año	
	5	kWh/día	
Capacidad requerida	0.77	kWp	
Factor de planta	25.00%	fp	
Area requerida	5.37	m2	
GNAu	2190	kWh/kW/año	
Costo comercial	\$5,000.00	US \$/ kWp instalado	
Costo del sistema	\$3,835.62	US \$	
Ahorro	\$1,431.63	pesos/año	
Ahorro	\$119.30	US \$/año	
Financiación	80%	\$3,068.49	US \$
Costos (O&M)	\$38.36	US \$/año	

Figura 29 - Caso 1, Datos de Salida

Una vez que se han observado las características que tendrá el sistema FV con base a los datos que se le dieron en la Figura 28, se debe ahora analizar económicamente el sistema en función de las características obtenidas en la Figura 29.

En la Figura 30 se observa cómo se introduce el fvp al análisis, el cual como se mencionó, es multiplicado en cada una de las variables de las que depende el cálculo del CNG_{SOLAR} , esto nos permitirá tener una tabla con todos los costos traídos a valor presente de cada uno de los años de vida útil del sistema FV.

Año	FVP	Inversión	O&M	Financiamiento	Energía generada kWh	Inv X FVP	O&M X FVP	Fin X FVP	Energía X FVP	Total pagos
-1	1.08000	\$767.12	\$0.00	\$662.79	0	\$828.49	\$0.00	\$715.82	0	\$1,429.92
0	1.00000	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$701.15
1	0.92593	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$0.00	\$35.51	\$613.70	1556	\$701.15
2	0.85734	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$0.00	\$32.88	\$568.24	1440	\$701.15
3	0.79383	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$0.00	\$30.45	\$526.15	1334	\$701.15
4	0.73503	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$0.00	\$28.19	\$487.17	1235	\$701.15
5	0.68058	\$0.00	\$38.36	\$662.79	1680	\$0.00	\$26.10	\$451.09	1143	\$701.15
6	0.63017	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$24.17	\$0.00	1059	\$38.36
7	0.58349	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$22.38	\$0.00	980	\$38.36
8	0.54027	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$20.72	\$0.00	908	\$38.36
9	0.50025	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$19.19	\$0.00	840	\$38.36
10	0.46319	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$17.77	\$0.00	778	\$38.36
11	0.42888	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$16.45	\$0.00	721	\$38.36
12	0.39711	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$15.23	\$0.00	667	\$38.36
13	0.36770	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$14.10	\$0.00	618	\$38.36
14	0.34046	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$13.06	\$0.00	572	\$38.36
15	0.31524	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$12.09	\$0.00	530	\$38.36
16	0.29189	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$11.20	\$0.00	490	\$38.36
17	0.27027	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$10.37	\$0.00	454	\$38.36
18	0.25025	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$9.60	\$0.00	420	\$38.36
19	0.23171	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$8.89	\$0.00	389	\$38.36
20	0.21455	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$8.23	\$0.00	360	\$38.36
21	0.19866	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$7.62	\$0.00	334	\$38.36
22	0.18394	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$7.06	\$0.00	309	\$38.36
23	0.17032	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$6.53	\$0.00	286	\$38.36
24	0.15770	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$6.05	\$0.00	265	\$38.36
25	0.14602	\$0.00	\$38.36	\$0.00	1680	\$0.00	\$5.60	\$0.00	245	\$38.36
						\$828.49	\$447.80	\$4,024.96	19614	\$6,403.95

Figura 30 - Caso1, Aplicación del fvp

Con ayuda de la tabla anterior (figura 30), se obtienen los costos por unidad de energía generada.

	\$0.00	1680	\$0.00	\$6.53	\$0.00	286	
	\$0.00	1680	\$0.00	\$6.05	\$0.00	265	
	\$0.00	1680	\$0.00	\$5.60	\$0.00	245	
			\$828.49	\$447.80	\$4,024.96	19614	\$

Inv	\$0.04224	US \$/kWh
O&M	\$0.02283	US \$/kWh
Final	\$0.20521	US \$/kWh
Cos tot	\$0.27028	US \$/kWh

Figura 31 - Caso1, Costo de inversión por unidad de energía generada

	\$0.00	1680	\$0.00	\$0.00	\$0.00	245	
			\$828.49	\$447.80	\$4,024.96	19614	

Inv	\$0.04224	US \$/kWh
O&M	\$0.02283	US \$/kWh
Final	\$0.20521	US \$/kWh
Cos tot	\$0.27028	US \$/kWh

Figura 32 - Caso 1, Costo de O&M por unidad de energía generada

	\$0.00	1000	\$0.00	\$0.00	\$0.00	243
			\$828.49	\$447.80	\$4,024.96	19614

Inv	\$0.04224	US \$/kWh
O&M	\$0.02283	US \$/kWh
Final	\$0.20521	US \$/kWh
Cos tot	\$0.27028	US \$/kWh

Figura 33 - Caso 1, Costo de financiamiento por unidad de energía generada

Como se observa en las Figuras 31, 32 y 33, estos valores se obtienen de dividir el costo correspondiente entre la energía generada por el sistema FV, además se observa que la suma de estos es el CNG_{SOLAR} .

Inv	\$0.04224	US \$/kWh
O&M	\$0.02283	US \$/kWh
Final	\$0.20521	US \$/kWh
Cos tot	\$0.27028	US \$/kWh

CNG SOLAR	\$0.27028	US \$/kWh
	\$3.24341	pesos/kWh

Figura 34 - Caso 1, CNG solar

Ya que se ha obtenido el CNG_{SOLAR} , se deberá de calcular el costo por la energía consumida a la CFE. El cálculo es relativamente sencillo y se obtiene dividiendo el pago correspondiente que se debe hacer anualmente entre la energía consumida en ese año, para así tener también un costo por cada unidad de energía.

CNG CFE	\$0.85216	pesos/kWh
---------	-----------	-----------

Figura 35 - Caso 1, CNG CFE

Ya que se han obtenido tanto el CNG solar y el costo por unidad de energía de la CFE, se puede llegar a una conclusión preliminar sobre la viabilidad económica de un sistema FV a nivel doméstico en esta tarifa 1. Para el caso analizado no resulta económicamente factible la instalación del sistema solar ya que el costo de

la energía que se obtiene a través de este sistema es mayor que el costo de suministro que se debe pagar a la CFE.

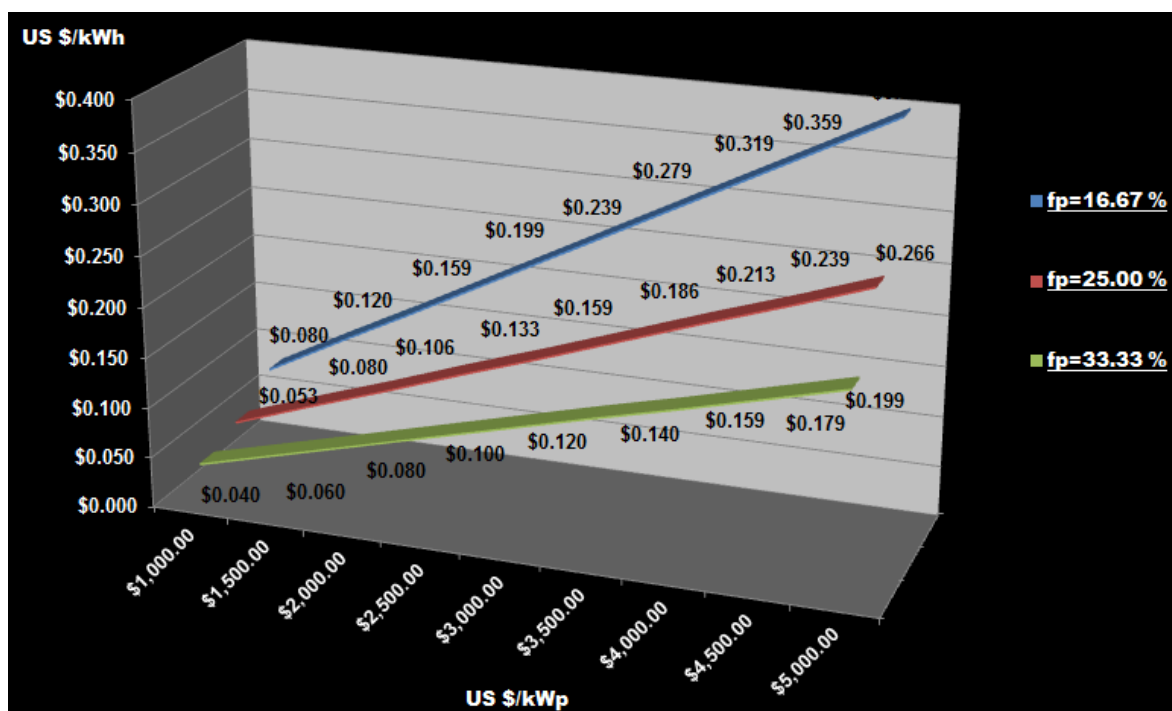
Finalmente el programa despliega una tabla (figura 36), la cual permite calcular el ahorro acumulado a lo largo de toda la vida útil del sistema y así poder observar si el ahorro obtenido después de n años de vida útil es positivo o negativo.

Ahorro neto					
Año	CNG solar	Tarifa cfe	Ahorro \$/kWh	Ahorro \$	Ahorro acumulado
-1	\$0.00000	\$0.00000	\$0.00000	\$0.000	\$0.000
0	\$3.24341	\$0.8521607	-\$2.39125	-\$4,017.298	-\$4,017.298
1	\$3.37315	\$0.87773	-\$2.49542	-\$4,192.307	-\$8,209.605
2	\$3.50807	\$0.90406	-\$2.60401	-\$4,374.745	-\$12,584.350
3	\$3.64839	\$0.93118	-\$2.71722	-\$4,564.923	-\$17,149.273
4	\$3.79433	\$0.95911	-\$2.83522	-\$4,763.163	-\$21,912.436
5	\$3.94610	\$0.98789	-\$2.95822	-\$4,969.803	-\$26,882.239
6	\$4.10395	\$1.01752	-\$3.08642	-\$5,185.192	-\$32,067.431
7	\$4.26811	\$1.04805	-\$3.22006	-\$5,409.694	-\$37,477.125
8	\$4.43883	\$1.07949	-\$3.35934	-\$5,643.689	-\$43,120.814
9	\$4.61638	\$1.11188	-\$3.50451	-\$5,887.572	-\$49,008.386
10	\$4.80104	\$1.14523	-\$3.65581	-\$6,141.754	-\$55,150.140
11	\$4.99308	\$1.17959	-\$3.81349	-\$6,406.664	-\$61,556.804
12	\$5.19280	\$1.21498	-\$3.97783	-\$6,682.748	-\$68,239.552
13	\$5.40052	\$1.25143	-\$4.14909	-\$6,970.470	-\$75,210.022
14	\$5.61654	\$1.28897	-\$4.32757	-\$7,270.312	-\$82,480.334
15	\$5.84120	\$1.32764	-\$4.51356	-\$7,582.779	-\$90,063.114
16	\$6.07485	\$1.36747	-\$4.70738	-\$7,908.395	-\$97,971.509
17	\$6.31784	\$1.40849	-\$4.90935	-\$8,247.704	-\$106,219.213
18	\$6.57055	\$1.45075	-\$5.11981	-\$8,601.275	-\$114,820.488
19	\$6.83338	\$1.49427	-\$5.33911	-\$8,969.699	-\$123,790.187
20	\$7.10671	\$1.53910	-\$5.56761	-\$9,353.590	-\$133,143.777
21	\$7.39098	\$1.58527	-\$5.80571	-\$9,753.591	-\$142,897.368
22	\$7.68662	\$1.63283	-\$6.05379	-\$10,170.367	-\$153,067.735
23	\$7.99408	\$1.68181	-\$6.31227	-\$10,604.613	-\$163,672.348
24	\$8.31385	\$1.73227	-\$6.58158	-\$11,057.052	-\$174,729.400
25	\$8.64640	\$1.78424	-\$6.86216	-\$11,528.436	-\$186,257.836

Ahorro acumulado
al final de la vida útil
del sistema FV

Figura 36 - Caso 1, Tabla de ahorro neto

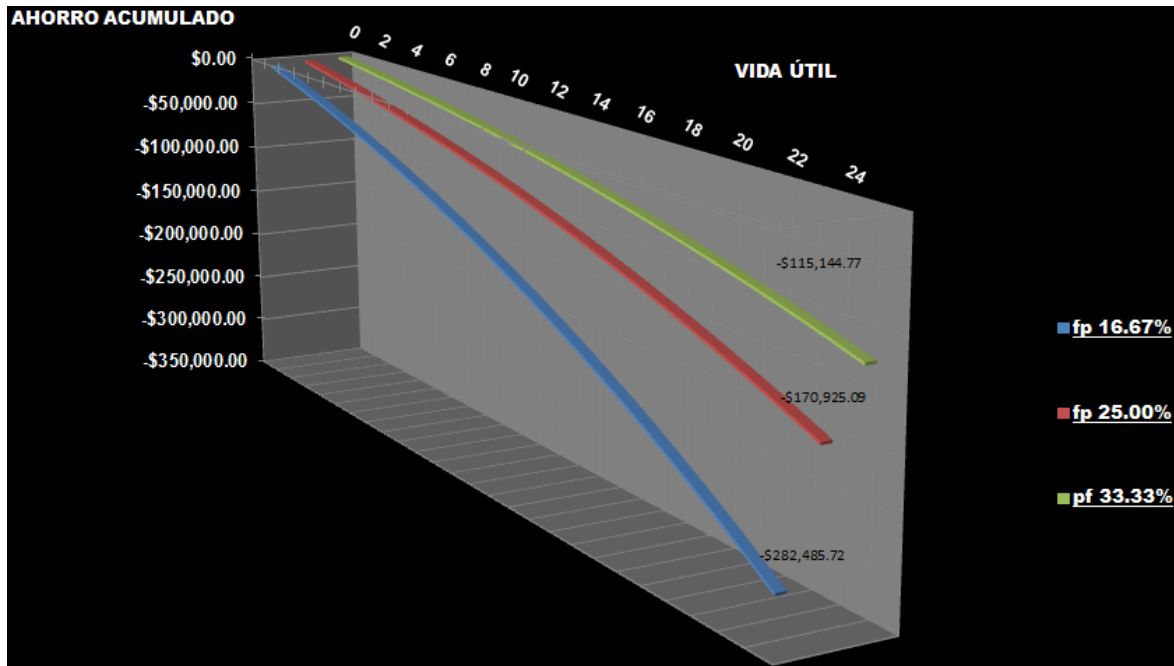
Para interpretar de mejor manera el comportamiento económico del sistema FV en esta tarifa, se realizó un estudio de sensibilidad. Se analizó el comportamiento del CNG solar en función del costo de instalación del sistema FV para distintos valores de factor de planta. Como se observa en la gráfica los valores más bajos de generación solar CNG se obtienen con factores de planta altos y costos de instalación bajos.



Grafica 7 - Caso 1, \$/kWp VS \$/kWh

Como se observa en la gráfica, el factor de planta es determinante en la instalación de estos sistemas, ya que la generación dependerá de las horas de sol que se tengan, lo que involucrará una mayor o menor capacidad a instalar para cubrir el consumo deseado viéndose que entere más grande sea el factor de planta, menor será el costo de generación por cada unidad de potencia instalada.

También se elaboró otro estudio de sensibilidad para observar el comportamiento del ahorro a lo largo de la vida útil, en función de distintos valores de factor de planta observando que mientras mayor sea este factor mayor será el monto del ahorro logrado. En primera instancia con ayuda de la Figura 36 se observa que este ahorro es negativo indicando que para este Caso 1 no es factible la instalación del sistema FV.



Grafica 8 - Caso 1, Ahorro acumulado VS Vida útil

CASO 2: En este segundo caso se tomarán los consumos de una vivienda con tarifa doméstica de alto consumo DAC perteneciente al Estado de Baja California.

El procedimiento de análisis es similar al Caso 1. Para evitar la repetición de conceptos sólo se mostrarán los resultados obtenidos.

DAC	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
1	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Pago mensual	\$4,611.60	\$4,676.40	\$4,696.80	\$4,590.00	\$4,519.20	\$4,561.20
Pago anual regular	\$55,183.20					

julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1200	1200	1200	1200	1200	1200
\$4,573.20	\$4,638.00	\$4,636.80	\$4,549.20	\$4,503.60	\$4,627.20

Figura 37 - Caso 2, consumos mensuales

Ahora en la figura 38, se observan las nuevas características que se le han dado a conveniencia del usuario para este caso DAC.

DATOS DE ENTRADA				
Costo del panel	▲ ▼	\$2,500.00	US \$/ kWp panel	
% panel	▲ ▼	50	%	
Capital propio %	▲ ▼	20	\$6,575.34	US \$
tipo de cambio	▲ ▼	\$12	pesos/dólar	
Demanda a cubrir	▲ ▼	100	%	
Costo (O&M)	▲ ▼	1	% del costo del sistema	
Area minima requerida	▲ ▼	7	m2/kWp instalado	
Tasa de interes	▲ ▼	8	%	
Periodo de financiación	▲ ▼	5	años	
Tasa de descuento	▲ ▼	8	%	
Horas de sol al día	▲ ▼	6	hrs/día	
Inflación anual	▲ ▼	4	%	
Inflación anual tarifa	▲ ▼	3	%	

Figura 38 - Caso 2, Datos de Entrada

Así también, los datos de entrada introducidos anteriormente como se muestran en la figura 38, reflejan nuevos datos de salida mostrados en la figura 39, los cuales indican las nuevas características del sistema fotovoltaico en esta tarifa.

DATOS DE SALIDA		
Consumo Anual	14400	kWh/año
Consumo a cubrir	14400	kWh/año
	39	kWh/día
Capacidad requerida	6.58	kWp
Factor de planta	25.00%	fp
Area requerida	46.03	m2
GNAu	2190	kWh/kW/año
Costo comercial	\$5,000.00	US \$/ kWp instalado
Costo del sistema	\$32,876.71	US \$
Ahorro	\$55,183.20	pesos/año
Ahorro	\$4,598.60	US \$/año
Financiación	80%	\$26,301.37 US \$
Costos (O&M)	\$328.77	US \$/año

Figura 39 - Caso 2, Datos de Salida

También en la figura 40 se observan los nuevos valores obtenidos al introducir el factor de valor presente.

Año	FVP	Inversión	O&M	Financiamiento	Energía generada kWh	Inv X FVP	O&M X FVP	Fin X FVP	Energía X FVP	Total pagos
-1	1.08000	\$6,575.34	\$0.00	\$5,681.10	0	\$7,101.37	\$0.00	\$6,135.58	0	\$12,256.44
0	1.00000	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$6,009.86
1	0.92593	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$0.00	\$304.41	\$5,260.27	13333	\$6,009.86
2	0.85734	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$0.00	\$281.86	\$4,870.62	12346	\$6,009.86
3	0.79383	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$0.00	\$260.99	\$4,509.84	11431	\$6,009.86
4	0.73503	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$0.00	\$241.65	\$4,175.78	10584	\$6,009.86
5	0.68058	\$0.00	\$328.77	\$5,681.10	14400	\$0.00	\$223.75	\$3,866.46	9800	\$6,009.86
6	0.63017	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$207.18	\$0.00	9074	\$328.77
7	0.58349	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$191.83	\$0.00	8402	\$328.77
8	0.54027	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$177.62	\$0.00	7780	\$328.77
9	0.50025	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$164.47	\$0.00	7204	\$328.77
10	0.46319	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$152.28	\$0.00	6670	\$328.77
11	0.42888	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$141.00	\$0.00	6176	\$328.77
12	0.39711	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$130.56	\$0.00	5718	\$328.77
13	0.36770	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$120.89	\$0.00	5295	\$328.77
14	0.34046	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$111.93	\$0.00	4903	\$328.77
15	0.31524	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$103.64	\$0.00	4539	\$328.77
16	0.29189	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$95.96	\$0.00	4203	\$328.77
17	0.27027	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$88.86	\$0.00	3892	\$328.77
18	0.25025	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$82.27	\$0.00	3604	\$328.77
19	0.23171	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$76.18	\$0.00	3337	\$328.77
20	0.21455	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$70.54	\$0.00	3089	\$328.77
21	0.19866	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$65.31	\$0.00	2861	\$328.77
22	0.18394	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$60.47	\$0.00	2649	\$328.77
23	0.17032	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$55.99	\$0.00	2453	\$328.77
24	0.15770	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$51.85	\$0.00	2271	\$328.77
25	0.14602	\$0.00	\$328.77	\$0.00	14400	\$0.00	\$48.01	\$0.00	2103	\$328.77
						\$7,101.37	\$3,838.28	\$34,499.65	168117	\$54,890.96

Figura 40 - Caso 2, Aplicación del fvp

Inv	\$0.04224	US \$/kWh
O&M	\$0.02283	US \$/kWh
Final	\$0.20521	US \$/kWh
Cos tot	\$0.27028	US \$/kWh

CNG SOLAR	\$0.27028	US \$/kWh
	\$3.24341	pesos/kWh

Figura 41 - Caso 2, CNG solar

En las figuras 41 y 42 se muestran los nuevos costos que se obtendrían con las nuevas características técnicas y económicas de sistema fotovoltaico en esta tarifa.

Tarifa CFE	\$3.83217	pesos/kWh
------------	-----------	-----------

Figura 42 - Caso 2, CNG CFE

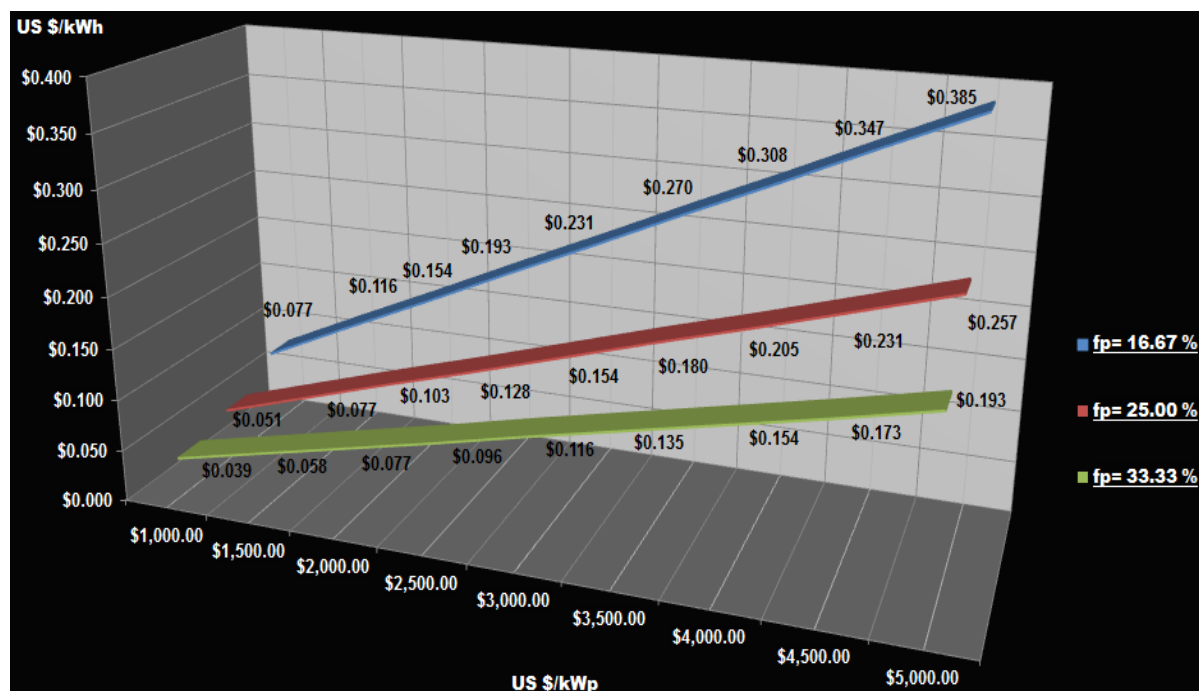
Ahorro neto					
Año	CNG solar	Tarifa cfe	Ahorro \$/kWh	Ahorro \$	Ahorro acumulado
-1	\$0.00000	\$0.00000	\$0.00000	\$0.000	\$0.00
0	\$3.24341	\$3.8321667	\$0.58876	\$8,478.099	\$8,478.10
1	\$3.37315	\$3.9471317	\$0.57399	\$8,265.391	\$16,743.49
2	\$3.50807	\$4.0655456	\$0.55747	\$8,027.619	\$24,771.11
3	\$3.64839	\$4.1875120	\$0.53912	\$7,763.285	\$32,534.39
4	\$3.79433	\$4.3131373	\$0.51881	\$7,470.815	\$40,005.21
5	\$3.94610	\$4.4425315	\$0.49643	\$7,148.556	\$47,153.76
6	\$4.10395	\$4.5758074	\$0.47186	\$6,794.774	\$53,948.54
7	\$4.26811	\$4.7130816	\$0.44498	\$6,407.648	\$60,356.19
8	\$4.43883	\$4.8544741	\$0.41564	\$5,985.270	\$66,341.46
9	\$4.61638	\$5.0001083	\$0.38372	\$5,525.637	\$71,867.09
10	\$4.80104	\$5.1501116	\$0.34907	\$5,026.647	\$76,893.74
11	\$4.99308	\$5.3046149	\$0.31153	\$4,486.097	\$81,379.84
12	\$5.19280	\$5.4637533	\$0.27095	\$3,901.676	\$85,281.51
13	\$5.40052	\$5.6276659	\$0.22715	\$3,270.963	\$88,552.48
14	\$5.61654	\$5.7964959	\$0.17996	\$2,591.417	\$91,143.89
15	\$5.84120	\$5.9703908	\$0.12919	\$1,860.378	\$93,004.27
16	\$6.07485	\$6.1495025	\$0.07466	\$1,075.057	\$94,079.33
17	\$6.31784	\$6.3339876	\$0.01615	\$232.531	\$94,311.86
18	\$6.57055	\$6.5240072	-\$0.04655	-\$670.262	\$93,641.60
19	\$6.83338	\$6.7197274	-\$0.11365	-\$1,636.529	\$92,005.07
20	\$7.10671	\$6.9213193	-\$0.18539	-\$2,669.631	\$89,335.44
21	\$7.39098	\$7.1289588	-\$0.26202	-\$3,773.086	\$85,562.35
22	\$7.68662	\$7.3428276	-\$0.34379	-\$4,950.580	\$80,611.77
23	\$7.99408	\$7.5631124	-\$0.43097	-\$6,205.970	\$74,405.80
24	\$8.31385	\$7.7900058	-\$0.52384	-\$7,543.297	\$66,862.51
25	\$8.64640	\$8.0237060	-\$0.6226937	-\$8,966.790	\$57,895.72

Ahorro acumulado
al final de la vida útil
del sistema FV



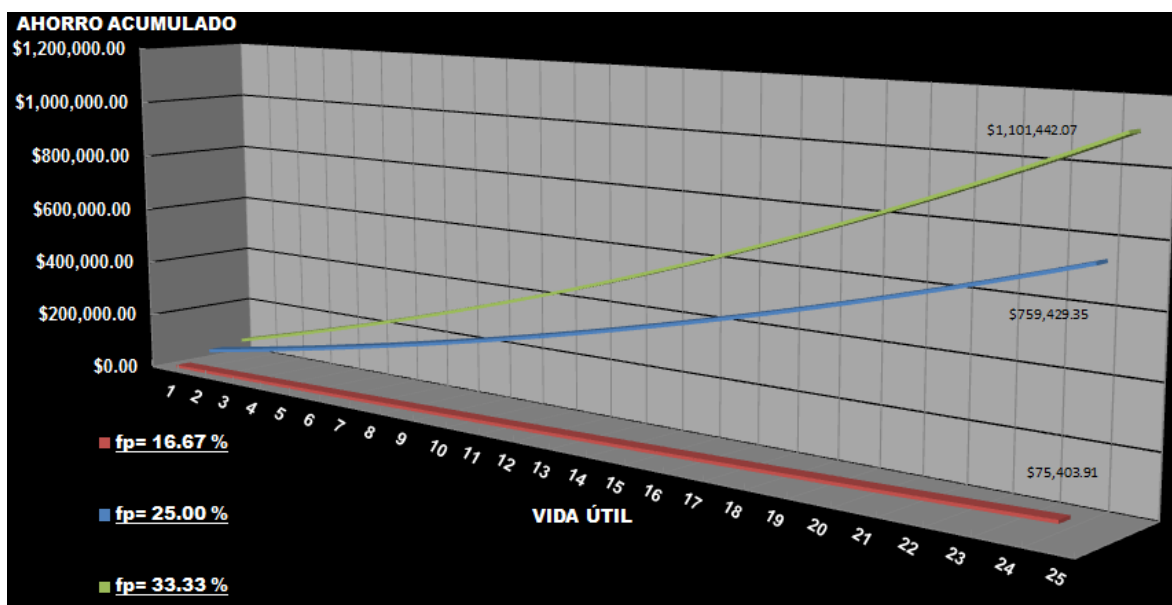
Figura 43 - Caso 2, Tabla de ahorro neto

Al igual que el caso anterior, pero ahora con tarifa DAC, se realizó un estudio de sensibilidad para analizar el comportamiento del CNG solar en función del costo de instalación del sistema FV para distintos valores de factor de planta. Como se observa en la gráfica los valores más bajos de generación solar CNG se obtienen con factores de planta altos y costos de instalación bajos.



Grafica 9 - Caso 2, \$/kWp VS \$/kWh

Como se observa en la gráfica 9, al igual que para el caso anterior, el factor de planta es determinante en la instalación de estos sistemas, ya que se observa que a mayor factor de planta, menor es el costo de la energía generada.



Grafica 10 - Caso 2, Ahorro acumulado VS Vida útil

Al igual que para el caso anterior, se elaboró un estudio de sensibilidad para observar el ahorro acumulado a lo largo de la vida útil del sistema fotovoltaico en función de diferentes factores de planta, en donde también mientras mayor sea este factor mayor será el monto del ahorro logrado.

En la gráfica 10 se puede observar que para la tarifa DAC, es viable la instalación de estos sistemas, ya que a diferencia del caso anterior y las demás tarifas domésticas, el ahorro acumulado a lo largo de la vida útil del sistema fotovoltaico es positivo, por lo que aquí se deberá de tomar la decisión de si es conveniente o no el ahorro que se tiene y llevar a cabo todo el proceso técnico y administrativo necesario o considerar que el ahorro no es conveniente y mejor optar por el consumo de la energía a la CFE.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Desde hace ya unos años, se ha tratado de optar por el uso de las tecnologías fotovoltaicas tanto a nivel doméstico como a nivel industrial. A nivel industrial se ha vuelto muy factible la construcción de centrales generadoras fotovoltaicas debido a los grandes consumos de energía eléctrica por parte de las industrias, lo que ha provocado una mayor competitividad para los fabricantes y proveedores de estas tecnologías solares, permitiendo así la reducción de los costos tanto de fabricación como de venta al público.

Aunque a nivel doméstico no es todavía factible la instalación de estos sistemas tratándose de tarifas domésticas de consumo básico, los estudios han demostrado que existen situaciones donde resulta factible el uso de sistemas FV para los usuarios de alto consumo con tarifa DAC. Se observó de los casos anteriormente desarrollados que los usuarios con tarifa DAC son un nicho potencial de aplicación de tecnologías solares para reducir los costos de suministro de energía eléctrica fomentando de este tipo de instalaciones debido a que sus costos a la larga serán menores que si se siguiese consumiendo la energía eléctrica a la CFE y más aún cuando se prevé que estas tecnologías seguirán reduciendo sus costos.

Además también se observó que estos sistemas dependen directamente del factor de planta que puedan tener, ya que a diferencia de otro tipo de sistemas de generación de energía eléctrica, estos dependen directamente del aspecto ambiental debido a las horas de sol que varían según la zona donde se requiera instalar este tipo de sistemas, ya que otros sistemas no contemplan las horas de sol al día si no simplemente las horas en las que podrán estar generando la central sin depender de las horas de sol

Otro beneficio que aporta este modelo es que se pueden realizar estudios de sensibilidad variando bastantes parámetros a conveniencia del usuario. La viabilidad económica está en función de diversos parámetros económicos principalmente costos y de parámetros técnicos como factor de planta y

restricciones de área en la instalación (el sistema permitirá calcular la capacidad máxima que se podrá instalar en función del área que se tenga).

En cuanto al financiamiento se deberá de contemplar el porcentaje que se desea financiar en caso de que se pretenda optar por esa opción ya que el usuario podría contar con el capital total para hacer la inversión sin tener que financiar nada o al contrario financiar parte del costo del sistema.

Una conclusión importante es que este trabajo de tesis consiste con el desarrollo de una herramienta basada en un modelo de cómputo llamado FotoCost que permite al usuario saber de manera preliminar si es conveniente o no la instalación de un sistema FV para uso doméstico. La utilidad del programa se basa en gran medida de la información de entrada que proporciona el usuario.

En los análisis de los casos que se presentaron se utilizó la mejor información disponible sin dejar de lado que si el usuario del programa considera que tiene información más precisa para alimentar el modelo, la metodología continúa siendo útil y los resultados representativos. La versatilidad de la herramienta FotoCost se basa en la variedad de resultados que calcula indicando al usuario, mediante la realización de estudios de sensibilidad, aquellos parámetros que afectan más al CNG solar y ver de qué manera pudiera modificarlos para hacer que su proyecto de uso de tecnología FV resulte factible.

En el caso de que los resultados que se obtengan de los valores CNG solar y el costo de suministro de la CFE $\$/\text{kWh}_{\text{CFE}}$ sean muy similares se recomienda realizar un análisis más a fondo considerando aquellos aspectos que no son tratados de manera exhaustiva por esta metodología como modelos de orientación y seguimiento electrónico en los sistemas FV, sistemas de almacenamiento de energía como baterías, y el uso de posibles mecanismos como el “net metering” que son autorizados en el marco legal vigente, etc.

Para finalizar con esta tesis, se concluye que existen nichos potenciales en los cuales es viable la instalación de los sistemas FV a nivel doméstico resulta factible. Estos nichos son los usuarios que tienen tarifa DAC. Por el momento, los análisis han demostrado que para los usuarios de la tarifa doméstica tipo 1 aún no resulta factible el uso de los sistemas FV debido a sus costos de instalación y a los bajos costos de suministro por parte de la CFE. El objetivo de esta tesis ha sido la identificación de aquellas situaciones bajo las cuales es conveniente o no la instalación de sistemas FV en el ámbito doméstico.

LISTA DE ACRONIMOS

- FV, Fotovoltaico.
- CFE, Comisión Federal de Electricidad.
- SENER, Secretaria de Energía.
- O&M, Operación y Mantenimiento.
- DAC, Demanda de Alto Consumo.
- CNG_{SOLAR}, Costo Nivelado de Generación Solar.
- CNG, Costo Nivelado de Generación.
- FVP, Facto de Valor Presente.
- DOF, diario Oficial de la Federación.
- CRE, Comisión Reguladora de Energía.
- SEN, Sistema Eléctrico Nacional.
- GNA, Generación Neta Anual.

REFERENCIAS

<http://www.cuautitlan.unam.mx/rudics/el-costode-la-energia-solar-ha-caido-30-en-la-ultima-decada>

http://www.undp.org.mx/spip.php?page=article_sp&id_article=2082

http://agr.unne.edu.ar/Materias/Agroclima/Cambio_Climatico.pdf

<http://www.solarmex.com.mx/>

<http://www.conermex.com.mx/>

http://www.genersysmexico.com/?gclid=CL_w1rCP9rMCFQinPAod1AwAyg

<http://www.mexicosolar.com/efotovoltaica.html>

<http://www.solartec.mx/>

<http://www.renacmexico.com/programa-de-cursos/>

<http://www.enfsolar.com/directory/panel?lang=es>

<http://www.revistaentornos.com/articulos/10.-traduccion--investiga.pdf>

http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_22/83/203-211.pdf

<http://www.anes.org/anes/index.php>

http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica

<http://www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio>

http://cambio_climatico.ine.gob.mx/comprendercc/comprendercc.html

<http://www.platts.mx/content/index>

<http://www.amper.org.mx/noticias.html>

<http://solartec.mx/doctos/modulos/mono/S60MC.pdf>

http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/

<http://www.sustentamexico.com.mx/imagenes/fotovoltaico/interconexion.pdf>

<http://sener.gob.mx/webSener/res/1803/Solar.pdf>

<http://www.irena.com>

<http://Guia> de usuarios de pequeña escala de sistemas fotovoltaicos.pdf

<http://www.ieee.com>

<http://www.iie.com>