



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS

**ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO EN LA
IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO PARA USO RESIDENCIAL.**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

**PRESENTA
JULIO GARCÍA ROMERO**

**ASESOR DE TESIS
ING. VÍCTOR QUINTERO ROJAS**

Noviembre del 2010



**FACULTAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Agradecimientos

El presente documento es dedicado a mis padres quienes a través de estos años me han estimulado y apoyado para hacer posible este objetivo en mi vida. Por ustedes y para ustedes que agradezco de todo corazón su comprensión y cariño en todo momento.

Agradezco el apoyo que siempre me han brindado mis hermanos para lograr mi objetivo, se que cuento con ellos siempre.

Gracias a mis amigos por su confianza y lealtad, también a todos y cada uno de mis maestros por su ayuda brindada a través de este tiempo.

A si mismo agradezco al Ing. Víctor Quintero Rojas por la atención, apoyo, franqueza y disponibilidad prestada.

Dedicatoria

Mi tesis es dedicada con mucho cariño a mis padres quienes me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, por darme una carrera para mi futuro y mi vida.

Gracias por que a pesar de los momentos difíciles han estado presentes para brindarme su apoyo, por todo esto y más les agradezco de todo corazón por estar presentes.

A todos mis hermanos, sobrinos, sobrinas, abuelos y a toda mi familia que quisiera nombrar pero son muchos y lo cual no indica que no me acuerde de ellos, a todos y cada unos gracias.

Dedicada también a mi abuelo Simón Romero por haber sido un ejemplo a seguir y motivo para la elección de mi profesión.

Resumen

La sucesiva crisis de las distintas fuentes de energía convencionales, por escasez, contaminación o deterioro del medio ambiente, han servido de estímulo para el desarrollo de nuevas fuentes de generación para la energía eléctrica.

Algunos de los procedimientos para generar energía eléctrica es utilizando combustibles fósiles, los cuales a través del paso de tiempo se han estado agotando. Por tal motivo en la actualidad para aquellos procedimientos que empleen combustibles fósiles se están elevando los costos de producción de energía eléctrica, hecho que afecta directamente a la economía del usuario.

Años atrás se ha venido impulsando las fuentes de energías limpias y renovables, debido a que utilizar este tipo de fuentes ha reducido la contaminación al medio ambiente y a la vez influye ahorro en consumo de energía eléctrica para los usuarios, los cuales realizan un pago monetario a la empresa suministradora.

Actualmente existen diferentes fuentes de energía limpias entre las que podemos encontrar la solar o fotovoltaica, la cual es una fuente en la que el presente documento estará enfocado.

El propósito de utilizar este tipo de fuente es para proporcionar energía eléctrica a uno de los electrodomésticos en una casa habitación que usualmente es el que más potencia consume.

El electrodoméstico al que se hace referencia es el refrigerador el cual en la mayoría de los hogares se puede encontrar.

La potencia consumida por el refrigerador será proporcionada por un sistema fotovoltaico durante el periodo diurno, mientras que para el periodo nocturno este electrodoméstico consumirá la energía eléctrica de la empresa suministradora. Mencionado lo anterior se puede indicar que el sistema a implementar será un sistema híbrido.

Contenido

Agradecimientos	-----	ii
Dedicatoria	-----	iii
Resumen	-----	iv
Contenido	-----	v
Lista de Figuras	-----	viii
Lista de Tablas	-----	x
Lista de Símbolos y Abreviaciones	-----	xii
Capítulo 1. Introducción		1
1.1 Antecedentes	-----	6
1.2 Objetivo de la tesis	-----	8
1.3 Justificación	-----	9
1.4 Metodología	-----	9
1.5 Contenido de la tesis	-----	10
Capítulo 2. Celdas y Módulos Solares		12
2.1 Incidencia solar en México	-----	12
2.2 El efecto fotovoltaico	-----	15
2.3 Construcción y fabricación de la celda solar	-----	17
2.4 Tipos de celdas solares	-----	19

2.5 El módulo solar -----	22
2.5.1 Estructura del módulo solar -----	23
2.5.2 Parámetros de un módulo solar -----	25
2.5.3 Curvas corriente-voltaje -----	26
2.6 Arreglos de módulos solares -----	28
Capítulo 3. Inversor de CD/CA	32
3.1 Tipos de inversores monofásicos -----	33
3.2 Simulación de un circuito inversor -----	36
3.3 Inversores monofásicos comerciales -----	41
Capítulo 4. Aplicación uso doméstico	47
4.1 Carga eléctrica en casa habitación -----	48
4.2 Electrodomésticos de uso cotidiano -----	50
4.3 Electrodoméstico seleccionado para el estudio de referencia	52
4.4 Refrigeradores de mayor demanda -----	52
4.5 Características del electrodoméstico seleccionado -----	53
Capítulo 5. Estudio técnico-económico	54
5.1 Consumo de energía del electrodoméstico seleccionado ---	55
5.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico -----	57
5.3 Estudio técnico -----	60
5.4 Recuperación de inversión -----	62

Conclusiones y trabajos futuros		67
Apéndices		
A. Datos de insolación en México	-----	70
Referencias		76

Lista de Figuras

1.1 Esquema de un sistema autónomo	-----	2
1.2 Esquema de un sistema interconectado a la red	-----	3
1.3 Tipos y uso de las FAE	-----	4
1.4 Sistema solar fotovoltaico típico	-----	5
2.1 Elementos de un sistema solar	-----	13
2.2 Trayectoria solar a lo largo del año	-----	14
2.3 Funcionamiento de una celda solar	-----	16
2.4 Celda, módulo y panel solar	-----	16
2.5 Celda solar	-----	17
2.6 Estructura de una celda solar	-----	18
2.7 Módulo de silicio monocristalino	-----	20
2.8 Módulo de silicio policristalino	-----	20
2.9 Módulos de silicio amorfo	-----	21
2.10 Componentes de un módulo fotovoltaico	-----	22
2.11 Construcción típica de un módulo solar	-----	24
2.12 Curva I-V de un módulo solar fotovoltaico	-----	27
2.13 Conexión de módulos solares en serie	-----	28
2.14 Conexión de módulos solares en paralelo	-----	29
2.15 Conexión de módulos solares en serie-paralelo	-----	29
3.1 Inversor en medio puente	-----	34
3.2 Inversor en puente completo	-----	35
3.3 Circuitos equivalentes del inversor en puente completo	--	35
3.4 Circuito inversor monofásico en puente completo con MOSFET		37

3.5 Pulsos de activación y desactivación de los MOSFET	-----	38
3.6 6 Señal de voltaje obtenido entre los punto A y B	-----	39
3.7 Frecuencia entregada por el inversor	-----	39
3.8 Corriente del punto A y B	-----	40
3.9 Corriente de la fuente de CD	-----	40
3.10 Inversor de $12 V_{CD}$ y $120 V_{CA}$	-----	41
3.11 Inversor $24 V_{CD}$ y $120 V_{CA}$	-----	42
3.12 inversores de electrotécnica solar aplicada	-----	43
5.1 Arreglo de paneles solares para compensar la potencia requerida	--	58
5.2 Uso de un solo panel para suministrar la potencia requerida	-----	58
5.3 Sistema fotovoltaico y control para cambio de la fuente de energía eléctrica	-----	59

Lista de tablas

2.1 Eficiencia de celdas solares	-----	19
2.2 Parámetros de un módulo solar de 48 W	-----	26
3.1 Combinación de interruptores y voltajes de salida	-----	36
3.2 Características de inversores de electrotécnica solar aplicada	----	44
3.3 Inversores disponibles por la empresa enalmex	-----	44
3.4 Características de inversores de la empresa solartronic	-----	45
4.1 Lista referente a consumo eléctrico de aparatos típicos en casa habitación	-----	48
4.2 Aparatos de uso cotidiano	-----	50
4.3 Refrigeradores de mayor venta en Morelia	-----	53
4.4 Características del refrigerador elegido	-----	53
5.1 Valores promedio para tiempo de funcionamiento, tiempo de reposo y corriente de trabajo	-----	55
5.2 Características de paneles solares	-----	60
5.3 Características del inversor seleccionado	-----	62
5.4 Consumo promedio para casa habitación de clase media	-----	63
5.5 Consumo considerando el ahorro del electrodoméstico	-----	64
5.6 Consumo para el bimestre de mayor demanda	-----	64
5.7 Ahorro de energía al eliminar el consumo excedente	-----	65

A-1 Insolación global media en México (Kw-h/m ² -Día) -----	69
A-2 Insolación en México (Kw-h/m ² -Día) -----	71
A-3 Insolación global promedio diario mensual en kw-h/m ² -----	73

Lista de Símbolos y Abreviaturas

K	kilo
M	mega
G	giga
m	metros
W	watts
Hz	hertz
W-h	watt-hora
t	tiempo
Ω	ohms
δ	ángulo de potencia
R	Resistencia
P	potencia real
f.p.	Factor de potencia
FAE	fuentes alternas de energía
hrs	Horas
W/m ²	Watts por metro cuadrado
cm ²	Centímetro cuadrado
Km/h	Kilómetro por hora
FV	Fotovoltaico
I _{cc}	Corriente de Corto Circuito
V _{oc}	Voltaje de Circuito Abierto
I _{op}	Corriente a la Carga
V _{op}	Voltaje a la Carga
Kg	Kilogramo

ft^3	Pies cúbicos
MA	Masa de aire
P_{pM}	Potencia pico
v_{pM}	Voltaje pico
i_{pM}	Intensidad pico
P_{pT}	Potencia pico total
N_T	Número de módulos
I_T	Corriente de salida
i_M	Corriente de módulo
N_p	Módulos en paralelo
V_T	Voltaje de salida
V_M	Voltaje de módulo
N_s	Módulos en serie

Capítulo 1

Introducción

Al discutir sobre las fuentes alternas de energía (FAE), se hace referencia a todas aquellas formas de generación de energía eléctrica.

Los orígenes de estas energías reside en fenómenos de la naturaleza o procesos que al sufrir una transformación se obtiene energía eléctrica aprovechable por la humanidad y que se puede regenerar naturalmente, motivo por lo cual se puede encontrar disponible de manera continua o periódica, Algunas de esta fuentes se mencionan a continuación.

- El viento.
- El sol.
- Movimiento del agua en cauces naturales o artificiales.
- Energía oceánica (mareomotriz, maremotérmica, de las olas, de las corrientes marinas, etc.)
- Materia orgánica.

Actualmente se conoce que las fuentes de energía convencionales para generar electricidad es mediante el uso de combustibles fósiles, pero también se sabe que se están agotando, razón por la cual se buscan nuevas maneras de generar energía eléctrica, esto es con las ya mencionadas FAE.

Entre las ventajas de usar este tipo de fuentes se puede indicar que contribuyen a la reducción de la contaminación al medio ambiente.

Capítulo 1

Ahorrar energía es otro de los objetivos del uso de las FAE, ya que los usuarios disminuyen la demanda de energía que alguna empresa le suministre, esto se ve reflejado en la baja del pago monetario a la empresa que presta el servicio.

El presente documento será orientado a una de las FAE, en específico a la energía solar. La finalidad de utilizar este recurso es para ahorrar energía eléctrica consumida por el refrigerador, que como ya se mencionó es uno de los aparatos en casa habitación que más energía consumen debido a que su funcionamiento es constante, es decir se encuentra conectado a la red eléctrica de la casa habitación las 24 hrs del día.

La energía solar es una fuente que se puede emplear en distintos lugares y maneras ya sea un sistema autónomo o interconectado a la red. La figura 1.1 muestra un sistema autónomo, mientras que la figura 1.2 muestra el sistema interconectado a la red. Cada una de ellas muestra los elementos necesarios para cada sistema.

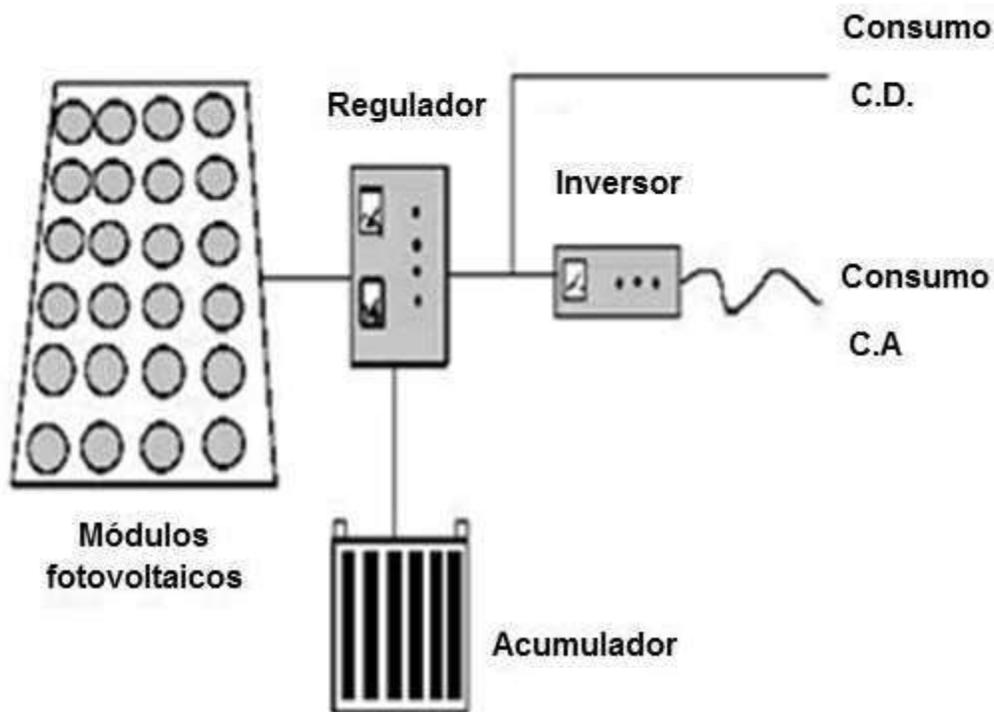


Figura 1.1 Esquema de un sistema autónomo.

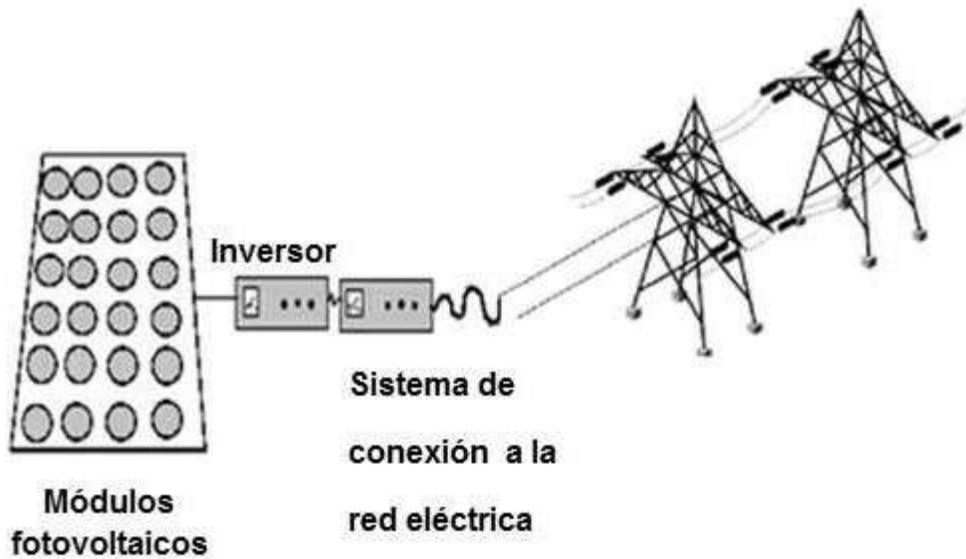


Figura 1.2 Esquema de un sistema interconectado a la red.

El presente documento estará orientado para proporcionar energía eléctrica al refrigerador durante el periodo diurno, con la finalidad de reducir el consumo de energía que proporciona la empresa suministradora.

Al disminuir el consumo de energía que proporciona la empresa se espera también disminuya el pago monetario y por tanto el usuario lo perciba en su bolsillo.

La figura 1.3 muestra un organigrama en el cual se mencionan las distintas FAE. Esta figura nos ayudará a ubicarnos sobre el tipo de energía a utilizar, aplicaciones y la orientación de la presente investigación.

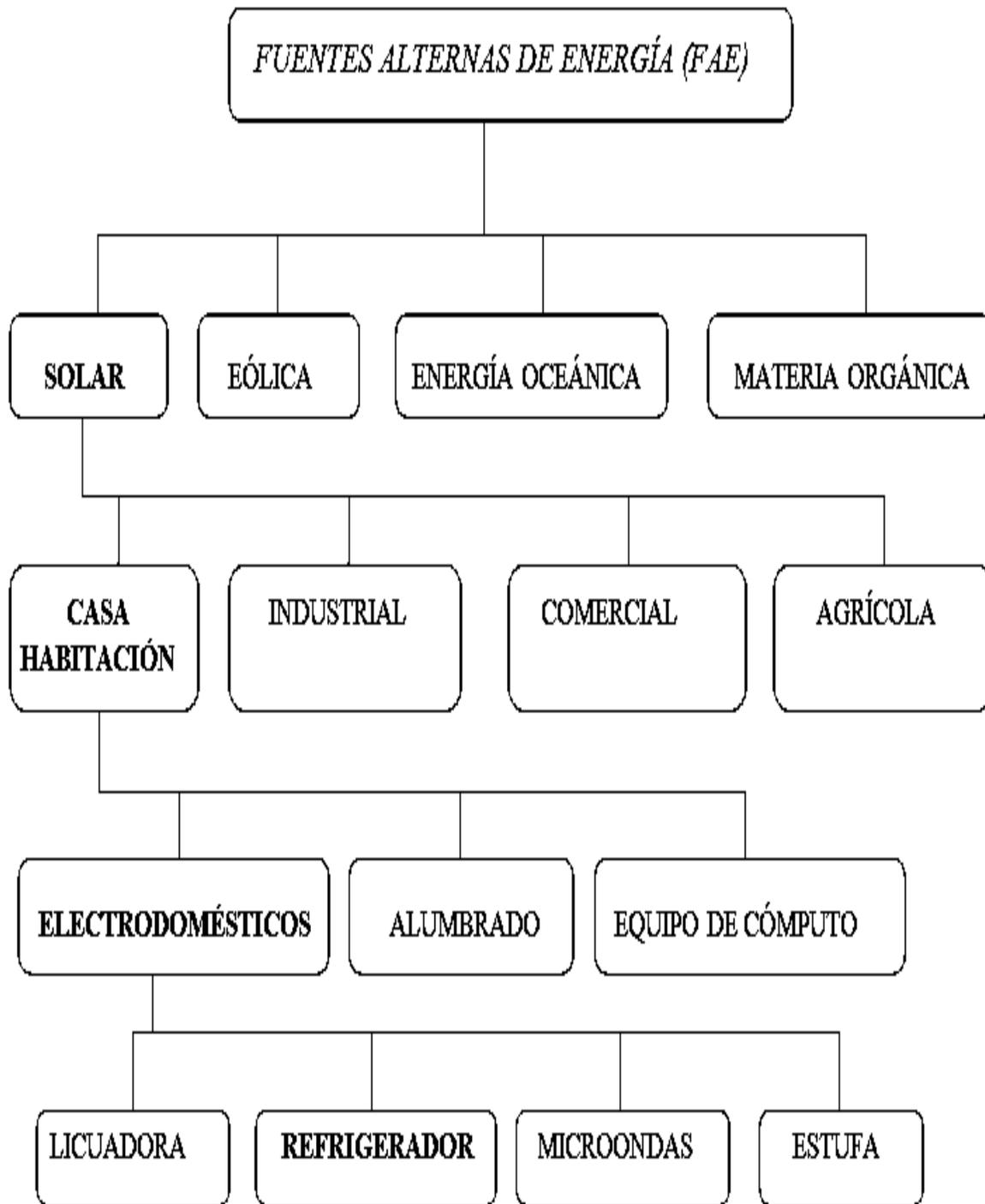


Figura 1.3 Tipos y uso de las FAE

Capítulo 1

En la figura 1.4 se muestra el diagrama con la configuración básica de un sistema solar fotovoltaico, con el fin de tener una mejor perspectiva sobre el principio de operación de éste sistema.

En el diagrama se podrán observar los distintos componentes y posteriormente se proporcionara una breve explicación sobre la función que efectúa cada uno de ellos.

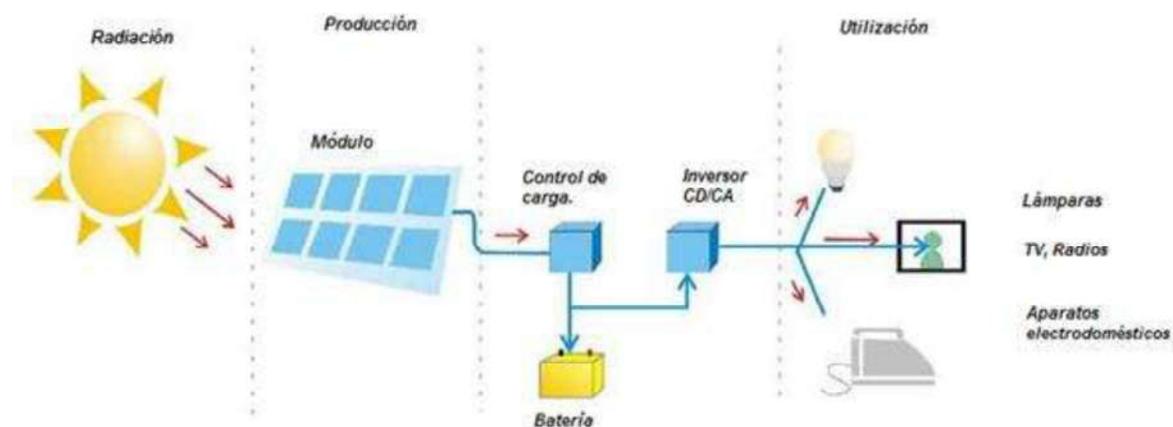


Figura 1.4 Sistema solar fotovoltaico típico.

La *luz solar* es un conjunto de radiaciones electromagnéticas similares a las ondas de radio pero de mayor frecuencia. El sol emite la radiación en forma similar a un cuerpo calentado a 6,000 °C, entre las longitudes de onda de 0.2 a 3 micras.

Es importante observar que el sol no emite calor sino radiación. El efecto de esta radiación es el calentamiento de los cuerpos donde la misma incide.

Un *arreglo fotovoltaico* es un conjunto de módulos solares que generan una corriente eléctrica a un voltaje dado cuando son expuestos a la luz solar. La energía generada variará de acuerdo a como lo haga la insolación solar.

Entre los elementos que contiene un sistema solar fotovoltaico típico es el *banco de baterías*, el cual recibe la corriente fotovoltaica a través del control de carga y es recargada mientras esté disponible la radiación solar. El banco de baterías, es uno de los elementos el cual no será considerado para el estudio de la presente tesis. La finalidad de no emplear dicho elemento es reducir el costo, ya que utilizarlo tal vez aumentaría demasiado el costo del sistema a emplear.

Capítulo 1

Otro dispositivo es el *control de carga* el cual evita que las baterías se sobrecarguen, limitando o interrumpiendo la corriente solar cuando las baterías ya están completamente cargadas. Este elemento también asegura que el voltaje de las baterías no exceda el permitido a los equipos conectados.

Anteriormente se mencionó la razón por el cual no se emplearan las baterías, por tal motivo y mencionado lo anterior sobre el dispositivo de *control de carga*, tampoco será necesario utilizar este componente.

Para equipos alimentados en CD se conectan al control de carga, mientras los equipos que utilizan CA requieren un componente adicional que es el inversor de CD/CA.

El inversor es un dispositivo electrónico que convierte el voltaje de CD a un voltaje de CA, que usualmente es de mayor valor en voltaje. El voltaje de CA obtenido es empleado en casa habitación para el funcionamiento de lámparas, TV, aparatos electrodomésticos, etc.

En los siguientes capítulos se describirá más a fondo los elementos básicos del arreglo fotovoltaico, omitiendo el banco de baterías y el control de carga por las razones ya mencionadas.

Un razonamiento fundamental en el diseño y selección de los componentes de un sistema fotovoltaico es obtener la confiabilidad deseada al costo mínimo. Generalmente, esto significa tener componentes confiables, eficientes y de una larga vida útil.

1.1 Antecedentes

El uso de la energía solar ha sido utilizada por la humanidad desde hace millones de años, donde la agricultura, por si misma, no podría concebirse sin la utilización de éste recurso.

En los tiempos de Arquímedes (212 A.C.) se sabía que los rayos del sol podían ser concentrados en un punto determinado por medio de espejos, en base a éste conocimiento Arquímedes incendió las naves romanas en la batalla de Siracusa.

En el año de 1615 en Alemania, Salomón de Gauss construyó una bomba solar para elevar agua por expansión de aire caliente.

Capítulo 1

Para el año de 1772 en Francia, Lavoisier inventó un horno solar y casi un siglo después (1860) Mouchot hizo funcionar una máquina de vapor y una bomba para agua mediante energía solar.

A la llegada de la revolución industrial en el siglo XVIII, el descubrimiento y explotación de los combustibles fósiles (gas, petróleo, carbón, etc.) hacia el siglo XIX originó que se abandonara la idea de utilizar la energía procedida del sol.

A pesar de esto se ha seguido experimentado con la energía solar para ser utilizada en lugares donde no es accesible la adquisición de los combustibles.

En 1949 en los laboratorios Mont Louis (Francia) se construyó un horno solar donde se alcanzaron temperaturas de hasta 3,500 °C que se utilizaron para procesos metalúrgicos.

Para el año de 1958 se logró la conversión de la luz del sol a energía eléctrica el cual da el fenómeno llamado “efecto fotovoltaico” que se utilizó para satisfacer los requerimientos energéticos de satélites como el Vanguard I.

A partir del 17 de octubre de 1973 se tuvieron importantes eventos en el mercado del petróleo debido a la llamada crisis del petróleo, esto fue debido a la decisión tomada por la organización de los países exportadores de petróleo árabes (lo agrupaban los países miembros árabes de la OPEP además de Egipto y Siria), que anunciaban no exportar más petróleo a los países que habían apoyado a Israel durante la guerra de Yom Kippur. Dicha medida incluía a Estados Unidos y a sus aliados de Europa Occidental.

El aumento en el precio del petróleo incorporado a la gran dependencia que tenía el mundo industrializado por el combustible, provocó un fuerte efecto inflacionista y una reducción de la actividad económica de los países afectados.

Efectos que se manifestaron en los siguientes años en un alza notable del precio de la fuente de energía no renovable, debido a esto surgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de dicha fuente.

A partir de estos hechos los países consumidores enfrentaron los altos costos del petróleo y una dependencia casi total de dicho energético, por lo que tuvieron que cambiar sus costumbres y buscar nuevas opciones para reducir la dependencia de fuentes no renovables. Con la finalidad de reducir la dependencia total de petróleo, se buscaron nuevas fuentes de energía, de la cual surgen las llamadas fuentes alternas o renovables.

Capítulo 1

Posteriormente se reconsideró un mejor aprovechamiento de la energía solar, por lo que se ha mostrado más interés en dicho recurso.

Para la década de los ochenta surgieron realidades de un aumento en las concentraciones de gases que son los causantes del efecto invernadero en la atmosfera terrestre. A consecuencia de lo anterior se originó una convocatoria mundial para la búsqueda de alternativas en la reducción de las concentraciones de dichos gases.

El resultado de la convocatoria originó que muchos países, en particular los más desarrollados establecieran compromisos para reducir y limitar las emisiones de gas de efecto invernadero.

Actualmente las tecnologías de aprovechamiento para FAE han madurado y evolucionado por lo que han reformado su confiabilidad para muchas aplicaciones.

En base a lo anterior países como Alemania, España, Israel y Estados Unidos muestran un crecimiento importante en el número de instalaciones que aprovechan la energía del sol de manera directa o indirectamente.

En México se posee una riqueza en energéticos de origen fósil, pero también cuenta con un potencial muy importante en asunto de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permitirá contar con una mayor diversificación de FAE.

1.2 Objetivo

Proporcionar información sobre una de las FAE, que como ya se ha mencionado, es la energía solar. Esta es la fuente en el cual se enfocará el estudio de la presente tesis.

Utilizar celdas solares para el suministro de energía eléctrica al electrodoméstico de mayor consumo en casa habitación.

No utilizar baterías, con la finalidad de reducir el costo, por lo que dicho electrodoméstico consumirá la energía eléctrica necesaria de las celdas solares en el periodo diurno.

Mostrar que al emplear este tipo de fuente, reduce el consumo de energía eléctrica que proporcione alguna empresa a casas habitación.

Capítulo 1

Indicar que el ahorro de energía usando este tipo de FAE estará directamente reflejado para el usuario de casa habitación ya que el pago económico hecho hacia la empresa suministradora deberá disminuir.

1.3 Justificación

Aprovechar la energía solar para convertirla a energía eléctrica, es una de las distintas opciones que ofrecen las FAE para la generación de electricidad.

Emplear dicha fuente puede ser muy común en algún futuro no muy lejano, debido a la problemática que se tiene actualmente a raíz de la contaminación.

Desde hace varias décadas se ha venido discutiendo el uso de las fuentes alternas de energía ya que se han presentado dificultades a causa de la disminución del recurso no renovable.

Emplear este tipo de fuente reducirá en gran parte la manifestación de gases de efecto invernadero.

Usar esta FAE en casa habitación también reducirá el consumo de energía eléctrica que es suministrada por alguna empresa. Es decir, este ahorro se percibirá en la disminución del pago monetario por el consumo de energía eléctrica.

1.4 Metodología

Efectuar una encuesta en los distintos establecimientos los cuales dispongan o tengan a la venta electrodomésticos, que para este caso es el refrigerador. La averiguación es con la finalidad de obtener información sobre la capacidad de los refrigerados más comunes o de mayor venta.

Para tomar la decisión de sobre qué capacidad de refrigerador seleccionar, dependerá del resultado de la encuesta antes mencionada o bien de la disponibilidad del equipo para

Capítulo 1

pruebas eléctricas.

En el estudio es necesario considerar diversos elementos como por ejemplo los módulos solares, el cual se efectuará una investigación sobre su precio, características eléctricas, manera de operación, etc. Con la finalidad de comparar precios y tener más opciones para el estudio técnico económico.

El sondeo se realizará a nivel local, estatal y federal con la finalidad de comparar el costo de los distribuidores o bien contactar directamente al fabricante de los módulos solares.

Para determinar el costo de la inversión del sistema y tiempo de recuperación, hay que considerar las características eléctricas del refrigerador y conjuntamente su consumo de cada bimestre para el dispositivo seleccionado.

1.5 Contenido de la tesis

En el capítulo 1 se mencionan algunas fuentes alternas de energía, asimismo se mencionan datos importantes sobre los comienzos del recurso solar y la configuración básica de un sistema solar. En este capítulo también se menciona el objetivo del actual estudio, justificación y metodología para la elaboración de la tesis.

En el capítulo 2 se muestra información referente al recurso solar en México, conjuntamente sobre las celdas y módulos solares, asimismo se indicará información sobre construcción y funcionamiento de las celdas solares.

En el capítulo 3 se hará referencia sobre el inversor de CD/CA que es uno de los elementos necesarios en el arreglo fotovoltaico para proporcionar energía eléctrica al electrodoméstico seleccionado. Así mismo se presentará una propuesta de un circuito inversor, este circuito será mediante una simulación por computadora.

En el capítulo 4 se presenta información sobre el nivel de aplicación de esta tesis, que para este caso es de uso doméstico. También se mencionarán los equipos electrodomésticos comunes en las viviendas, así como su consumo de energía eléctrica.

En el capítulo 5 se presentan lecturas de voltaje y corriente al electrodoméstico seleccionado para determinar su consumo de energía, además el estudio técnico económico

Capítulo 1

para la aplicación del sistema en estudio y la recuperación de la inversión.

Conclusiones y trabajos futuros. Se presentarán las conclusiones que se han obtenido a través del proyecto de investigación, a la vez mencionar distintos puntos para mejorar el trabajo en un interés futuro.

Capítulo 2

Celdas y Módulos Solares.

La energía eléctrica no está disponible en la naturaleza como fuente de energía primaria y por consecuencia solo se puede disponer de ella si se obtiene por transformación de alguna otra forma de energía.

Una forma de obtener energía eléctrica es mediante dispositivos especiales llamados módulos fotovoltaicos que transforman la energía solar en electricidad de modo directo, es decir sin necesidad de transformaciones intermedias para la obtención de la energía eléctrica. Citado lo anterior se puede decir que las celdas solares son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad de forma directa.

2.1 Incidencia solar en México.

Antes de entrar en detalles con las celdas y módulos solares es necesario hablar de la radiación solar en México, en el capítulo 1 se presentó la figura 1.4, en el cual se observa la configuración básica de un sistema solar.

La imagen muestra en primer lugar al principal elemento que es el sol, enseguida se indica el modulo fotovoltaico, tal y como se muestra en la figura 2.1 En el orden que se observa la siguiente figura se hablará de cada uno de los elementos.

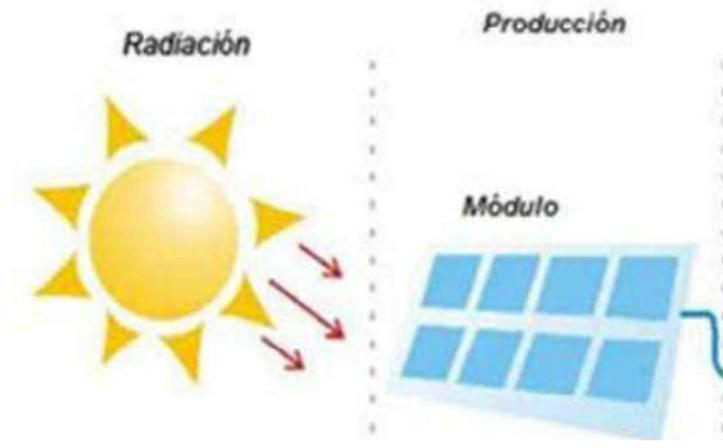


Figura 2.1 Elementos de un sistema solar.

En el capítulo 1 se mencionó que la luz solar es un conjunto de radiaciones electromagnéticas similares a las ondas de radio pero de mayor frecuencia.

La mayor parte están situadas en la banda de frecuencia a la que el ojo es sensible con una parte importante en el infrarrojo y una mínima parte en el ultravioleta, ambos no detectables por la vista humana.

La radiación solar interceptada por la tierra en su desplazamiento a su alrededor, constituye la principal fuente de energía renovable a nuestro alcance. Nuestro planeta recibe del Sol la asombrosa cantidad de energía anual de 5.4×10^{24} J, una cifra que representa 4.5 veces el consumo mundial de energía. Aunque es muy abundante el aprovechamiento de la radiación solar está condicionada por tres aspectos: la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas de cada emplazamiento.

La radiación solar es una forma de energía de baja concentración, fuera de la atmósfera, la intensidad de radiación oscila entre 1300 y 1400 W/m^2 . Las pérdidas en la atmósfera por absorción, reflexión y dispersión la reducen un 30%. Si las condiciones climatológicas son buenas podemos llegar a tener 1000 W/m^2 , aunque si las condiciones son pésimas podemos tener sólo 50 W/m^2 , por tal motivo en algunas ocasiones es recomendable utilizar superficies de captación grandes.

Debido a que la trayectoria del sol muestra una variación a lo largo del año, se tienen distintos valores de radiación solar en diferentes lugares del mundo.

Capítulo 2

Estas variaciones son debidas al cambio de inclinación del eje de rotación de la tierra respectó al plano de la órbita de la tierra alrededor del sol, que además dan lugar a las estaciones del año. La figura 2.2 muestra estas variaciones.

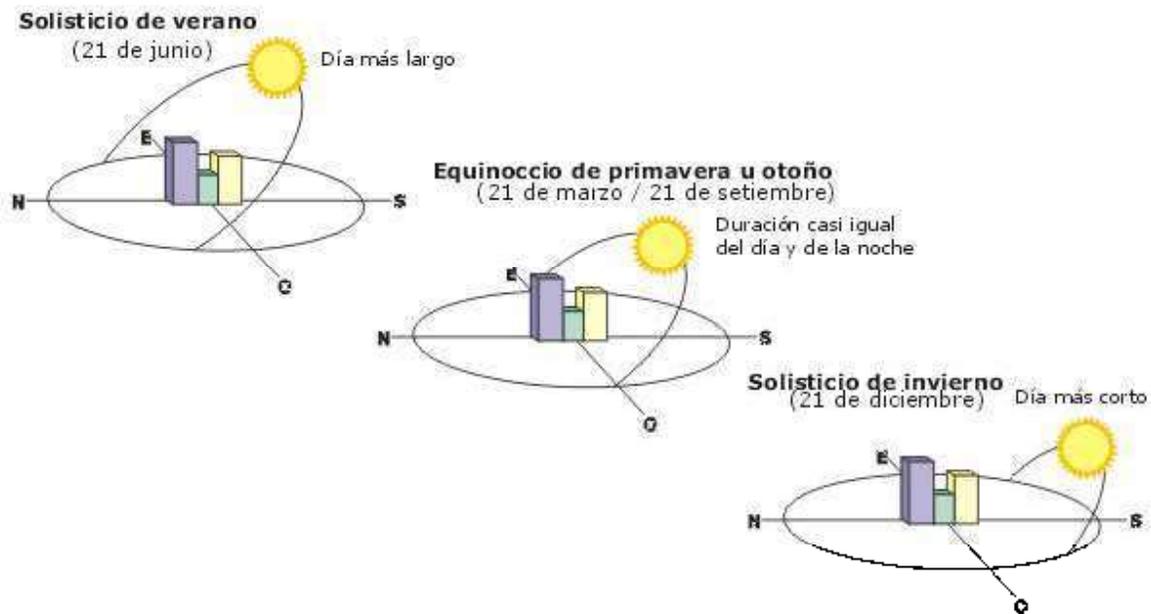


Tabla 2.2 Trayectoria solar a lo largo del año.

Como ya se mencionó se tienen diferentes valores de radiación en el mundo, por ejemplo los valores de radiación de México con respecto a Canadá son diferentes.

En México la insolación o la cantidad de energía en forma de radiación que llega a algún lugar de la tierra, se pueden presentar diferentes valores para cada estado de la República Mexicana. En el apéndice “A” se muestran tablas referentes a la insolación solar en México, estas son obtenidas de distintas fuentes con la finalidad de comparar datos y sean más confiables.

Las energías de que disponemos en nuestro planeta, exceptuando quizás la energía nuclear de fisión, provienen del astro Rey; de esta manera la energía hidráulica, eólica, la de las mareas, los compuestos, biomasa, energías fósiles, la geotérmica, etc. Todas estas energías provienen del Sol. Éste calienta el aire de la tierra y lo hace ascender, así se crean las corrientes de aire y el viento, 6.10^{21} J de energía se producen en un año.

2.2 El efecto fotovoltaico.

En el apartado anterior ya se mencionó sobre la luz solar y algunas características del sol, siguiendo el orden que muestra la figura 2.1, ahora toca el turno de hablar sobre las celdas solares.

Como ya se mencionó la energía solar puede convertirse directamente a energía eléctrica mediante las celdas solares.

El término fotovoltaico se deriva de *foto* (luz) y *voltaico* (producir una corriente eléctrica). En las últimas décadas la tecnología fotovoltaica ha estado atrayendo más atención pública que todas las otras tecnologías para generar electricidad.

Una de las razones de su utilidad es que se puede difundir la luz del sol sin concentración, por lo que se puede usar en lugares donde se tengan niveles moderados de luz solar. Por tal motivo la energía fotovoltaica no está geográficamente limitada.

El efecto fotovoltaico (luz que cae en ciertos materiales para producir electricidad) lo descubrió en 1830 el científico francés Edmund Becquerel el cual observó la aparición de un voltaje en las terminales de un material cuando es expuesto a la luz solar.

El funcionamiento de una celda consiste en que la luz solar caliente la superficie de la celda, los electrones se separan de los átomos y generan un flujo de corriente eléctrica.

Los contactos metálicos en la parte superior e inferior de la celda permiten que la corriente fluya a través de un circuito externo para producir la energía eléctrica, la figura 2.3 muestra la estructura de la celda solar.

El total de electricidad producida por el dispositivo dependerá de la cantidad de luz solar a la que está expuesta y de la eficiencia del dispositivo mismo.

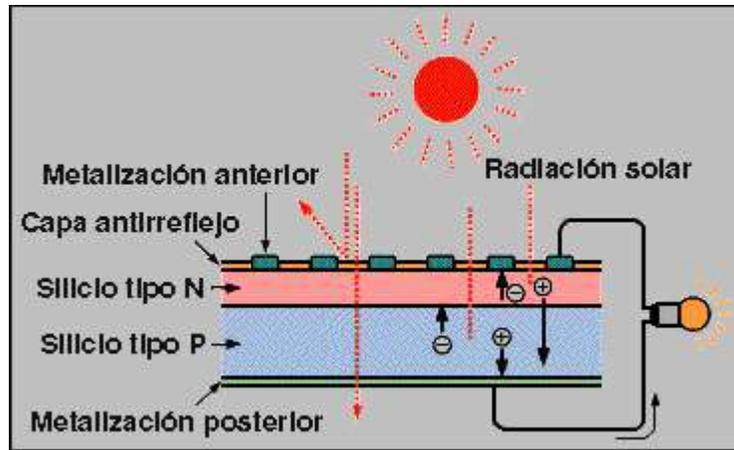


Figura 2.3 Funcionamiento de una celda solar.

En la figura 2.4 se muestran la celda solar y que además pueden instalarse junto con otras para formar grandes unidades y a la vez producir grandes cantidades de energía eléctrica. Las celdas se unen mediante cables y se montan en una estructura para formar módulos, los cuales a su vez, pueden unirse para formar paneles.

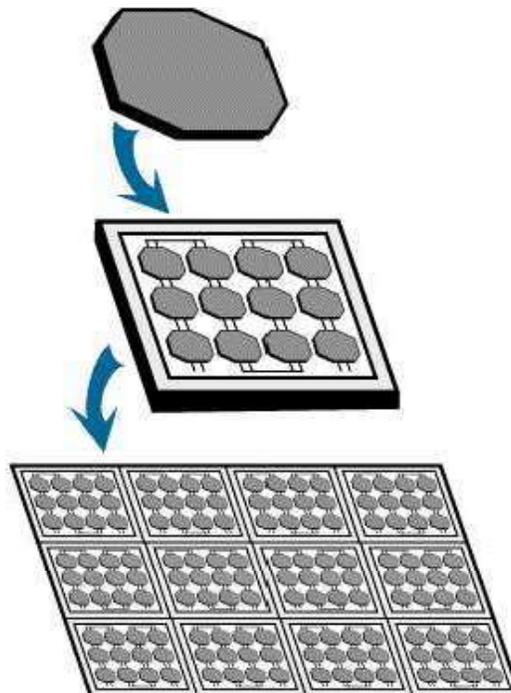


Figura 2.4 Celda, módulo y panel solar.

La electricidad generada por las celdas solares siempre es en corriente directa (CD), por lo que puede usarse directamente en las instalaciones que utilicen este tipo de corriente.

Fácilmente esta corriente de directa puede convertirse a corriente alterna (CA), que es la que habitualmente se usa en los hogares.

2.3 Construcción y fabricación de la celda solar.

Una de las celdas más comúnmente utilizadas, consiste en una oblea de silicio cristalino de menos de 0.5 milímetros de grosor y con dimensiones de hasta 15 x 15 cm², obtenida a partir de un lingote de silicio ultra puro, a continuación la figura 2.5 muestra el ejemplo de la celda solar.

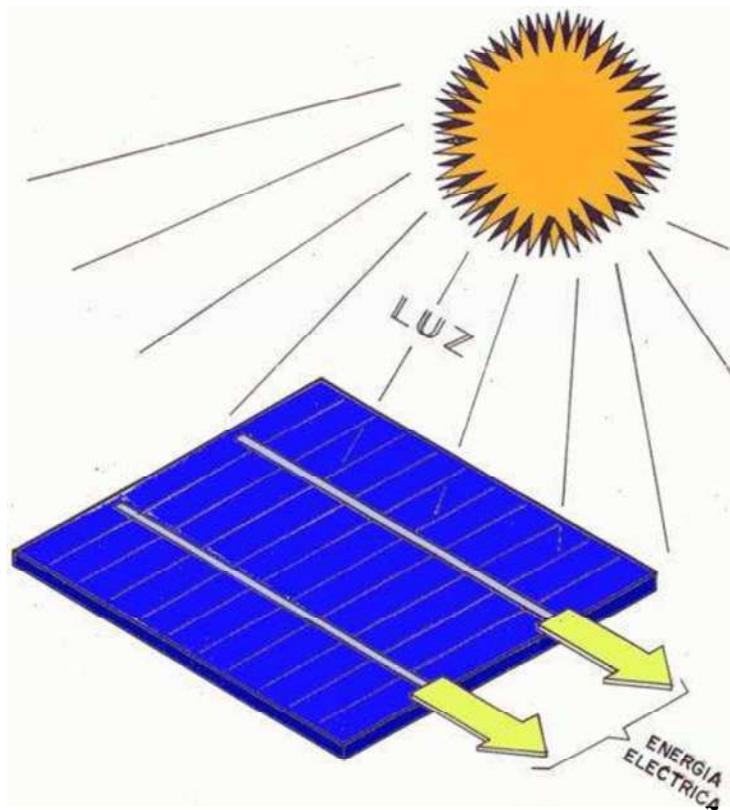


Figura 2.5 Celda solar.

La oblea de silicio es *contaminada* con pequeñas cantidades de fósforo y boro para crear cerca de la superficie frontal un campo eléctrico interno. Enseguida se deposita por

Capítulo 2

impresión en ambas caras un enrejado muy fino de plata y/o aluminio que servirán de electrodos para extraer la corriente eléctrica generada en el interior de la celda.

Posteriormente la celda es recubierta con una película antirreflejante para hacerla más oscura y atraiga más luz. Lo mencionado anteriormente se puede observar en la figura 2.6

Posteriormente cada celda solar es probada en su voltaje y corriente de salida, la cual se expone a una lámpara que simula la luz del sol, para que posteriormente sea agrupada en un módulo solar.

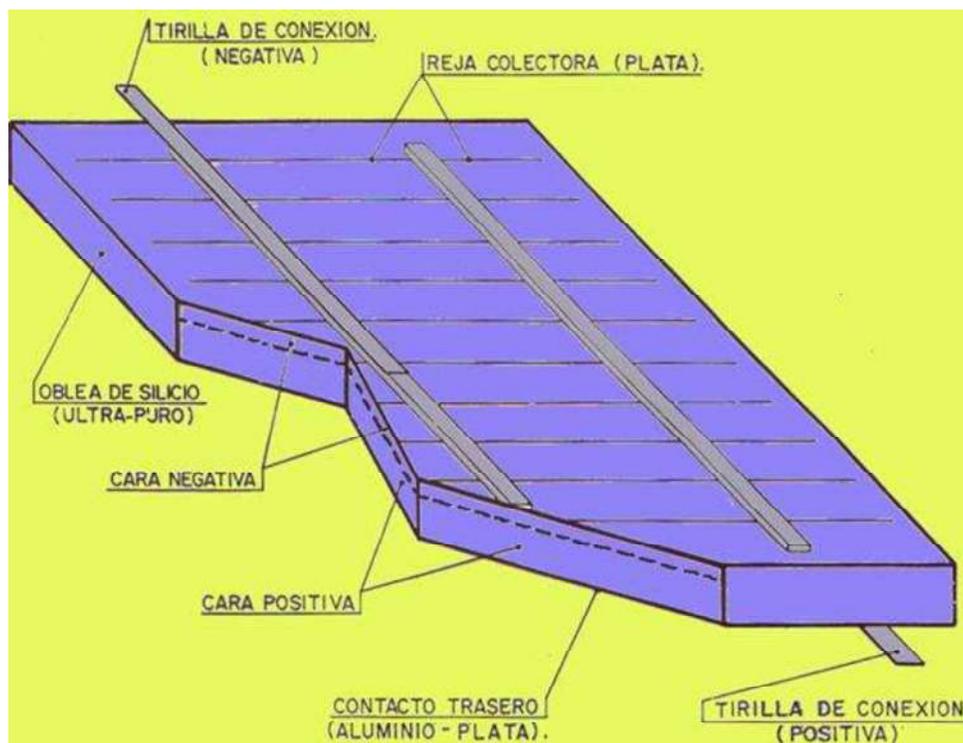


Figura 2.6 Estructura de una celda solar.

Fue hasta 1954 en los laboratorios de Bell en estados unidos cuando se construyó la primera celda solar de silicio con una eficiencia del 4%, el desarrollo de esta tecnología logro en las últimas décadas muchos adelantos en la tecnología de estado sólido.

El componente básico de un sistema fotovoltaico es la celda solar el cual consiste de un material semiconductor. Aunque es posible utilizar varios materiales, el más común es el silicio que es muy abundante (forma parte de más de un cuarto de la corteza terrestre).

El silicio (símbolo químico: Si) se le conoce como un semiconductor. Este elemento químico se encuentra en todo el mundo bajo la forma de arena, que es dióxido de silicio

(SiO₂), también llamado cuarcita. Otra aplicación del silicio semiconductor se encuentra en la industria de la microelectrónica, donde es empleado como material base para los chips.

2.4 Tipos de celdas solares.

En la actualidad la mayoría de las celdas solares disponibles están construidas a una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar hasta un 18 %. En el presente existe una gran variedad de métodos para la producción de celdas solares de silicio, entre las que se encuentran las de silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo.

La diferencia entre las celdas radica en la forma en que los átomos de silicio están dispuestos, también existe una diferencia en la eficiencia, por este término se entiende que es el porcentaje de luz solar que es transformada en electricidad.

Las celdas de silicio monocristalino y policristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.

Durante la última década, se ha estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre las que se pueden encontrar las celdas de película delgada, las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telururo de cadmio), este tipo de celdas apenas están comenzado a ser comercializadas.

A continuación es expuesta la tabla 2.1 la cual muestra la eficiencia de los distintos tipos de celdas.

Tabla 2.1 Eficiencia de celdas solares.

Tipos de celda	Eficiencia
Monocristalino	12 – 15 %
Policristalino	11 – 14 %
Amorfa	6 - 7 %
Telururo de cadmio	7 - 8 %

Celdas de silicio monocristalino: todos los átomos están perfectamente ordenados. En el proceso de cristalización al ir depositándose los átomos sobre el cristal ya formado lo hacen

Capítulo 2

siempre respetando el mismo orden. El color que presenta es muy monocromático: azulado, oscuro y con un cierto brillo metálico, esta celda se muestra en la figura 2.7



Figura 2.7 Módulo de silicio monocristalino

Celdas de silicio policristalino: este tipo de celda se muestra en la figura 2.8 y están formadas por la agrupación de cristales de silicio donde las direcciones de alineamiento de los átomos cambian cada cierto tiempo durante el proceso de exposición. Tienen el aspecto de una mezcla de cristales de distintos tonos azulados y grises con brillo metálico.



Figura 2.8 Módulo de silicio policristalino

Capítulo 2

Celdas de silicio amorfo: estas celdas son mostradas en la figura 2.9, en estas ha desaparecido la estructura cristalina ordenada y el silicio se ha depositado formando una capa fina sobre un soporte transparente. El aspecto es de tono color marrón y gris oscuro. Este es el silicio típico de las calculadoras y otros pequeños objetos con funciones muy diversas.

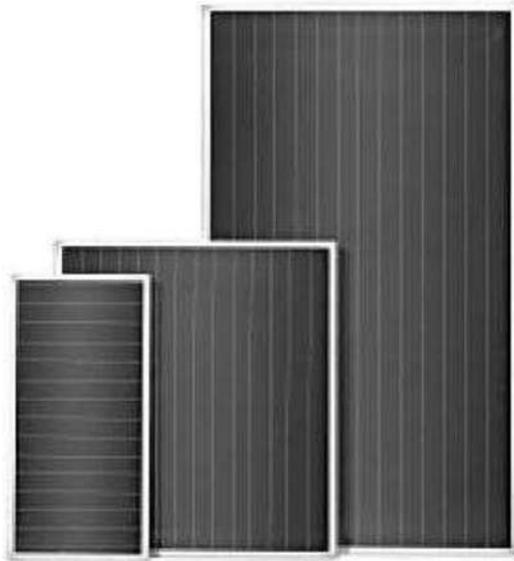


Figura 2.9 Módulos de silicio amorfo

Pueden parecer bajos los rendimientos de la conversión de los distintos tipos de celdas, pero es conveniente mencionar de manera comparativa, que cada rueda motriz de un vehículo con tracción a dos ruedas aprovecha únicamente el 6 % de la energía química contenida en el combustible, el resto se pierde en forma de calor e inquemados (indica que la combustión se está realizando en forma incompleta) por los gases de escape, en el calor generado en los cilindros, en las fricciones del resto de los elementos móviles del motor, en el frenado, en la admisión de aire, etc. Esto sin contar el consumo energético añadido de los vehículos que incorporan aire acondicionado que requiere el movimiento de un compresor.

2.5 El módulo solar.

Un módulo solar está formado por un conjunto de células fotovoltaicas interconectadas entre sí. Estas son encapsuladas y enmarcadas mediante el sellado por la cara posterior con un encapsulante polimérico de EVA (etilén vinil acetato) y recubrimiento también de plástico, de TEDLAR (fluoruro de polivinilo), y por lo anterior con un vidrio templado, muy resistente al impacto, de superficie interior antirreflexiva y con una bajo contenido en hierro para su absorbencia, la superficie exterior del vidrio debe ser lisa para evitar la acumulación e incrustación de suciedad y facilitar la limpieza por efecto de la lluvia, el marco que le da rigidez al conjunto es de aluminio anodizado (protege el aluminio contra de los agentes atmosféricos). Los elementos citados anteriormente sobre el módulo fotovoltaico se muestran en la figura 2.10

La hermeticidad del módulo es esencial para impedir la penetración de los agentes atmosféricos que favorecería la corrosión y deterioro de los contactos metálicos. En el marco o en la lámina del TEDLAR se fija la caja de conexiones con tapa, esta caja contiene los bornes de conexiones positivas y negativas.

Tomando en cuenta que un modulo no tiene partes móviles y que algunos elementos están encapsulados, se consigue una vida útil de 25 a 30 años aproximadamente.

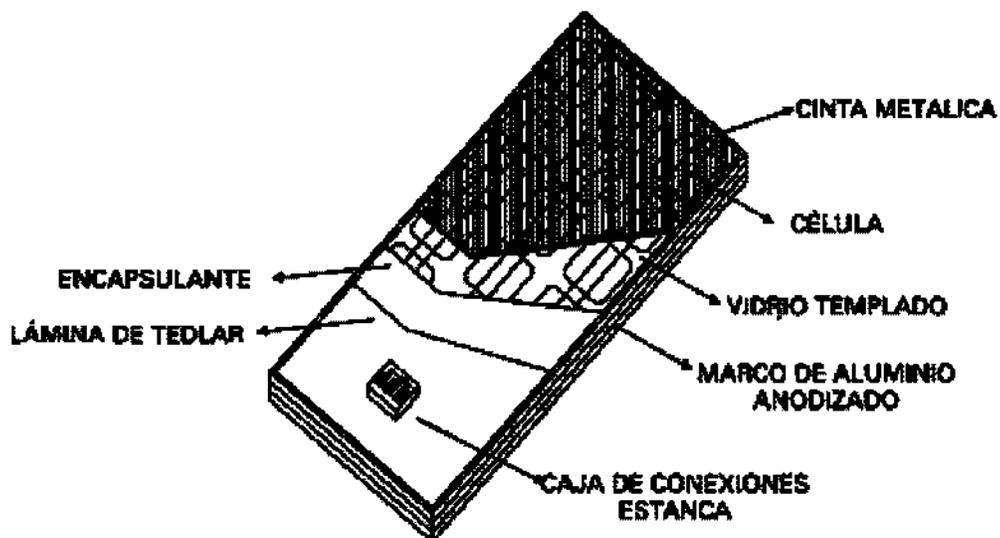


Figura 2.10 Componentes de un módulo fotovoltaico.

Capítulo 2

Para conseguir tensiones de trabajo más operativas que los 0.5 V se necesita conectar en serie entre 30 y 36 celdas, con el fin de llegar a tensiones del orden de 20 V en CD. Sin embargo se habla de una tensión nominal por panel o módulo fotovoltaico de 12 V. Este exceso de tensión se requiere para:

- Compensar las caídas de tensión en los conductores.
- Compensar las caídas de tensión en las cargas o aparatos de consumo.
- Poder cargar las baterías de 12 V nominales, ya que estas requieren llegar hasta tensiones de carga del orden de 14.5 V
- Compensar las pérdidas de tensión entre bornes del panel debido al aumento de la temperatura por exposición a la radiación solar.

2.5.1 Estructura del módulo solar.

Todas las placas fotovoltaicas son similares en cuanto a su construcción, únicamente difieren unas de las otras en la calidad de los materiales utilizados y básicamente en la calidad y tecnología de las células. En la figura 2.11 se muestra un panel con sus partes constitutivas, dicho panel es de la empresa Solarex, por lo que las características a mencionar serán referentes a la mencionada empresa.

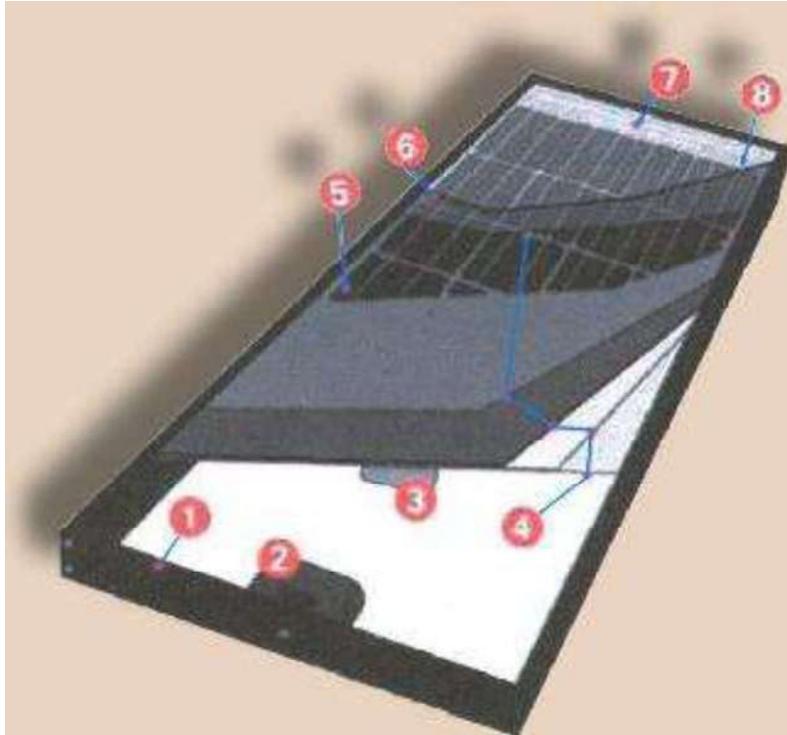


Figura 2.11 Construcción típica de un módulo solar.

1 Marco reforzado

- Marco para soporte de todos los elementos constitutivos de la estructura de células fotovoltaicas.
- Aleación de aluminio resistente a la corrosión. Acabado anodizado en bronce de calidad arquitectónica. Resiste a cargas de viento de hasta 208 Km/h (125 mph).

2 Caja de conexiones a prueba de intemperie

- Caja para detener el agua y polvo, bornes de conexión para el circuito eléctrico de interconexión con otras placas o bien de salida de tensión hacia los circuitos de carga.

3 Etiqueta de características

Indicación de las características del módulo FV. Debe indicar como mínimo:

- Marca, modelo o tipo y número de serie de fabricación.
- Normas y estándares que cumple el montaje.

Capítulo 2

- Potencia, tensión e intensidad máximas de producción en condiciones de radiación solar y temperaturas normales de uso. (opcional)
- Potencia, voltaje y corriente máxima de pruebas en condiciones de radiación solar y temperatura estándar
- Tensión de aislamiento de los circuitos eléctricos.
- Temperatura mínima de diseño del módulo FV.

4 Encapsulamiento

- Material protector de las células contra la intemperie.

5 Células solares

- Células fotovoltaicas para la producción de energía eléctrica.

6 Vidrio de protección mecánica

- Vidrio templado de bajo contenido de hierro para la protección contra impactos y las inclemencias del tiempo.

7 Barras de interconexión

- Barras de interconexión entre las células FV.

8 Separación de seguridad

- Amplia separación del marco. Evita la interrupción eléctrica. Mejora la fiabilidad del módulo.

2.5.2 Parámetros de un módulo solar.

Cuando se desee implementar un sistema para generación de energía eléctrica, siendo el caso de utilizar módulos solares, además de su precio se debe tener en cuenta distintos factores entre los cuales se pueden mencionar la potencia eléctrica que entregan, voltaje generado en terminales, dimensiones, etc.

La tabla 2.2 muestra algunas de las características básicas que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar el módulo. Los datos de la tabla 2.2 corresponden a un módulo de 48 watts.

Tabla 2.2 Parámetros de un módulo solar de 48 W.

Características Eléctricas Típicas	(Insolación Pico)
Corriente de Corto Circuito (I _{cc})	3.2 Amp.
Voltaje de Circuito Abierto (V _{oc})	19.4 V
Corriente a la Carga (I _{op})	2.9 Amp.
Voltaje a la Carga (V _{op})	16.3 Volts (25 °C) 14.4 Volts (47°C)
Características Mecánicas	
<i>Dimensiones:</i>	33 x 130 cm
<i>Espesor:</i>	3.5 cm
<i>Peso:</i>	4.5 Kg.
Construcción	
<i>Frente:</i>	Vidrio Templado Antirreflejante
<i>Marco:</i>	Aluminio Anodizado reforzado
<i>Posterior:</i>	Película Tedlar/Poliéster/Tedlar (impermeable)
Cajas de conexión herméticas con sello de goma para pasar cable	

2.5.3 Curvas corriente-voltaje.

Una de las características eléctricas esenciales de los módulos es su curva de trabajo I-V (Corriente-Voltaje), esta curva se muestra en la figura 2.12

Los valores de corriente y voltaje dependen de la insolación, de la temperatura de la célula, masa de aire que atraviesa la radiación solar, la resistencia óhmica de la carga conectada, etc.

Para poder comparar unos módulos con otros se vuelven homogéneas las condiciones de medida de los valores de V e I.

Las condiciones estándar de comprobación corresponden a una luz solar incidente con una intensidad de 1000 w/m², una temperatura de la célula de 25 °C y una distribución espectral correspondiente al de la radiación solar cuando atraviesa una MA 1.5 (masa de aire 1.5); esto quiere decir que el rayo solar a recorrido desde el momento en que penetra en la

Capítulo 2

atmósfera hasta incidir en la célula una distancia de 1.5 veces mayor que la que recorrería si su trayectoria fuera perpendicular al plano terrestre, indiscutiblemente esto se mide en condiciones simuladas de laboratorio.

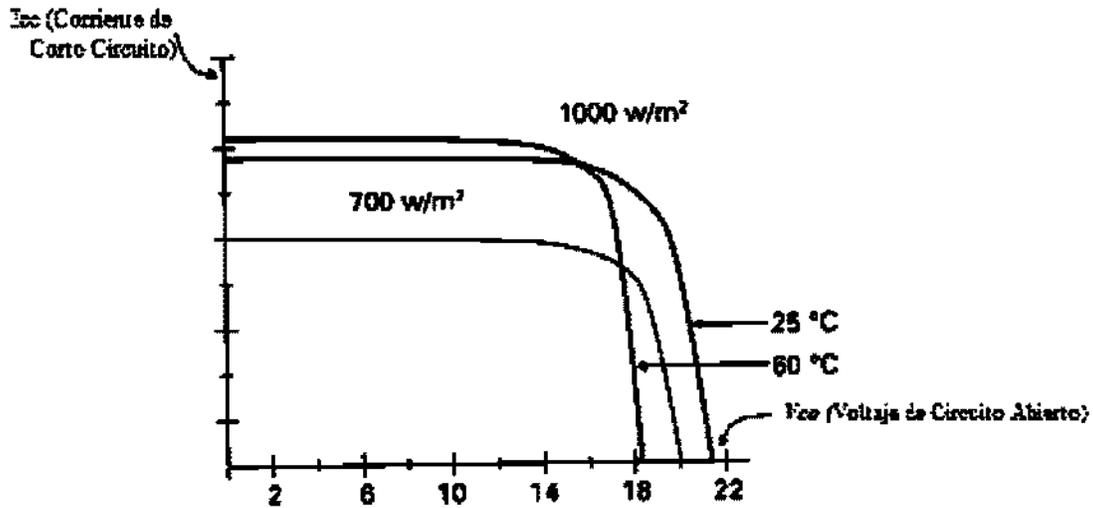


Figura 2.12 Curva I-V de un módulo solar fotovoltaico.

En la figura 2.12 se observan los efectos de variación de temperatura y de la radiación incidente.

De la curva I-V se pueden definir los siguientes valores típicos.

- *Voltaje de circuito abierto (V_{co}):* es la tensión en volts medida entre bornes con un voltímetro cuando no hay conectado ningún consumo, la intensidad que circula es nula.
- *Corriente de corto circuito (I_{cc}):* es la intensidad en amperes que se genera en el panel cuando no hay conectado ninguna carga y se cortocircuitan sus bornes con un amperímetro, el valor de la tensión entre bornes es cero.

La ecuación 2.1 indica la potencia eléctrica de un generador de corriente continua, se mide en watts (w) y se puede definir por la siguiente expresión

$$P = v * i \quad (2.1)$$

Capítulo 2

Dicho lo anterior se tiene lo siguiente:

- *Potencia pico (P_{pM})*: en la ecuación 2.2 se indica la potencia máxima en watts que puede generar un módulo en las condiciones estándar de radiación incidente. La potencia pico es el producto de la tensión pico por la intensidad pico:

$$P_{pM} = V_{pM} * i_{pM} \quad (2.2)$$

- *Intensidad pico (i_{pM}) y tensión pico (v_{pM})*: son el valor de la intensidad y la tensión que hacen que la potencia sea máxima en las condiciones estándar.

2.6 Arreglos de módulos solares.

Para obtener *voltajes de salida más altos*, los módulos solares se pueden interconectar en serie como lo indica la figura 2.13, este conjunto de módulos solares en serie se denomina panel solar.

La corriente de un panel es la misma que la de un módulo, pues al estar en serie, el flujo que sale de un módulo tiene que pasar necesariamente por todos ellos.

Para obtener *corrientes de salida más altas*, los módulos solares o los paneles se conectan en paralelo entre sí, la conexión se indica en la figura 2.14

El voltaje del conjunto es el mismo que el de un solo componente, pero la corriente de cada uno de los elementos se suma.

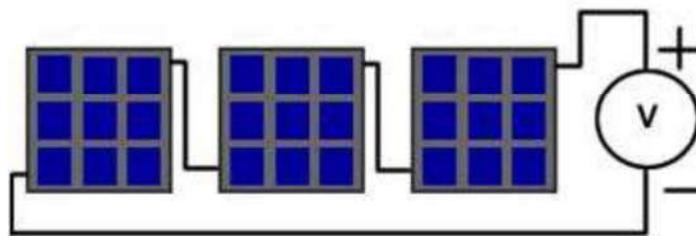


Figura 2.13 Conexión de módulos solares en serie.

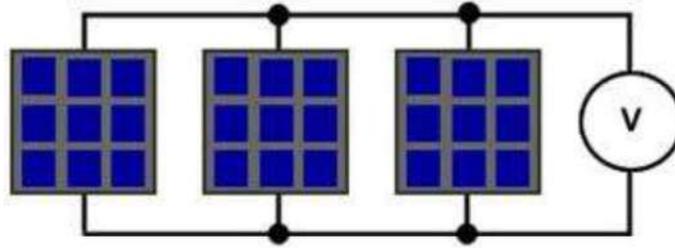


Figura 2.14 Conexión de módulos solares en paralelo.

En la figura 2.15 se indica otra de las conexiones disponibles entre módulos solares que es la conexión serie-paralelo o mixta, en esta conexión intervienen las mostradas en la figura 2.13 y 2.14, pero hay que tomar en cuenta que los conjuntos a interconectar deben tener las mismas características, es decir, tener el mismo número de módulos y estar conectados de igual forma.

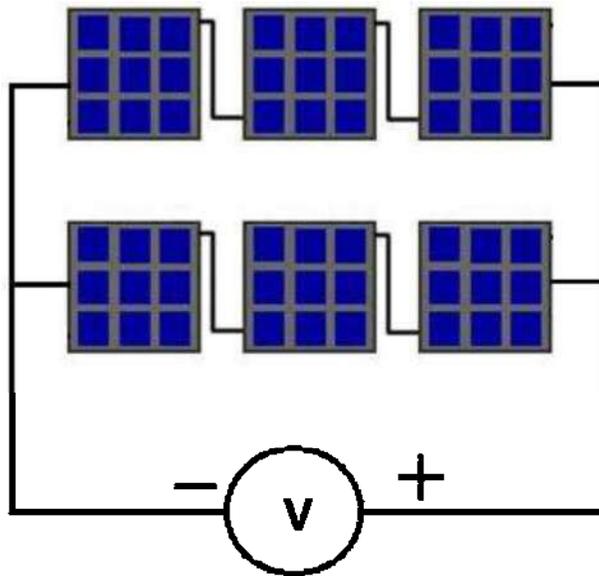


Figura 2.15 Conexión de módulos solares en serie-paralelo.

Enseguida se muestra la ecuación 2.3 que se utiliza para conseguir la potencia deseada de los módulos, para esto es necesario interconectarlos. La potencia pico total (P_{pT}) del panel viene dada por el producto entre la potencia pico del módulo P_{pM} y el número de módulos N_T :

$$P_{pT} = P_{pM} * N_T \quad (2.3)$$

Capítulo 2

Sin embargo, podemos definir la corriente de trabajo del sistema, para un número dado de paneles, según sea la conexión que se realice, sin afectar la potencia. Cuando se conectan los módulos en paralelo la corriente del panel es la corriente original del módulo y la corriente de salida es la multiplicación de la corriente de un módulo por el número total de módulos en paralelo N_p , como se aprecia en la ecuación 2.4

$$I_T = i_M * N_p \quad (2.4)$$

La ecuación 2.5 se emplea para la conexión serie, el cual su voltaje de salida (V_T) es el voltaje del módulo (V_M) por el número de módulos en serie N_s , y la corriente es la que producirá un módulo individualmente.

$$V_T = V_M * N_s \quad (2.5)$$

Ahora la ecuación 2.6 se maneja para una conexión serie-paralelo, el voltaje de salida es el producto del número de módulos en serie por el voltaje del módulo y la corriente es el número de módulos en paralelo por la corriente del módulo. El número total de módulos N_T será:

$$N_T = N_p * N_s \quad (2.6)$$

Combinando módulos en serie y en paralelo conseguimos el voltaje de trabajo deseado y el suministro de corriente acorde con los cálculos para satisfacer las necesidades energéticas de la instalación. La elección del voltaje de trabajo se hace en función de la potencia a instalar y de la corriente de trabajo de los consumos.

Para el cálculo del arreglo solar se puede emplear otra fórmula y mostrada en la ecuación 2.7, en dicha fórmula se utiliza la potencia que demandará la carga, corriente del módulo, horas de insolación de la zona donde se implementará el sistema, etc.

$$M = \frac{Ec * Fs}{I_m * V_m * \eta_p * \eta_{bat} * \eta_{inv}} \quad (2.7)$$

Capítulo 2

Donde:

- **M** = número de módulos solares requeridos
- **Ec** = energía consumida diariamente por la carga (watts-hora/día)
- **Fs** = factor de sobredimensionamiento del sistema. Típicamente es de 10 a 20%
- **Im**= corriente del módulo solar a máxima insolación ($1\text{Kw}/\text{m}^2$) al voltaje de carga de batería incluyendo caídas en el cable
- **Vm**= voltaje promedio de operación de módulo solar una vez conectado el banco de baterías. (para este trabajo toma un valor de unitario ya que no habrá banco de baterías)
- **η_p** = insolación de la localidad en el mes de menor insolación, expresado como el equivalente de horas diarias de máxima insolación (horas-pico).
- **η_{inv}** = eficiencia del inversor CD/CA para los equipos de CA.
Valores típicos: 0.8 a 0.9.
- **η_{bat}** = eficiencia de la carga de la batería. Típicamente 0.87 a 0.9.

Capítulo 3

Inversor de CD/CA

Los inversores, también conocidos como convertidores de CD a CA, tienen como función principal la de cambiar un voltaje de ingreso en CD a un voltaje simétrico de salida en CA, con la magnitud y frecuencia deseadas.

En los inversores ideales, las formas de onda del voltaje de salida deberían ser senoidal.

Sin embargo, en los inversores reales no son senoidales y contienen ciertas señales de armónicos. El uso de los inversores es muy común en aplicaciones industriales tales como la propulsión de motores de CA de velocidad variable, la calefacción por inducción, las fuentes de respaldo y las de poder, alimentaciones ininterrumpibles de potencia, etc.

La entrada para el inversor puede ser una batería, una celda de combustible, una celda solar u otra fuente de CD.

Las salidas monofásicas típicas son:

- 120V a 60Hz
- 220V a 50 Hz
- 115V a 400Hz.

Para sistemas trifásicos de alta potencia, las salidas típicas son:

- 220/380 V a 50 Hz
- 120/208 V a 60 Hz
- 115/200 V a 400 Hz.

Capítulo 3

Los inversores se pueden clasificar básicamente en dos tipos:

- a. inversores monofásicos
- b. inversores trifásicos.

Cada tipo puede utilizar dispositivos de activación y desactivación controlada (es decir BJT, MOSFET, IGBT, MCT, SIT, GTO) o tiristores de conmutación forzada.

Se ha mencionado en capítulos anteriores que se implementara un sistema para alimentar al electrodoméstico más común en casa habitación (refrigerador), este dispositivo emplea un motor monofásico, motivo por el cual enseguida se hará mención únicamente sobre el inversor monofásico.

Respecto a los inversores trifásicos, estos son comúnmente utilizados para la regulación de velocidad de maquinas eléctricas de gran potencia, por lo que no se mencionara sobre este inversor.

3.1 Tipos de inversores monofásicos.

Entre las configuraciones de los inversores monofásicos podemos encontrar el medio puente y la configuración en puente completo. Dichas configuraciones son las más comunes para realizar la inversión de tensión o corriente suministrada por la fuente de CD con los medios disponibles actualmente.

Cada uno de ellos tiene sus inconvenientes, así como sus ventajas, independientemente de los semiconductores que se utilicen en los circuitos. La figura 3.1 muestra el diagrama típico para el inversor de medio puente, también se observa la forma de salida correspondiente.

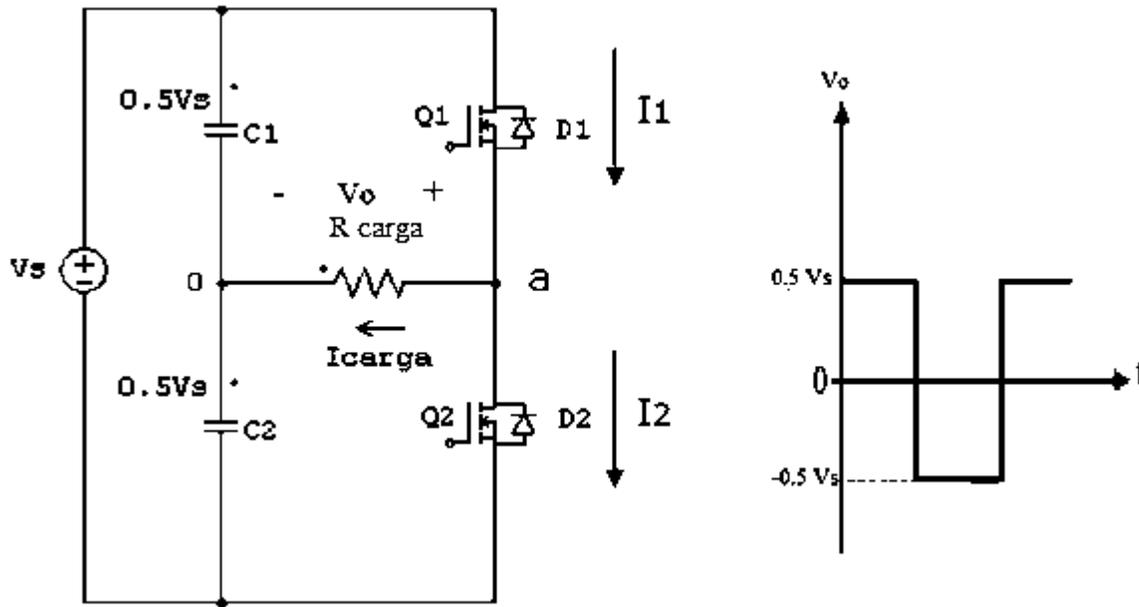


Figura 3.1 Inversor en medio puente.

El circuito mostrado contiene dos dispositivos de conmutación Q_1 y Q_2 conectados en serie a través de la fuente de voltaje de CD V_s , también se muestra la carga conectada entre el punto a y 0 que es la unión de dos capacitores (C_1 y C_2), los cuales dividen el voltaje de entrada V_s . Los elementos Q_1 y Q_2 conmutan en forma alterna con un ángulo π para generar el voltaje de salida.

De la figura 3.1 se puede explicar el principio de funcionamiento para este inversor, en un inicio se activa el transistor Q_1 durante un tiempo $T_o/2$, el voltaje instantáneo a través de la carga será $V_s/2$. Enseguida el transistor Q_2 es activado y por tanto Q_1 desactivado durante un tiempo $T_o/2$. El voltaje $-V_s/2$ aparece en la carga.

El inversor monofásico en puente completo se encuentra comúnmente formado por cuatro interruptores de potencia controlados, típicamente estos son transistores MOSFET o BJT. La figura 3.2 muestra cómo se pueden conectar dos inversores de medio puente para formar el inversor de puente completo o puente H.

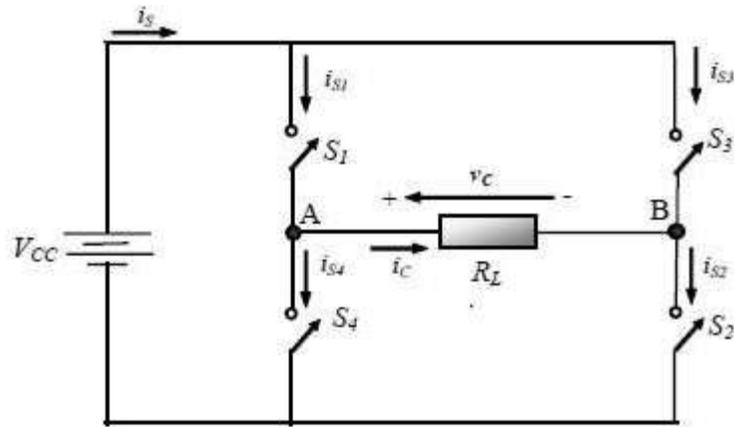


Figura 3.2 Inversor en puente completo.

El voltaje de salida v_c puede ser $+V_{cc}$, $-V_{cc}$ ó 0 , esto dependerá de los estados de los interruptores. Las figuras 3.3a hasta la figura 3.3d muestran circuitos equivalentes para algunas de las posibles combinaciones de los interruptores.

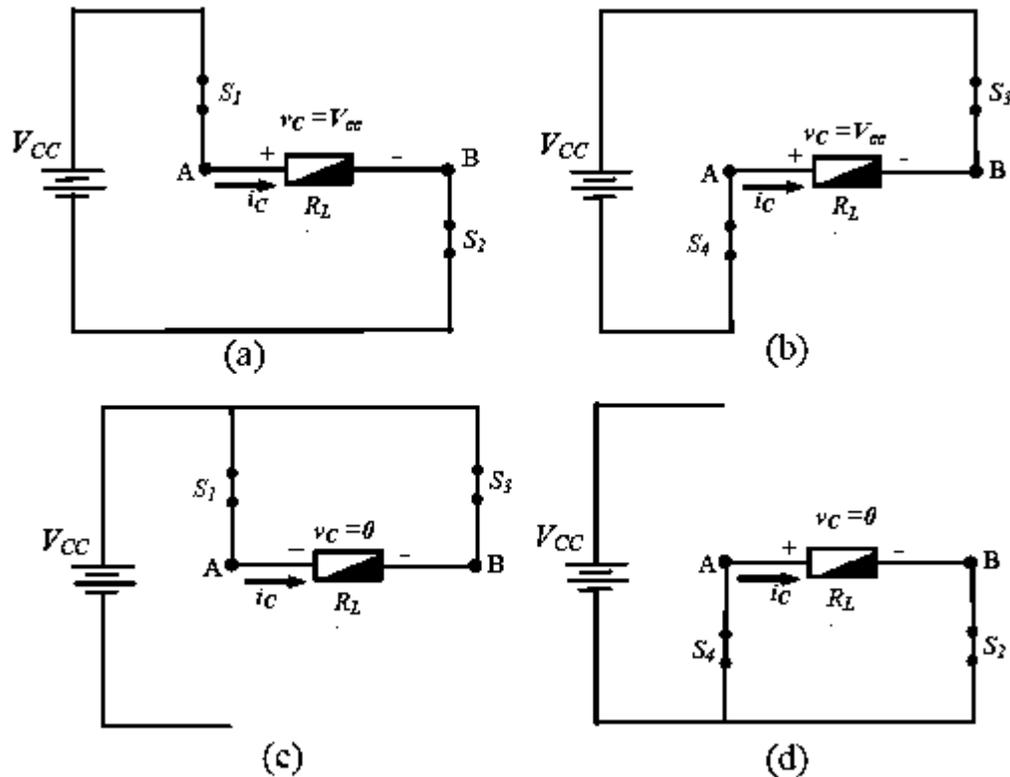


Figura 3.3 Circuitos equivalentes del inversor en puente completo: (a) S1 y S2 cerrados. (b) S3 y S4 cerrados. (c) S1 y S3 cerrados. (d) S2 y S4 cerrados.

Capítulo 3

La tabla 3.1 muestra el voltaje de salida que se obtiene al cerrar determinadas parejas de interruptores.

Tabla 3.1 Combinación de interruptores y voltajes de salida.

Interruptores cerrados.	Voltaje de salida v_c
S1 y S2	+ Vcc
S3 y S4	- Vcc
S1 y S3	0
S2 y S4	0

Hay que prestar atención que al cerrar S1 y S4 al mismo tiempo puede ocasionar un corto circuito en la fuente, esto mismo sucede para S2 y S3.

3.2 Simulación de un circuito inversor.

En la sección anterior se mencionaron los tipos de inversores monofásicos, así como la forma de operar de cada uno. Tomando en cuenta lo antepuesto se muestra la figura 3.4 que indica una propuesta para un circuito inversor monofásico en puente completo.

El software utilizado es el PSIM, dicho paquete se emplea con la finalidad de mostrar la simulación del inversor, además de mostrar la señal de voltaje que se obtiene en la carga.

La finalidad de realizar la simulación es únicamente para indicar el funcionamiento del circuito, y de ser necesario realizar pruebas sobre el comportamiento de cada uno de los elementos que conformen al circuito.

Como ya se indico también se podrán obtener los valores y tipos de señales que son obtenidas a la salida del inversor, como el voltaje y corriente.

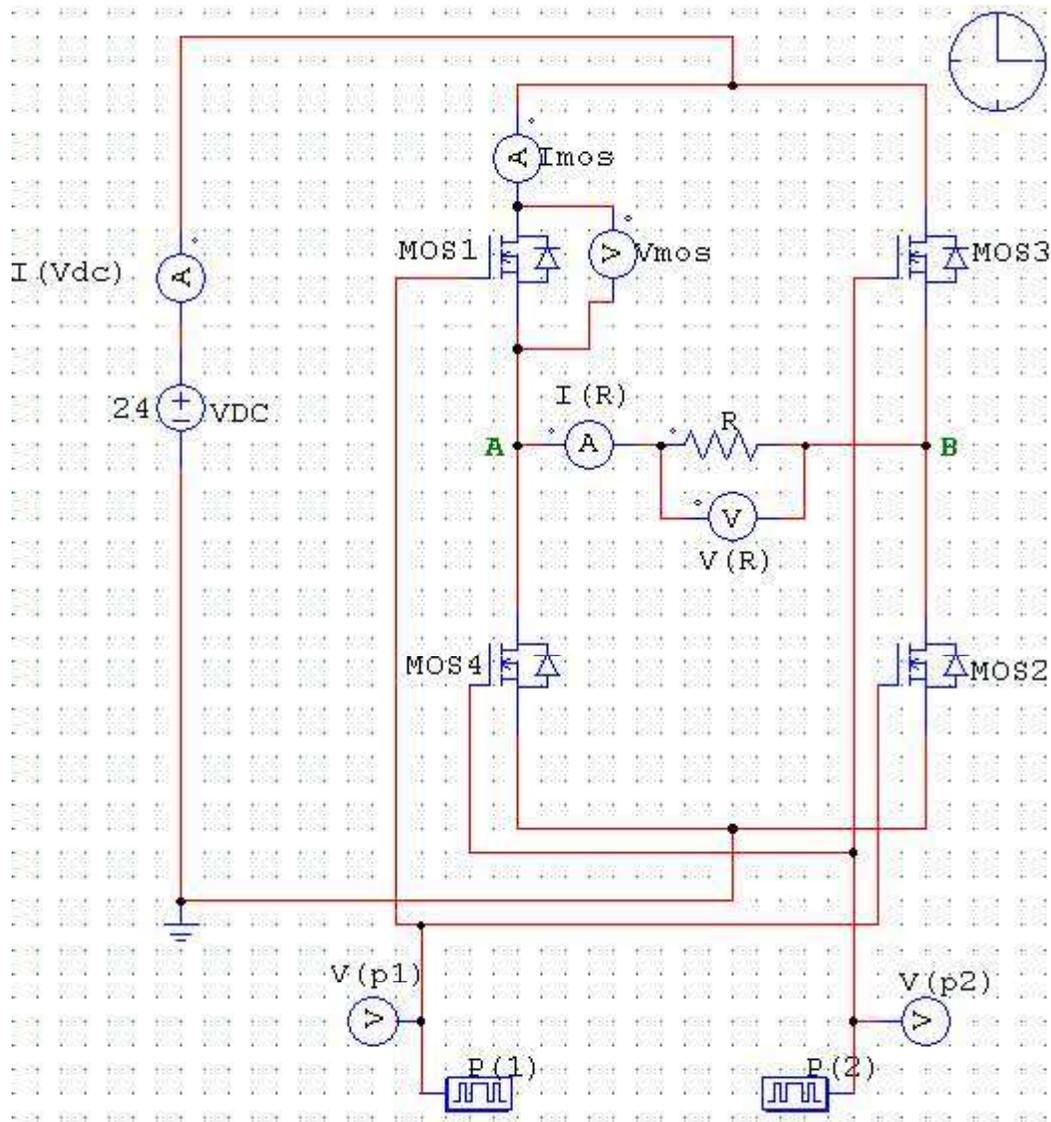


Figura 3.4 Circuito inversor monofásico en puente completo con MOSFET.

La figura 3.4 muestra los distintos elementos que se tienen en el inversor, así como los bloques que generan la señal de control para cada uno de los mosfet. El circuito también indica la fuente que alimenta al inversor para generar el voltaje de CA, dicha fuente es la representación de los módulos solares, que serán los que proporcionaran el voltaje de CD al inversor.

Entre otros elementos mostrados en el circuito se tiene medidores de voltaje y corriente en distintos puntos del circuito. También se observa la carga R que es la representación del

Capítulo 3

dispositivo a proporcionar energía eléctrica con el inversor, esta carga R es únicamente utilizada para realizar la simulación.

Al realizar la simulación del circuito anterior, se pueden obtener distintas mediciones como la mostrada en la figura 3.5, el cual indica las señales o pulsos que son enviados a los MOSFET para su apertura y cierre de los mismos.

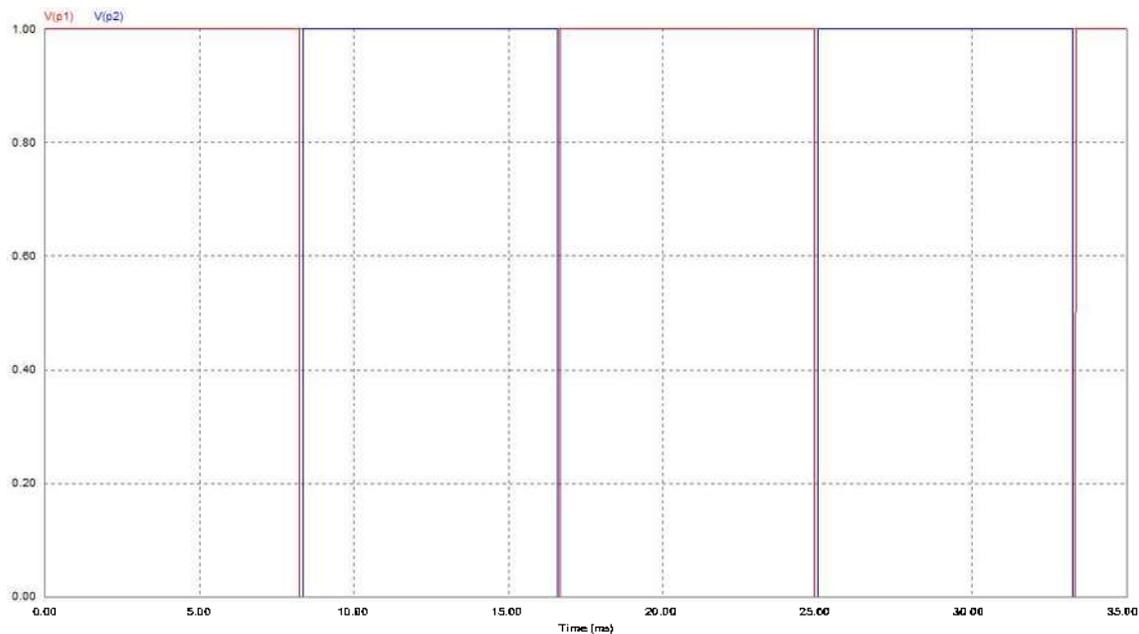


Figura 3.5 Pulsos de activación y desactivación de los MOSFET.

La figura 3.6 muestra la señal de voltaje obtenida a la salida del inversor o bien entre los puntos A y B.

Capítulo 3

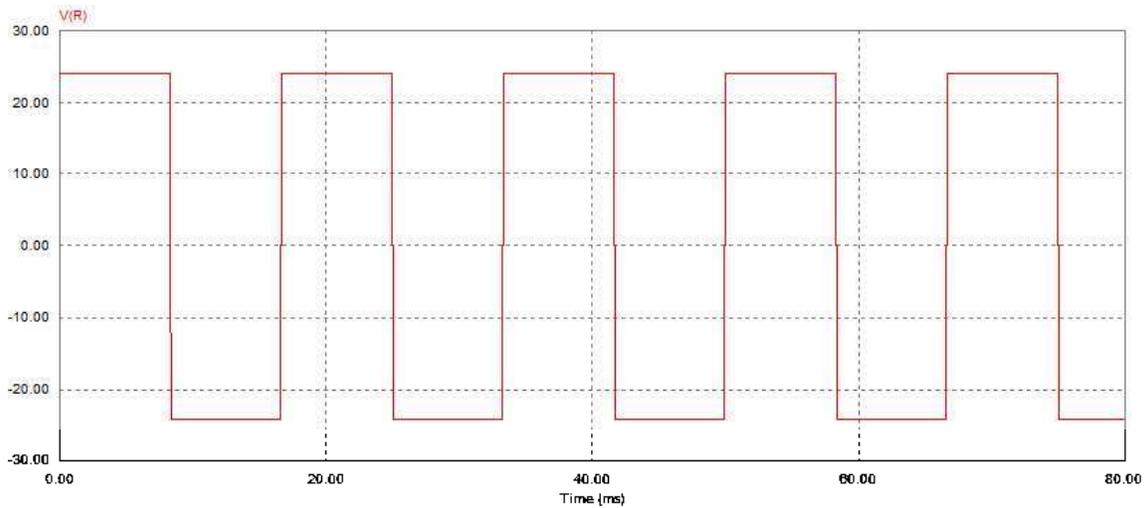


Figura 3.6 Señal de voltaje obtenido entre los punto A y B

Otros de los datos que se pueden obtener de la simulación es la frecuencia a la cual se está generando el voltaje de salida, la figura 3.7 indica este dato.

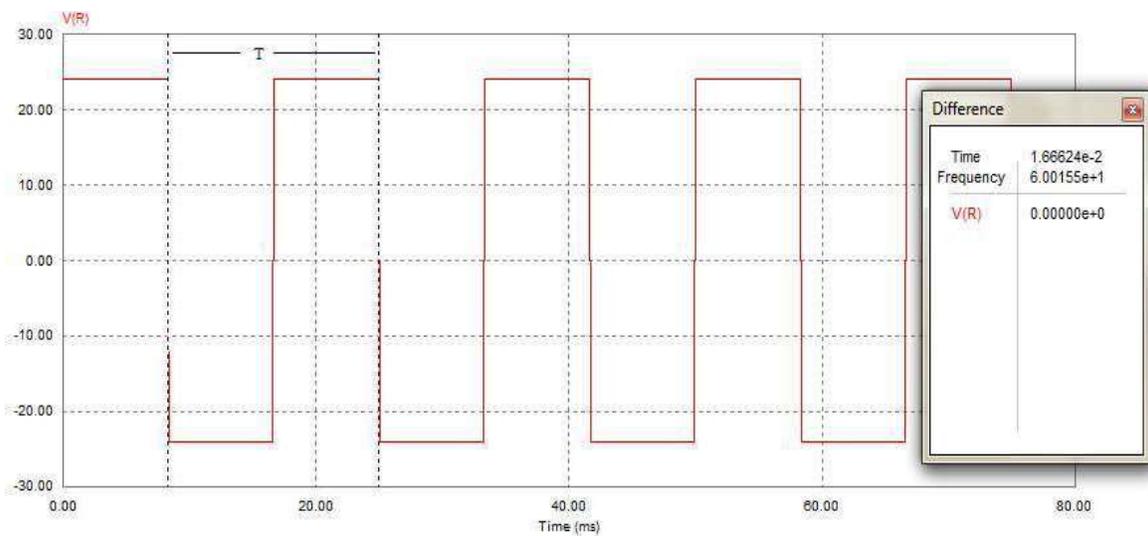


Figura 3.7 Frecuencia entregada por el inversor.

De la simulación también es posible obtener la corriente que está demandando la carga R para este caso, dicha corriente es mostrada en la figura 3.8, esta corriente como se indica en la figura es de 24 m Amp.

Capítulo 3

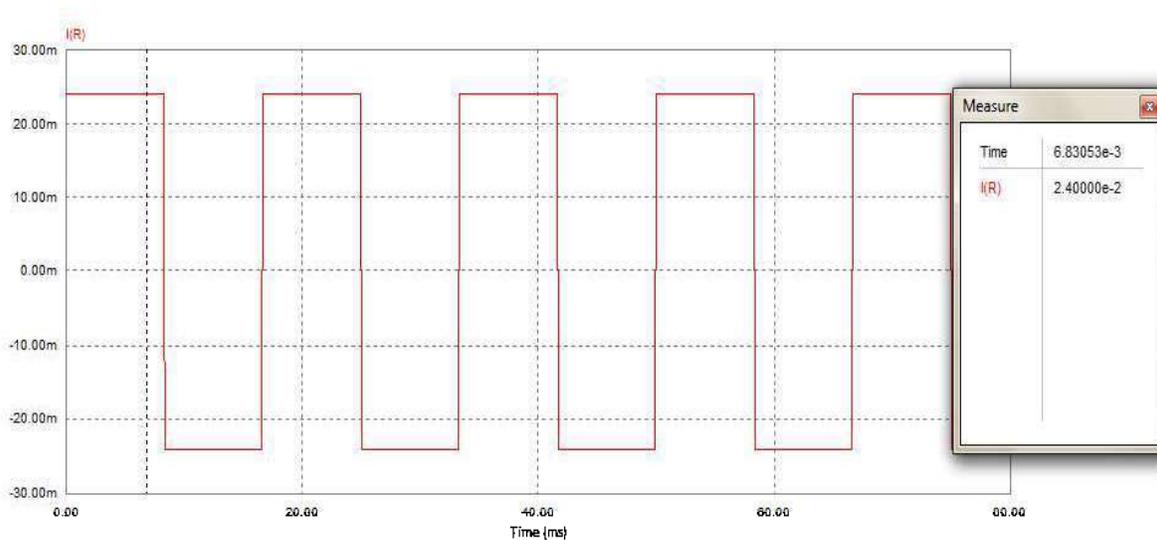


Figura 3.8 Corriente del punto A y B

En la figura 3.9 se observa la corriente en la fuente de alimentación para el inversor, que como se menciono dicha fuente es la representación de los módulos solares.

De la figura se puede observar que el valor de la corriente es de 24 m Amp.

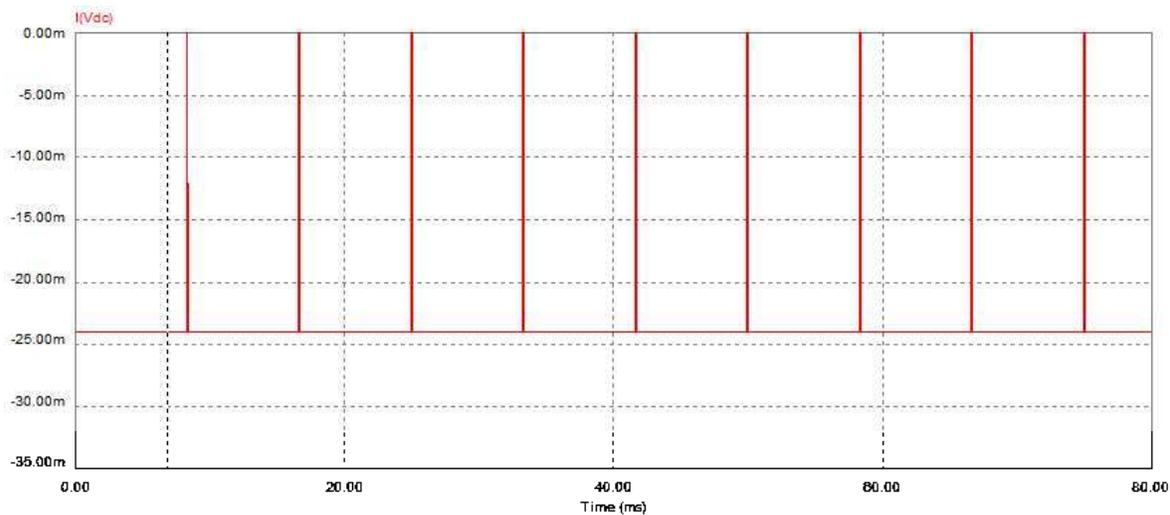


Figura 3.9 Corriente de la fuente de CD

3.3 Inversores monofásicos comerciales.

Al momento de seleccionar un inversor es importante tener en cuenta la potencia en watts máximos y continuos que soporta el dispositivo.

Todo aparato eléctrico y electrónico tiene un alto consumo al momento de encender y un consumo mucho menor estando en funcionamiento, normalmente este consumo se eleva hasta tres veces su valor.

Por ejemplo un motor eléctrico que consume 1000 watts en funcionamiento, consumirá hasta 3000 watts en el momento de encender. Un refrigerador que indica un consumo 3.2 amperes a 120 volts ($3.2 \times 120 = 432 \text{ W}$), consumirá 432 watts continuos y en el momento de encender 1296 watts máximo.

Por razones comerciales la mayoría de los inversores solo indican su potencia en watts máximo, sin indicar los watts continuos que soportan.

Lo mencionado anteriormente se retomara en los siguientes capítulos, donde se indicara la corriente que consume el refrigerador y por tanto la potencia del inversor requerido.

A continuación se indican algunos de los inversores existentes en el mercado, así como sus características y costo.

Los siguientes inversores expuestos son construidos por la empresa INVERCOM.

El inversor mostrado en la figura 3.10, es un modelo IC3600-E12S120 con un precio vigente al mes de mayo de \$ 1790.



Figura 3.10 Inversor de 12 V_{CD} y 120 V_{CA}

DATOS TECNICOS

- Consumo del inversor a la batería a plena carga 37 amperes.
- Alimentación 10-15 volts dc.
- Salida regulada + - 5% 120 volts ac. 60 hz.
- Corriente de salida 11 amperes momentáneos 3.7 amperes continuos.
- Salida 1250 watts O.P.M. (máximo.) 450 watts R.M.S. (continuos.)
- Forma de onda, semisenoidal.
- Ventilación forzada (enfriado con ventilador).

DIMENSIONES

Alto: 11.3 centímetros
Ancho: 17 centímetros
Largo: 21.3 centímetros

PESO EN KILOS

5.1 Kilogramos.

CUERPO DEL INVERSOR

Fabricado en aluminio extruido en color natural.

La figura 3.11, muestra el inversor IC1250-E24S120 con un costo para el mes de mayo de \$1850



Figura 3.11 Inversor 24 V_{CD} y 120 V_{CA}

DATOS TECNICOS

- Consumo del inversor a la batería a plena carga 18 amperes.
- Alimentación 20-30 volts dc.
- Salida regulada + - 5% 120 volts ac. 60 hz.
- Corriente de salida 11 amperes momentáneos 3.7 amperes continuos.
- Salida 1250 watts O.P.M. (máximo.) 450 watts R.M.S. (continuos.)
- Forma de onda, semisenoidal.
- Ventilación forzada (enfriado con ventilador).

DIMENSIONES

- Alto: 11.3 centímetros
- Ancho: 17 centímetros
- Largo: 21.3 centímetros

PESO EN KILOS

5.1 Kilogramos.

CUERPO DEL INVERSOR

Fabricado en aluminio extruido en color natural.

Para la figura 3.12, se muestra el inversor disponible por la empresa ELECTROTÉCNICA SOLAR APLICADA.



Figura 3.12 inversores de electrotécnica solar aplicada.

Capítulo 3

Tabla 3.2 Características de inversores de electrotécnica solar aplicada.

Modelo y Medidas	Voltaje de Entrada	Voltaje de Salida
OUTBACK FX 2524 2500W	24Vdc	120Vca
OUTBACK FX 3048 3000W	48 VCC	120Vca
OUTBACK VFX 2812 2800W	12 Vcc	120Vca
OUTBACK VFX 3524 3500W	24 Vcc	120Vca
OUTBACK VFX 3648 3600W	48 VCC	120Vca
POWERMASTER H1000 1000W	24 Vcc	120Vca
POWERMASTER H1500 1500W	24 Vcc	120Vca
POWERMASTER H3000 3000W	24 Vcc	120Vca

Se muestra a continuación información de la empresa ENALMEX (energía alternativa de México) el cual cuenta con diferentes inversores y distintas características, que son mostrados en la tabla 3.3

Tabla 3.3 Inversores disponibles por la empresa enalmex.

Invertidores Samlex			
SAM-800-12	800 watts, 12 vdc entrada y 120 vac		\$ 69.60
SAM-1500-12	1500 watts, 12 vdc entrada y 120 vac		\$ 215.70
SAM-3000-12	3000 watts, 12 vdc entrada y 120 vac		\$ 456.00
PSE-12125A	1250 watts, 12 vdc entrada y 120 vac		\$ 306.20

Capítulo 3

PSE-12175A	1750 watts, 12 vdc entrada y 120 vac		\$ 361.80
PSE-12275A	2750 watts, 12 vdc entrada y 120 vac		\$ 719.30
- Precios en dls - Incluyen importacion - Precios + IVA			

Otra de las empresas encontradas y contactadas por correo electrónico es la empresa solartronic el cual proporciono información referente a sus productos, entre los cuales están los inversores, la tabla 3.4 muestra las características y además el precio en dólares.

Tabla 3.4 Características de inversores de la empresa solartronic.

Modelo	Descripción	Precio público
IC600-E12S220	Inversor de 250 W continuos, 600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 12VCD, 220VCA	USD 72.20
IC600-E24S120	Inversor de 250 W continuos, 600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 120VCA	USD 72.20
IC600-E24S220	Inversor de 250 W continuos, 600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 220VCA	USD 72.20
IC600-E48S120	Inversor de 250 W continuos, 600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 120VCA	USD 94.08
IC600-E48S220	Inversor de 250 W continuos, 600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 220VCA	USD 94.08
IC1250-E12S220	Inversor de 450 W continuos, 1250 W pico. Onda Senoidal Modificada, 12VCD, 220VCA	USD 123.25
IC1250-E24S120	Inversor de 450 W continuos, 1250 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 120VCA	USD 123.25
IC1250-E24S220	Inversor de 450 W continuos, 1250 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 220VCA	USD 123.25
IC1250-E48S120	Inversor de 450 W continuos, 1250 W pico. Onda Senoidal	USD 145.13

Capítulo 3

	Modificada, 48VCD, 120VCA	
IC1250-E48S220	Inversor de 450 W continuos, 1250 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 220VCA	USD 145.13
IC2400-E12S220	Inversor de 800 W continuos, 2400 W pico. Onda Senoidal Modificada, 12VCD, 220VCA	USD 290.99
IC2400-E24S120	Inversor de 800 W continuos, 2400 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 120VCA	USD 290.99
IC2400-E24S220	Inversor de 800 W continuos, 2400 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 220VCA	USD 290.99
IC2400-E48S120	Inversor de 800 W continuos, 2400 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 120VCA	USD 312.87
IC2400-E48S220	Inversor de 800 W continuos, 2400 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 220VCA	USD 312.87
IC3600-E12S220	Inversor de 1200 W continuos, 3600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 12VCD, 220VCA	USD 361.00
IC3600-E24S120	Inversor de 1200 W continuos, 3600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 120VCA	USD 361.00
IC3600-E24S220	Inversor de 1200 W continuos, 3600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 220VCA	USD 361.00
IC3600-E48S120	Inversor de 1200 W continuos, 3600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 120VCA	USD 382.88
IC3600-E48S220	Inversor de 1200 W continuos, 3600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 220VCA	USD 382.88
IC4500-E12S220	Inversor de 1500 W continuos, 4500 W pico. Onda Senoidal Modificada, 12VCD, 220VCA	USD 401.11
IC4500-E24S120	Inversor de 1500 W continuos, 4500 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 120VCA	USD 401.11
IC4500-E24S220	Inversor de 1500 W continuos, 4500 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 220VCA	USD 401.11
IC4500-E48S120	Inversor de 1500 W continuos, 4500 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 120VCA	USD 422.99
IC4500-E48S220	Inversor de 1500 W continuos, 4500 W pico. Onda Senoidal Modificada, 48VCD, 220VCA	USD 422.99

Capítulo 4

Aplicación uso doméstico

La idea de utilizar energía solar para fines prácticos en beneficio del hombre no es nueva debido a que a través de la historia se ha utilizado desde los inicios del ser humano. El sol es una fuente de energía inagotable de calor que se utilizaba para vencer el frío, con tal fin las viviendas se construían para un alto aprovechamiento de los rayos solares, práctica que se perdió con el paso de los siglos. Los severos climas se combatían y siguen combatiendo en la actualidad con instalaciones adicionales que son accionadas por energía creada a partir de fósiles. Debido a la actual crisis de petróleo se determinó que convenía ahorrar energía, encontrando una alternativa válida para la utilización del petróleo, quema de carbón y centrales nucleares.

Entre las causas para un mejor aprovechamiento de la energía se debe al actual nivel de vida al que nadie quiere renunciar, esto es que la mayoría de las personas cuentan con todo tipo de aparatos que faciliten la vida de los individuos, por lo que se obliga a un creciente consumo de energía. Este aumento tiende a encarecer el producto, pero al mismo tiempo amenaza con agotar sus reservas.

Este y más motivos nos han llevado a utilizar las FAE disponibles, entre ellas la energía solar fotovoltaica. Otra razón ya mencionada para utilizar esta fuente es el ahorro de energía eléctrica que directamente se percibirá en la disminución del pago monetario hacia la empresa suministradora por parte del usuario.

La energía solar es un recurso el cual no tiene ningún costo para su obtención, además es una fuente que se puede emplear en casa habitación tal como se mencionara en el presente capítulo.

4.1 Carga eléctrica en casa habitación.

En el capítulo 1 se muestra la figura 1.3 el cual muestra los distintos tipos de FAE y aplicaciones, en dicha figura se observa que puede ser de aplicación doméstica, el cual se ha manifestado en capítulos anteriores que la presente tesis será en base a casa habitación.

El suministro de electricidad a través de los módulos solares para casa habitación se puede emplear en distintas áreas, como en la iluminación, televisión, equipos de audio, bombeo de agua, lavadoras, refrigerador, etc. En general todas las necesidades pueden ser cubiertas por esta fuente.

Desde hace algunas décadas las personas buscan la mejor manera de vivir, es decir con objetos que nos faciliten la vida, situación que ha llevado a contar con más aparatos eléctricos en las viviendas. Existe un gran número electrodomésticos que se pueden encontrar en los hogares, por ejemplo la estufa, refrigerador, licuadora, microondas, horno eléctrico, etc.

Cada uno de los equipos mencionados varía en su consumo ya que poseen diferente funcionamiento y aplicación, la tabla 4.1 muestra el consumo de los diferentes aparatos eléctricos en casa habitación. Este listado de aparatos se encuentra por el nivel de consumo que es en bajo, medio y alto consumo.

Tabla 4.1 Lista referente a consumo eléctrico de aparatos típicos en casa habitación.

Aparato	Potencia (promedio Watts)	Tiempo uso al día (períodos típicos)	Tiempo de uso al mes (hrs)	Consumo mensual Kw-h (W/1000) x hr
<u>CONSUMO BAJO</u>				
Abrelatas	60	15 min/semana	1	0.06
Aspiradora horizontal	800	2hr 2vec/semana	16	13
Aspiradora vertical	1000	2hr 2vec/semana	16	16
Batidora	200	1hr 2vec/semana	8	1.8
Bomba de agua	400	20 min/día	10	5
Estéreo musical	75	4 hrs. diarias	120	9
Exprimidores de cítricos	30	10 min/día	5	0.15

Capítulo 4

Extractores de frutas y legumbres	300	10 min/día	5	1.6
Focos fluorescentes (8 de 15 W c/u)	120	5 hrs. diarias	150	18
Horno de microondas	1200	15 min/día	10	13
Horno eléctrico	1000	15 min/día	10	12
Lavadora automática	400	4hr 2vec/semana	32	13
Licuadora alta potencia	500	10 min/día	5	4
Licuadora baja potencia	350	10 min/día	5	2
Máquina de coser	125	2hr 2vec/semana	16	2.3
Secadora de cabello	1600	10 min/día	5	9
Tostadora	1000	10 min. diarios	5	5
T.V. color (13-17 pulga)	50	6 hrs. diarias	180	10
T.V. color (19-21 pulga)	70	6 hrs. diarias	180	13
Ventilador de mesa	65	8 hrs. diarias	240	16
Ventilador de pedestal o torre	70	8 hrs. diarias	240	17
Ventilador de techo sin lámparas	65	8 hrs. diarias	240	16
<u>CONSUMO MEDIO</u>				
Cafetera	750	1 hr. diarias	30	23
Congelador	400	8 hrs. diarias	240	96
Equipo de cómputo	300	4 hrs. diarias	120	36
Estación de juegos	250	4 hrs. diarias	120	30
Focos incandescentes (8 de 60W c/u)	480	5 hrs. diarias	150	72
Plancha	1000	3hr 2vec/semana	24	24
Refrigerador (11-12 pies cúbicos)	250	8 hrs. diarias	240	60
Refrigerador (18-22 pies cúbicos)	375	8 hrs. diarias	240	90
Refrigerador (14-16 pies cúbicos)	290	8 hrs. diarias	240	70
Secadora de ropa	5600	4 hrs. semana	16	90
T.V. color (24-29 pulga)	120	6 hrs. diarias	180	22
T.V. color (43-50 pulga plasma)	360	6 hrs. diarias	180	65

Capítulo 4

T.V. color (32-43 pulga)	250	6 hrs. diarias	180	45
Ventilador de piso	125	8 hrs. diarias	240	30
<u>CONSUMO ALTO</u>				
Refrigerador de más de 10 años	500	9 hrs. diarias	240	120
Refrigerador (25-27 pies cúbicos)	650	8 hrs. diarias	240	156

La tabla 4.1 muestra los aparatos típicos en viviendas, además del consumo en watts y el tiempo de operación diario, a la vez se muestra la potencia consumida mensualmente y los de mayor consumo.

4.2 Electrodomésticos de uso cotidiano.

En base a la tabla 4.1 se pueden especificar los aparatos electrodomésticos de mayor uso o bien de uso cotidiano, estos aparatos pueden ser el microondas, licuadora, estufa, refrigerador, aspiradora, televisión, etc.

Ahora en la tabla 4.2 se tienen los aparatos de uso cotidiano, su consumo de potencia, tiempo de operación, etc.

Tabla 4.2 Aparatos de uso cotidiano.

Aparato	Potencia (promedio Watts)	Tiempo uso al día (períodos típicos)	Tiempo de uso al mes (hrs)	Consumo mensual Kw-h (W/1000) x hr
Bomba de agua	400	20 min/día	10	5
Estéreo musical	75	4 hrs. diarias	120	9
Exprimidores de cítricos	30	10 min/día	5	0.15
Extractores de frutas y legumbres	300	10 min/día	5	1.6
Horno eléctrico	1000	15 min/día	10	12
Horno de	1200	15 min/día	10	13

Capítulo 4

microondas				
Licuadora alta potencia	500	10 min/día	5	4
Licuadora baja potencia	350	10 min/día	5	2
Secadora de cabello	1600	10 min/día	5	9
Tostadora	1000	10 min. diarios	5	5
T.V. color (13-17 pulga)	50	6 hrs. diarias	180	10
T.V. color (19-21 pulga)	70	6 hrs. diarias	180	13
Ventilador de mesa	65	8 hrs. diarias	240	16
Ventilador de pedestal o torre	70	8 hrs. diarias	240	17
Ventilador de techo sin lámparas	65	8 hrs. diarias	240	16
Cafetera	750	1 hr. diarias	30	23
Congelador	400	8 hrs. diarias	240	96
Equipo de cómputo	300	4 hrs. diarias	120	36
Estación de juegos	250	4 hrs. diarias	120	30
Focos incandescentes (8 de 60W c/u)	480	5 hrs. diarias	150	72
Refrigerador (11-12 pies cúbicos)	250	8 hrs. diarias	240	60
Refrigerador (18-22 pies cúbicos)	375	8 hrs. diarias	240	90
Refrigerador (14-16 pies cúbicos)	290	8 hrs. diarias	240	70
T.V. color (24-29 pulga)	120	6 hrs. diarias	180	22
Ventilador de piso	125	8 hrs. diarias	240	30
Refrigerador de más de 10 años	500	9 hrs. diarias	240	120
Refrigerador (25-27 pies cúbicos)	650	8 hrs. diarias	240	156

En la tabla 4.2 se puede apreciar los aparatos que tiene mayor uso diario, pero además también se observa los de superior consumo en potencia, de los cuales se puede considerar el congelador y refrigerador en diferentes pies cúbicos, este último será el equipo elegido para el estudio de referencia.

4.3 Electrodoméstico seleccionado para el estudio de referencia.

El electrodoméstico elegido para el estudio tiene un alto consumo de energía y se debe a que dicho aparato funciona en cortos lapsos de tiempo durante todo el día, es decir, las 24 hrs, debido a que constantemente se encuentra conectado a algún circuito de la instalación eléctrica de la vivienda.

El tiempo de funcionamiento dependerá del tipo de refrigerador, es decir, sus dimensiones y otras características como el adecuado uso del mismo.

En la tabla 4.2 se indica que habitualmente el refrigerador tiene un uso de 8 hrs diarias y al mes un aproximado de 240 hrs.

En la mayoría de las viviendas el refrigerador consume más energía eléctrica que cualquier otro electrodoméstico disponible. El uso de dicho aparato puede representar hasta casi el 15 % del consumo total de energía del hogar.

Se puede observar en la tabla 4.2 que los refrigeradores con varios años de uso y poco eficientes, llegan a representar hasta un 30 y 50 % en la factura del consumo de electricidad en las viviendas.

4.4 Refrigeradores de mayor demanda.

En esta sección se indicará cuales son los refrigeradores más comunes o que tienen mayor consumo por parte de la población.

La indagación fue realizada en distintos comercios en la ciudad de Morelia, con la finalidad de adquirir la información necesaria para determinar el tipo de refrigerador de mayor venta y si es posible realizar el estudio en base al más abundante.

La principal característica que se tomo en cuenta para realizar la investigación partió en base al volumen, que son los pies cúbicos del refrigerador, esta es una característica particular en este tipo de electrodomésticos.

A continuación la tabla 4.3 indican los refrigeradores más comunes obtenidos de la investigación, así como algunas de sus características de consumo.

Tabla 4.3 Refrigeradores de mayor venta en Morelia.

Capacidad en pies cúbicos (ft ³)	Límite de consumo de energía (Kw-h/año)	Consumo de energía (Kw-h/año)
9	376	357
10	383	359
11	411	384
13	436	409

Los resultados conseguidos sobre el refrigerador con mayor consumo por parte de la población, indican que el de 11 ft³ tiene mayor venta, pero debido a la disponibilidad del electrodoméstico para su estudio como es la obtención de lecturas de corriente, voltaje, tiempo de funcionamiento etc. El estudio será basado en un refrigerador de 10 ft³, el cual se tiene disponible para la toma de lecturas que sean necesarias.

4.5 Características del electrodoméstico seleccionado.

Se ha mencionado la razón por la cual el estudio estará basado en un refrigerador de 10 pies, la tabla 4.4 muestra las características eléctricas y modelo del refrigerador.

Tabla 4.4 Características del refrigerador elegido.

Modelo	RT32YHSW1
Voltaje	110 - 127 V
Frecuencia	60 HZ
HP	1/4

Capítulo 5

Estudio técnico-económico

En la actualidad el uso de paneles solares ha originado controversia debido a que hay personas quienes acusan a los paneles de ser unos de los juguetes caros, para el entretenimiento de niños ricos. También se ha llegado a decir que la fabricación de la células solares requiere un gasto de mucha más energía que la que con son capaces de producir durante toda su vida útil.

Lo cierto es que la ciencia y la tecnología en su marcha imparable, avanzan a una velocidad tan grande que las circunstancias cambian día a día, y lo que hoy parece todavía irreal, quizás pronto se convierta en realidad.

Indudablemente, el rendimiento de los equipos fotovoltaicos esta en razón de su precio y de la electricidad que puedan generar. En la actualidad, las células se fabrican a costos inferiores a los que se tenía hace apenas diez años, mientras que su rendimiento se ha incrementado hasta tres veces su valor como mínimo. A la vez se investiga con intensidad en los más avanzados laboratorios de experimentación, para que las cifras sean cada vez mejoradas y mejorables.

Ahora bien es conveniente mencionar que con la energía fotovoltaica no se pretende sustituir por completo, al menos por el momento, la energía eléctrica convencional, solamente se pretende facilitar una ayuda al usuario para que le permita liberar una parte importante de su consumo.

5.1 Consumo de energía del electrodoméstico seleccionado.

En el mercado se pueden encontrar gran cantidad de electrodomésticos como los mostrados en la tabla 4.1 del capítulo anterior. Siendo más específico y como se mencionó el refrigerador es el dispositivo el cual fue seleccionado para ser alimentado con un sistema de paneles fotovoltaicos en el periodo diurno. También se mencionó en el capítulo anterior la razón por el cual se optó por el refrigerador de 10 pies cúbicos.

La potencia consumida por los refrigeradores puede variar debido a diversos factores como la capacidad en pies, la cantidad de alimentos en su interior, por la consulta frecuente de alimentos, etc.

Las características eléctricas del refrigerador seleccionado y mostradas en la tabla 4.4 del capítulo anterior, no son suficientes para determinar la potencia que consume así como el tiempo de funcionamiento, por lo que fue necesario tomar datos como la corriente de trabajo, tiempo encendido y tiempo de reposo. Estas lecturas son con la finalidad de establecer el consumo de energía del refrigerador.

Debido a que las lecturas tomadas fueron numerosas, es necesario obtener un promedio de las mismas para obtener resultados más confiables.

Los resultados promedio obtenidos de las lecturas, son mostrados en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Valores para tiempo de funcionamiento, tiempo de reposo y corriente de trabajo.

Lectura	Valor promedio
Tiempo de funcionamiento	8:39 min
Tiempo en reposo	27:4 min
Corriente de trabajo	1.42 Amp.

Teniendo la información anterior sobre el tiempo de funcionamiento del refrigerador, se puede obtener el tiempo total aproximado que trabaja en las 24 hrs del día. Al realizar las operaciones necesarias se concluye que es aproximadamente un total de 6 hrs al día en que funciona el refrigerador, o bien que se encuentra consumiendo energía eléctrica durante ese lapso de tiempo, mientras que el resto de las horas se encuentra en reposo.

Capítulo 5

Con los datos anteriores se puede obtener el tiempo de trabajo mensual para el dispositivo seleccionado, el cual se tiene que es de 180 hrs al mes.

Ahora conociendo la corriente promedio de trabajo del dispositivo y con un voltaje de referencia de 120 volts, se puede calcular la potencia que consume el refrigerador con la ecuación 5.1, pero hay que tomar en cuenta que es un sistema de CA, por lo que estará afectado por un factor de potencia (f.p.) que para este caso será considerado de 0.9

$$P = (V * I) * \text{f.p.} \quad (5.1)$$

Al sustituir los datos de corriente y voltaje en la ecuación 5.1, se obtiene la siguiente potencia.

$$P = (120 \text{ V} * 1.42 \text{ Amp.}) * (0.9) = 153.36 \text{ watts}$$

Obtenida la potencia del refrigerador se puede adquirir la energía consumida en kw-h al multiplicar la potencia por el tiempo de trabajo, como ya se mencionó el tiempo total de trabajo a considerar es de 6 hrs, por lo que se tiene la ecuación 5.2 para el cálculo de la energía consumida.

$$\text{Energía consumida} = P * t \quad (5.2)$$

Al sustituir los datos se tiene el siguiente resultado.

$$\text{Energía consumida} = \frac{(153.36 \text{ w}) * (6 \text{ hrs})}{1000} = .9201 \text{ kw-h}$$

Esta energía es solo la consumida en un día, para obtener la energía mensual, se multiplica por 30 días que contiene un mes en promedio, por lo que se tiene el siguiente consumo de energía.

$$\text{Consumo mensual} = 27.6048 \text{ kw-h}$$

Lo previamente mencionado sobre el tiempo de trabajo diario, mensual y consumo de energía son valores los cuales no concuerdan a los mostrados en la tabla 4.1, esto debido a que el volumen del dispositivo seleccionado es distinto a los indicados en la mencionada tabla.

5.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Antes de entrar a detalle sobre el dimensionamiento fotovoltaico, es conveniente mencionar que el sistema a implementar será un sistema híbrido, debido a que durante el periodo diurno la carga será alimentada directamente por los paneles solares, mientras que para el periodo nocturno esta energía será proporcionada por algún circuito eléctrico de la casa habitación.

En la sección anterior se indicó la corriente que consume el refrigerador, con este dato y el voltaje se pudo obtener la potencia que se le demandará al sistema fotovoltaico. Dicha potencia es de 153.36 watts.

En el mercado hay gran variedad de paneles fotovoltaicos en cuanto a su potencia se refiere, hay que tener en cuenta que si la potencia del panel aumenta, también aumentará su costo. Se podría pensar que lo más útil para este caso es realizar un arreglo en serie, paralelo o mixto con algunos paneles de menor potencia y precio al que se requiera.

Ya se indicó que la potencia requerida que se demandará al arreglo fotovoltaico es de 153.36 Watts aproximadamente, por lo que el panel solar a seleccionar debe cumplir con esta característica de la potencia.

Si se toma en cuenta el costo de los paneles, se pueden asumir dos opciones para implementar el sistema que se requiere, la primera opción como ya se indicó, es hacer un arreglo en serie, paralelo o mixto.

La segunda opción es utilizar un panel de igual o mayor potencia que le será demandada al sistema. Estas dos opciones son indicadas en las figuras 5.1 y 5.2.

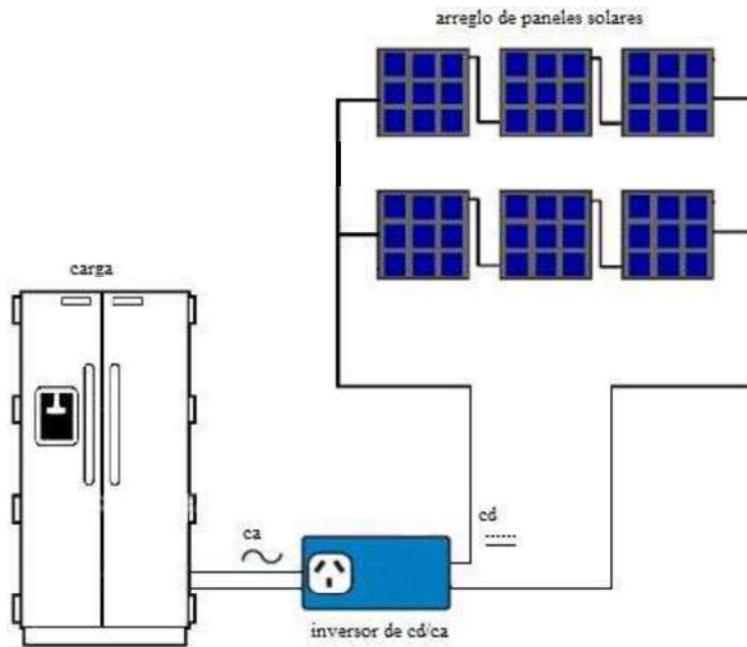


Figura 5.1 Arreglo de paneles solares para compensar la potencia requerida.

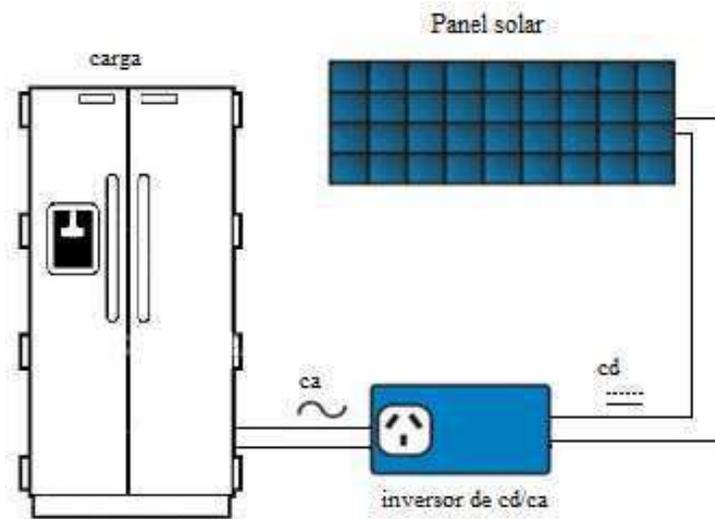


Figura 5.2 Uso de un solo panel para suministrar la potencia requerida.

Capítulo 5

En el desarrollo del documento se ha mencionado que el sistema proporcionará la energía eléctrica al dispositivo de manera directa, es decir, sin la necesidad de utilizar banco de baterías. De tal manera que solo se tendrá el módulo y el inversor, tal como se muestra en las figuras 5.1 y 5.2.

Durante el día el módulo proporcionará la energía eléctrica al refrigerador, esto mientras la insolación sea lo suficiente para que dicho módulo genere la energía. En el momento en que el módulo solar no suministre la potencia demanda por el refrigerador, se tendrá un control el cual realizará el cambio del módulo solar hacia algún circuito eléctrico de la casa habitación.

En la figura 5.3 se indica un esquema donde se propone la instalación del control para el cambio de una fuente a otra.

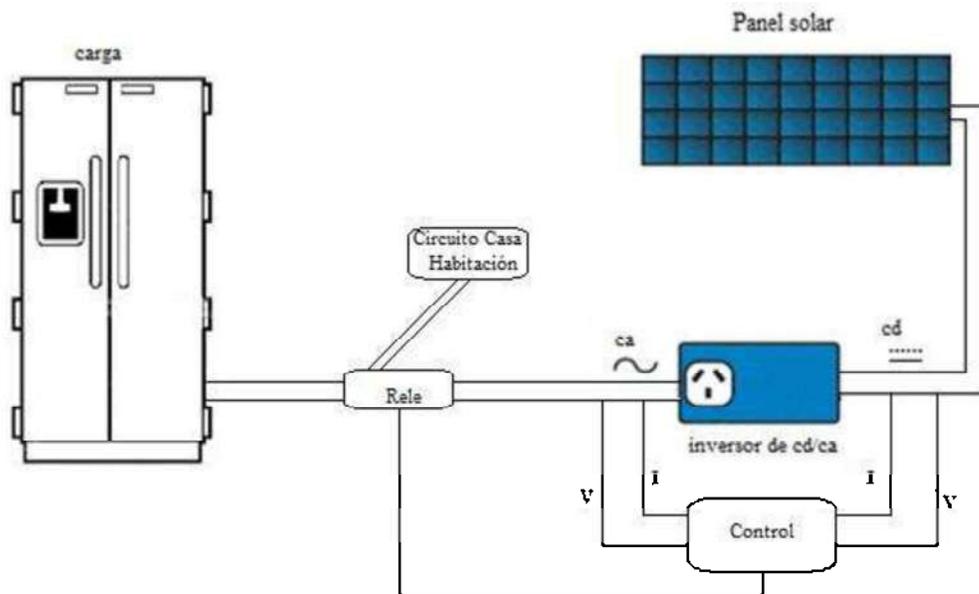


Figura 5.3 Sistema fotovoltaico y control para cambio de la fuente de energía eléctrica.

La figura anterior muestra la forma en que estaría conectado el sistema. Dicho procedimiento muestra varios bloques los cuales son los medios necesarios para hacer el cambio de una fuente de energía eléctrica a otra fuente, es decir si el dispositivo es alimentado con los módulos o bien se conecta al circuito eléctricos de la casa habitación.

Este cambio dependerá de las lecturas de corriente y voltaje a la salida del módulo y del inversor. Esto con la finalidad de que siendo el caso donde el voltaje en el módulo sea bajo,

pero a la salida del inversor sea suficiente para alimentar la carga, el bloque de control mantenga la fuente de energía del módulo. En caso donde a la salida del módulo e inversor, el voltaje sea bajo, el bloque de control mande algún tipo señal de cambio en el relé y entonces la energía eléctrica proporcionada al dispositivo sea de algún circuito de la casa habitación.

5.3 Estudio técnico.

En la figura 5.1 y 5.2 se muestran las dos opciones para implementar el sistema que alimentará al refrigerador. Antes de disponer cual es la mejor opción a implementar, es necesario conocer algunas de las características de los paneles fotovoltaicos, como lo es la potencia y sobre todo su costo monetario.

La tabla 5.2 muestra dichas características, estos datos fueron proporcionados por un distribuidor ubicado dentro del país. Cabe aclarar que los precios mostrados en la tabla son en dólares americanos (USD) y además son del mes de junio de 2010.

Tabla 5.2 características de paneles solares.

Modelo	Descripción	Precio Público
KC40T	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 40W	USD 223.62
KC50T	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 50W	USD 279.53
KC65T	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 65W	USD 353.29
KC85T	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 85W	USD 448.80
KC130TM	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 130W	USD 565.27
KD135GX-LPU	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 135W	USD 450.74
KD185GX-LPU	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 180W	USD 617.68
KD205GX-LPU	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 205W	USD 684.46
KD210GX-LPU	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 210W	USD 701.15
KD215GX-LPU	Módulo Fotovoltaico Policristalino de 215W	USD 717.85

Capítulo 5

Ahora ya contando con la información sobre la potencia de los paneles, precio y además la potencia que le será demanda al sistema a implementar, se puede determinar el número de paneles para el arreglo o bien el panel que cumpla con la potencia a suministrar.

La potencia requerida es 153.36 watts aproximadamente, si se implementara un arreglo en paralelo con los paneles disponibles, por ejemplo se puede utilizar el módulo de 40 watts, para lo que será necesario un total de 4 módulos para obtener una potencia de 160 watts, esto se puede determinar usando la ecuación 2.3.

$$P_{pT} = P_{pM} * N_T$$

$$P_{pT} = (40 \text{ w}) * (4) = 160 \text{ watts}$$

El arreglo y módulo seleccionado cumplen con la potencia que será demandada, la tabla 5.2 indica que cada panel de 40 watts tiene un costo de \$ 223.62 USD. Tomando en cuenta que serán necesarios 4 módulos el precio total por esta cantidad de paneles es de \$ 894.48 USD Si es seleccionado otro módulo de la tabla 5.2, como por ejemplo el de 65 watts y también se hace un arreglo en paralelo para obtener la potencia requerida, será necesario un total de 3 módulos que entregarán una potencia de 195 watts, pero el costo por cada módulo es de \$ 353.29USD, por lo que el costo total sería de \$ 1,059.87 USD.

Otro módulo disponible en la tabla 5.2 y que además cumple con la potencia requerida es el de 180 watts, el cual tiene un costo de \$ 617.68 USD. Este módulo es la mejor opción con respecto a su precio, ya que alguno de menor potencia aun realizando algún tipo de arreglo, su costo sería mucho más elevado en comparación con el de 180 watts.

Este módulo entrega un voltaje a circuito abierto de $V_{oc} = 29.5$ y voltaje a circuito cerrado de $V_{op} = 23.6$

En el capítulo 3 se realizó una simulación de un inversor y se considero la idea de implementarlo y tener un diseño propio, pero debido a varias causas como por ejemplo, reunir el material para el inversor, tiempo de implementación, costo actual de inversores en el mercado, etc. Se tomó la decisión de adquirir o comprar dicho inversor al igual que el módulo solar.

Capítulo 5

Mencionado lo anterior y además conociendo las características del módulo elegido, se puede ahora elegir el inversor que se utilizará en el sistema a implementar. Para elegir dicho inversor se recurrirá a la tabla 3.4

El modelo del inversor es el IC600-E24S120 el cual la tabla 5.3 muestra sus características.

Tabla 5.3 Características del inversor seleccionado.

Modelo	Descripción	Precio público
IC600-E24S120	Inversor de 250 W continuos, 600 W pico. Onda Senoidal Modificada, 24VCD, 120VCA	USD 72.20

En la figura 5.3 se puede observar que el sistema a implementar está compuesto por el panel solar, inversor y el control, este último como ya se indicó se utilizará para cambiar de una fuente de energía a otra.

Una vez elegido los elementos necesarios para el sistema propuesto, es necesario considerar el costo de cada uno, para enseguida obtener el tiempo de recuperación de la inversión.

Enseguida se indica el precio para el panel e inversor.

- Panel solar \$ 617.68 USD
- Inversor cd/ca \$ 72.20 USD

Al realizar la suma de estos dos elementos se tiene la cantidad de \$ 689.88 USD, que en moneda mexicana equivaldría a \$ 8,858.74 pesos al mes de julio 2010.

Para determinar el tiempo de recuperación en la inversión, se debe considerar el precio obtenido anteriormente, además el costo que generara el control. Este último tendrá un costo de \$ 64 pesos, al considerarlo con el precio del panel e inversor, se tiene la cantidad de \$ 8922.74 pesos.

5.4 Recuperación de inversión.

Anteriormente se indicó la potencia que requerirá el refrigerador, así como la energía que consumirá durante un mes. Posteriormente con estos datos se indicó la capacidad del panel fotovoltaico e inversor a utilizar.

También se indica la cantidad monetaria que causará la adquisición de estos dos elementos necesarios para implementar el sistema.

Hasta el primer semestre del año en curso la empresa suministradora de energía eléctrica en México y para la zona del estado de Michoacán, tiene catalogados los siguientes consumos de energía para casa habitación.

Un consumo básico es considerado de 0 a 150 kw-h, intermedio de hasta 250 kw-h y el excedente que es mayor a los 250 kw-h, cada uno tiene diferente valor monetario, el costo para un consumo básico es de \$ 0.701, consumo intermedio \$ 1.165 y el excedente \$ 2.465 pesos por kw-h respectivamente.

Tomando como ejemplo una casa habitación de clase media, se tiene los siguientes consumos que son hasta el quinto bimestre del presente año en curso.

En el primer bimestre se tiene registrado un consumo de 134 kw-h, para el segundo se tienen 195 kw-h, tercero 261 kw-h, cuarto 246 kw-h y el quinto bimestre 290 kw-h.

Ahora bien, ya se menciono el consumo mensual que tiene el electrodoméstico seleccionado, este consumo fue de 27.6048 kw-h en un mes. Lo que en un bimestre daría un total de 55.2096 kw-h. Para efectuar el cálculo del tiempo de recuperación en la inversión, se deberá considerar el promedio de las lecturas mencionadas, al realizar la operación se tiene que son 225.2 kw-h en promedio de las 5 lecturas. Para obtener el costo monetario que se deberá pagar por este consumo, se tomaran en cuenta los costos ya mencionados, esto se indica en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Consumo promedio para casa habitación de clase media.

Consumo	Energía consumida (Kw-h)	Precio (\$/Kw-h)	Subtotal (\$)
Básico	150	0.701	105.15
Intermedio	75.2	1.165	87.608
Suma	225.2		192.7

Ahora bien, si es considerado los 55.2096 kw-h. Consumidos por el electrodomésticos en un bimestre y se restan del promedio de los cinco bimestres, se tiene que en lugar de 225.2 kw-h, se tendrán 169.99 kw-h, en la tabla 5.5 se indica el costo monetario que se deberá pagar por este consumo.

Tabla 5.5 Consumo considerando el ahorro del electrodoméstico

Consumo	Energía consumida (Kw-h)	Precio (\$/Kw-h)	Subtotal (\$)
Básico	150	0.701	105.15
Intermedio	19.99	1.165	23.28
Suma	169.99		128.43

Si es comparado el total a pagar de la tabla 5.4 con la tabla 5.5, se observa que existe una diferencia de \$ 64.27, esta cantidad es el total que el usuario estaría ahorrando en un bimestre, considerando que el consumo promedio se mantenga similar al obtenido, entonces se puede tener un ahorro anual de \$ 385.62 pesos.

Considerando el costo total para la inversión del sistema y el ahorro anual calculado anteriormente, se obtiene un tiempo de recuperación de 23.1 años aproximadamente.

Como ejemplo adicional sobre el ahorro que representa este sistema, se puede tomar el consumo de unos de los bimestres mencionados, si es considerado el quinto bimestre con un consumo de 290 kw-h que es el más alto, se puede obtener el costo que causaría este consumo, esto se muestra en la tabla 5.6

Tabla 5.6 Consumo para el bimestre de mayor demanda.

Consumo	Energía consumida (Kw-h)	Precio (\$/Kw-h)	Subtotal (\$)
Básico	150	0.701	105.15
Intermedio	100	1.165	116.5
Excedente	40	2.465	98.6
Suma	290		320.25

Considerando que la implementación del sistema para alimentar al electrodoméstico, causaría que se tenga un ahorro por bimestre de aproximadamente 55.2096 kw-h.

Si esta energía se resta de los 290 kw-h, se tendría que el costo a pagar por el consumo estará reducido ya que ahora en lugar de 290 kw-h se tendrían 234.79 kw-h, esto se indica en la tabla 5.7.

Tabla 5.7 Ahorro de energía al eliminar el consumo excedente.

Consumo	Energía consumida (Kw-h)	Precio (\$/Kw-h)	Subtotal (\$)
Básico	150	0.701	105.15
Intermedio	84.79	1.165	98.78
Suma	234.79		203.93

Comparando la tabla 5.6 y 5.7 se puede observar que la diferencia del pago total es bastante, ya que en lugar de contar con un consumo excedente como se muestra en la tabla 5.6, se puede disminuir el consumo hasta un nivel intermedio.

Para un nivel intermedio como se había mencionado el costo de kw-h es menos elevado que para un nivel excedente, se puede observar en las tablas 5.6 y 5.7 que con el sistema fotovoltaico se puede disminuir la energía consumida, de tal manera que en lugar de tener un consumo excedente se reduzca a un consumo intermedio, lo que causaría que el pago monetario se disminuya considerablemente.

Capítulo 5

Todo lo anterior es considerando que el precio del kw-h al cual lo ofrece la empresa suministradora actualmente, se mantenga en el valor indicado. Siendo el caso donde el Kw-h, aumente con el paso del tiempo, que es la tendencia, la recuperación puede verse reducida.

Conclusiones y trabajos futuros.

Conclusiones.

Una de las ideas de haber elegido el presente proyecto de investigación fue indicado en los primeros capítulos, donde se menciona la sucesiva crisis del petróleo que se ha venido presentado a lo largo de estos años, razón por la cual se ha elevado los costos de producción. Al utilizar combustibles fósiles también acarrea grandes problemas ambientales, entre los más destacados está la lluvia ácida y calentamiento global, aunque hay otros problemas como la contaminación del suelo, que está directamente relacionado con la extracción del petróleo y mismo transporte de estos combustibles.

Las distintas FAE disponibles en la actualidad, son el medio adecuado para reducir los problemas de contaminación y escases de combustibles fósiles, en específico la energía fotovoltaica es una de las fuentes actualmente más limpia para la producción de energía, sin que esta transformación produzca subproductos peligrosos para el medio ambiente.

Entre otras razones de emplear este tipo de generación eléctrica son las que se mencionan a continuación.

- Los módulos fotovoltaicos son una tecnología en desarrollo y crecimiento en su eficiencia.
- Las células se fabrican a costos inferiores a los que se tenía hace apenas diez años, y con el paso del tiempo seguirán disminuyendo, haciendo más flexible la utilización de este medio.
- La energía fotovoltaica es un recurso por el cual no hay que realizar algún pago monetario y se encuentra disponible en el mundo.

- Emplear este tipo de fuente permite liberar al usuario parte del consumo de energía eléctrica convencional.
- Es una alternativa a las energías tradicionales que degradan la atmosfera y el espacio habitado.
- Posibilidad de la absoluta independencia para la energía eléctrica convencional.

La tecnología fotovoltaica está avanzando lentamente debido a que hoy en día aún se encuentran elevados los costos de producción del kw-h por medio de la energía solar, ya que mientras más potencia sea la entregada por el módulo solar, su costo también se percibirá como más elevado. Esta es una de las razones por la cual los usuarios no han logrado optar por este tipo de energía, a pesar de que hace ya algunas décadas se utiliza este modelo de generación de electricidad, pero también es cierto que el precio del kw-h de esta fuente, en la actualidad ha disminuido.

Después de realizar el estudio para el consumo de energía eléctrica sobre el electrodoméstico seleccionado y ubicado en casa habitación, se obtuvo la potencia requerida por este dispositivo, que posteriormente fue utilizada para obtener el dimensionamiento del sistema, así como la inversión requerida para implementar el proyecto. Posteriormente se realizó el estudio para la recuperación de la inversión. Los resultados obtenidos, no fueron los esperados, ya que el tiempo para recuperar la inversión se encuentra elevado. Este tiempo está muy cercano a la misma vida útil del módulo solar. Como se mencionó, esto es considerando que el precio actual del kw-h ofrecido por la empresa suministradora se mantenga, si el precio se eleva, que es la tendencia actual, el tiempo de recuperación se puede ver reducido.

A pesar de que la materia prima (silicio) del módulo solar es muy abundante en el planeta tierra, en la actualidad todavía no es conveniente este tipo de proyectos para una casa habitación por su elevado costo y tiempo de recuperación.

Si es considerado este ahorro para un mayor número de casas, esta disminución no solamente lo podrá percibir el usuario, sino que también la misma empresa suministradora, ya que sus niveles de producción disminuirían y por tanto también se reduciría el consumo de combustibles, niveles de contaminación, etc.

Trabajos futuros.

- Con el aumento en la demanda de módulos solares, este dispositivo como cualquier otro tiende a disminuir de precio por lo que se puede proponer un mayor número de módulos y aumentar la potencia del sistema y por tanto suministrar energía a otros electrodomésticos.
- Implementar un sistema híbrido, es decir acoplar el proyecto a otra FAE para aumentar la potencia generada.
- Realizar el estudio de consumo de energía y estudio técnico en el comercio que es otro campo donde se puede proponer la aplicación del proyecto.
- Implementación de un seguidor solar para el proyecto propuesto.
- Estudiar la implementación de un banco de baterías para proporcionar energía eléctrica al dispositivo más tiempo y reducir el tiempo de recuperación.
- Realizar indagaciones con los usuarios, y determinar si es posible implementar el sistema propuesto.
- Proponer el sistema a la empresa suministradora y establecer si es viable obtener algún tipo de apoyo o beneficio en su implementación.

Apéndice A

Datos de insolación en México.

Tabla A-1 Insolación global media en México (kw-h/m²-Día)

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
Baja California Sur	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
Baja California Sur	S. José del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
Campeche	Campeche	4.8	5.7	6.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	6.0	5.2
Chiapas	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
Chiapas	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
Chiapas	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
Chihuahua	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6.0	5.2	5.3	8.9	5.9
Chihuahua	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
Chihuahua	Cd. Juárez	6.0	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	6.7
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
Coahuila	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0	4.9
D.F.	Tacubaya	5.4	6.0	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4	5.3
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6	5.6

Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
Guerrero	Aguas Blancas	5.8	5.9	6.0	5.8	5.8	5.4	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6.0	5.7
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2	4.7
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	6.8	5.4
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
Jalisco	L. de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
Jalisco	Puerto Vallarta	5.2	5.7	6.0	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6.0	5.5
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1
Michoacán	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
Nayarit	Tepec	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.3	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1	4.4
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	6.9	5.9
Quintana Roo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
Quintana Roo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7
San Luis Potosí	Río Verde	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8	4.7
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4	5.4
Sinaloa	Culiacán	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2	4.9
Sinaloa	Los Mochis	4.9	5.4	5.8	5.9	5.8	5.8	5.3	5.5	5.5	5.8	4.9	4.3	4.3	5.9	5.4
Sinaloa	Mazatlán	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
Sonora	Ciudad Obregón	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.7	6.4	6.5	6.8	7.3	6.0	5.2	5.3	7.26	6.5
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3	6.0
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	3.9	8.6	6.0
Tamaulipas	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4	4.6
Tamaulipas	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4	4.5
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	4.0	5.6	5.1
Veracruz	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
Veracruz	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	3.0	5.0	4.0
Veracruz	Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
Yucatán	Mérida	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.3	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
Yucatán	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.0	5.5	4.9
Yucatán	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7	4.5
Zacatecas	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8	5.8

Datos obtenidos de New Mexico State University, Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica, <http://solar.nmsu.edu/>, julio de 2010

Tabla A-2 Insolación en México (kw-h/m²-Día)

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
AGS	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	4.0	7.2	5.6
BCS	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
BC	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	3.9	7.3	5.5
BC	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	3.7	7.1	5.5
BCS	San José del Cabo	5.0	5.6	5.8	5.9	6.9	6.1	5.8	6.2	5.8	5.8	5.2	4.4	4.5	6.3	5.7
CAM	Campeche	4.8	5.7	6.0	5.3	5.4	4.9	4.9	5.3	5.2	5.4	5.0	4.3	4.4	6.0	5.2
CHIA	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	5.9	5.4
CHIA	Juan Aldama	4.4	5.1	4.9	4.5	4.5	4.1	4.4	4.5	4.1	4.3	4.4	4.2	4.1	5.1	4.5
CHIA	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	3.7	5.4	4.5
CHIA	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.1	5.4	4.7
CHIA	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7
CHIH	Chihuahua	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.5	6.8	6.8	6.0	5.2	5.3	8.9	5.9
CHIH	Guachochi	3.3	3.5	3.9	4.4	5.1	5.3	5.4	5.6	5.7	5.1	4.9	4.4	3.3	6.9	6.4
CHIH	Cd. Juárez	6.0	7.2	7.3	7.3	6.9	6.5	6.3	6.5	6.8	7.4	6.6	5.9	5.9	7.4	6.7
COAH	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	2.9	6.7	4.5
COAH	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
COL	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	3.9	6.0	4.9
D.F.	Tacubaya	5.4	6.0	6.4	5.9	5.3	5.1	4.5	4.9	4.5	4.8	5.2	5.2	4.5	6.4	5.3
DGO	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	3.9	7.5	5.7
GTO	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	4.4	6.6	5.6
GRO	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	4.7	6.1	5.3
GRO	Aguas Blancas	5.8	5.9	6.0	5.8	5.8	5.4	5.6	5.8	5.5	5.6	5.5	5.5	5.4	6.0	5.7
GRO	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	3.8	5.2	4.7
HGO	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8	5.4
JAL	Colotlan	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	4.1	8.2	5.9
JAL	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	4.0	7.7	5.6
JAL	Lagos de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	4.0	7.2	5.5
JAL	Puerto Vallarta	5.2	5.7	6.0	5.8	5.7	5.5	5.6	5.7	5.5	5.6	5.2	4.7	4.7	6.0	5.5
EDO MEX	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	3.9	5.9	5.1

MICH	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.9	4.9
NAY	Tepic	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	3.9	6.1	4.8
N.L.	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	3.0	6.1	4.4
OAX	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
OAX	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.0	6.6	5.8
PUE	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	4.4	6.4	5.5
ORO	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	4.4	6.9	5.9
Q. ROO	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	3.7	5.7	4.7
Q. ROO	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	3.8	5.7	4.7
S.L.P.	Río Verde	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	3.3	5.8	4.7
S.L.P.	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	3.7	6.4	5.4
SIN	Culiacán	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	6.2	4.9
SIN	Los Mochis	4.9	5.4	5.8	5.9	5.8	5.8	5.3	5.5	5.5	5.8	4.9	4.3	4.3	5.9	5.4
SIN	Mazatlán	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
SON	Ciudad Obregón	5.8	6.4	6.8	6.9	6.9	6.7	6.4	6.5	6.8	7.3	6.0	5.2	5.3	7.3	6.5
SON	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	4.5	7.3	6.0
SON	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	3.9	8.6	6.0
TAM	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	3.2	5.4	4.6
TAM	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	3.2	6.4	4.5
TLAX	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	4.0	5.6	5.1
VER	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.6	3.7
VER	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	3.0	5.0	4.0
VER	Veraacruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	3.6	5.1	4.6
YUC	Mérida	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
YUC	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.0	5.5	4.9
YUC	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	3.1	5.7	4.5
ZAC	Zacatecas	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	4.1	7.8	5.8

Datos obtenidos de SOLARTEC energía renovable, insolación en México <http://www.solartec.mx/>, julio de 2010

Tabla A-3 Insolación global promedio diario mensual en kw-h/m²

Estado	Ciudad	Lat.	Long	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Prom
Aguascal	Aguasc	21.9	102.9	5.6	6.3	6.8	6.7	6.6	5.8	6	6.1	5.7	6.2	6.2	5.7	5.6	6.8	6.1
Baja Calif. Sur	La paz	24.2	110	5.1	5.7	7.2	6.6	7	6.9	6.3	6.7	5.6	6.5	6.2	4.9	4.9	7.2	6.2
B. Calif.	Mexicali	32.6	115.4	6.7	6.5	6.3	7.3	7.5	7.5	6.2	6.3	7.5	8.3	7.8	6.7	6.2	8.3	7
B. Calif	Sn.Javier	25.8	111.6	5.8	5.7	5.8	6.1	5.9	6.3	5.7	6	6.8	6.1	6.3	6.8	5.7	6.8	6.1
Baja Calif. Sur	S. José Cab.	23	109.7	5.7	6.4	6.5	6.5	6	5.9	5.7	5.9	6.1	6.7	6.4	5.5	5.5	6.7	6.1
Campeche	Campeche	19.9	91.5	4.6	5.7	6.3	6.1	6.5	5.6	6.1	6.2	5.8	5.9	5.2	4.7	4.6	6.5	5.7
Chiapas	Arriaga	16.2	93.9	6	6.5	6.6	6.2	5.6	4.9	5.8	5.7	5.3	5.9	6.5	6.2	4.9	6.6	5.9
Chiapas	Sn.Cristo	16.7	92.6	4.7	5.2	5	4.8	4.6	4.5	5	5.2	4.8	4.4	4.5	4.3	4.3	5.2	4.7
Chiapas	Tapachula	14.9	92.3	4.2	4.9	5.2	5.5	5.8	5.9	6.5	5.9	4.9	4.7	4.4	4.2	4.2	6.5	5.1
Chiapas	Tuxtla Gut	16.7	93.1	6.1	6	6.2	5.7	5.1	4.8	5.2	5.2	5.2	5.8	5.9	4.3	4.3	6.2	5.4
Chihuahua	Chihuahua	28.6	106.1	5.2	6.3	6.8	6.6	6.7	6.6	6.3	6.3	5.8	6.5	6.1	5.5	5.2	6.8	6.2
Chihuahua	Guachochi	26.8	107	5.8	6.3	6.8	7.4	6.2	7.3	6.1	5.9	6	6.3	6.3	5.4	5.4	7.4	6.3
Chihuahua	Cd. Juárez	31.7	106.4	6.3	6.3	6.2	7.3	7.5	7.5	6.2	6.3	7.4	8	7.4	6.3	6.2	8	6.9
Coahuila	Pied.Negr.	28.7	100.9	4.3	4.5	4.9	4.7	4.4	6.2	5.9	6	5.8	4.9	4.4	4.1	4.1	6.2	5
Coahuila	Saltillo	25.4	100.5	5	5.1	5.3	5	5.1	5.3	5.3	5.4	5.5	5.1	4.6	4.5	4.5	5.5	5.1
Colima	Colima	19.2	103.7	5.4	6.4	6.3	6.6	6.5	5.3	5.5	5.7	5.1	5.8	6.2	5.6	5.1	6.6	5.8
D.F.	Tacubaya	19.4	99.1	6	6.7	7.1	6.5	5.9	5.6	5	5.4	4.9	5.4	5.9	5.8	5	7.1	5.8
Durango	Durango	24	104.7	5.1	6.1	6.4	6.5	6.7	5.9	6	6.1	5.5	6.6	6.3	5	5	6.7	5.9
Guanajuato	Guanajuato	14.5	21.6	4.8	5.8	6.3	6.3	6.2	5.4	5.9	5.9	5.3	5.5	5.2	5.2	4.8	6.3	5.6
Guerrero	Acapulco	16.8	99.9	5.9	6.4	6.8	6.4	6.2	5.2	5.9	6.1	5.5	6.2	6.1	6	5.2	6.8	6
Guerrero	Agua Blan.			5.5	6	6.2	5.8	5.3	4.7	4.9	4.8	5	5.5	5.9	5.7	4.7	6.2	5.4
Guerrero	Chilpancingo	17.6	99.5	5.4	6.2	6.4	5.9	5.6	4.8	5.3	5.3	4.9	5.3	5.5	5.4	4.8	6.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	20.1	98.7	5.4	6.2	6.2	6	6.2	5.3	5.5	5.6	5.1	5.7	5.8	5.5	5.3	6.2	5.7
Jalisco	Colotlan	22.1	103.3	5.6	6.4	7	6.8	7	6	6	6.1	5.7	6.3	6.4	5.7	5.6	7	6.2
Jalisco	Guadalajara	20.7	103.4	4.6	6.2	6.1	6.4	6.6	5.4	5.2	5.4	5.6	6	5.4	5.2	4.6	6.6	5.6
Jalisco	L de More.	21.4	101.9	5.4	6.3	6.8	7	6.7	6.1	6	6	5.7	6.2	6.1	5.5	5.4	7	6.1
Jalisco	Puerto Vall.	20.6	105.2	5.7	6.2	6.7	7.4	6.2	7.3	6.1	5.9	6	6.3	6.2	5.3	5.3	7.4	6.2
México	Chapingo	19.5	98.9	5.4	6.1	6.3	6.4	6	5.2	5.3	5.6	5.2	5.9	5.8	5.4	5.2	6.4	5.7

Apéndice A

Michoacán	Morelia	19.7	101.2	3.7	4.7	4.8	4.7	4.4	4.2	4.5	4.4	4.1	4.3	4.5	4.5	3.7	4.8	4.4
Morelos	Temixco	18.8	99.2	5.8	6	6.3	6	5.3	4.8	4.5	4.7	4.8	4.9	4.9	4.6	4.5	6.3	5.2
Nayarit	Tepic	21.5	4.9	5.2	6.2	6.5	6.8	6.7	5.3	5.4	5.4	5.1	5.8	5.7	5.1	5.1	6.8	5.7
Nuevo León	Monterrey	25.7	100.3	3.7	4.4	5	4.8	4.8	4.7	5.4	4.9	4.3	3.8	4.3	3.5	3.5	5.4	4.4
Oaxaca	Oaxaca	17	96.7	5.8	6.4	6.1	5.8	5.6	5	5.4	5.4	5.1	5.4	5.6	5.3	5	6.4	5.5
Oaxaca	Salina Cruz	16.1	95.1	6.4	5.9	6.9	6.3	5.7	4.6	5.2	5.7	5.2	6.4	6.7	6.2	4.6	6.9	5.9
Puebla	Puebla	19	98.2	5.4	6.1	6.3	6.1	5.8	5.1	5.5	5.8	5.4	5.9	6	5.8	5.1	6.3	5.7
Querétaro	Querétaro	20.5	100.3	5.6	5.9	6.5	6.1	6.1	5.4	5.4	5.7	5.9	5.8	5.9	5.6	5.4	6.5	5.8
Quintana Roo	Chetumal	18.5	88.3	5.3	6	6.5	6.3	6.5	5.5	5.8	5.9	5.2	5.3	5.4	5.3	5.2	6.5	5.7
Quintana Roo	Cozumel	20.5	87	5.1	5.5	6.3	6.3	6.3	5.6	5.9	5.8	5.2	5.4	5.2	4.9	4.9	6.3	5.6
Sn.LuisPotosí	Río Verde	21.9	100	4.6	5.2	5.8	5.4	5.6	5.1	5.6	5.6	5.1	5.6	5.1	4.7	4.6	5.8	5.2
Sn.LuisPotosí	Sn.Luis Pot.	22.1	101	4.9	5.8	5.9	6	5.8	5.1	5.9	5.8	5.3	5.2	5.4	4.7	4.7	6	5.4
Sinaloa	Culliacán	24.8	107.4	4.8	5	6.5	6.3	5.7	6.3	4.9	4.8	5.4	5.4	5.4	4.6	4.6	6.5	5.4
Sinaloa	Los Mochis	25.7	108.9	4.9	5.1	6.6	6.3	5.7	6.3	4.8	4.8	5.4	5.5	5.5	4.7	4.7	6.6	5.4
Sinaloa	Mazatlán	23.2	106.4	5.1	5.7	5.8	5.6	5.2	5	4.4	4.7	4.9	5.8	5.7	5.1	4.4	5.8	5.2
Sonora	Ciu. Obregón	27.5	109.9	5.2	5.6	6.6	6.5	6.5	6.2	6.2	6.3	6.1	6.5	6	5.4	5.2	6.6	6.1
Sonora	Guaymas	27.9	110.9	5.3	5.8	6.2	6.3	6.6	6.6	6.1	6.3	6	6.2	6.1	5.3	5.3	6.6	6
Sonora	Hermosillo	29.1	111	5.1	6	6.2	6.7	7.5	7.4	6.7	7	6.7	6.9	6.2	5.7	5.1	7.5	6.5
Tamaulipas	Soto la Ma.	23.8	98.2	4.4	5.4	5.8	6	5.6	6	6.3	6.8	5.9	5.6	5.3	4.6	4.4	6.8	5.6
Tamaulipas	Tampico	22.2	97.8	4	4.9	5.4	5.3	5.5	5.5	5.5	5.8	5.5	5.3	5.1	4.3	4	5.8	5.1
Tlaxcala	Tlaxcala	19.3	98.2	5.7	5.9	5.8	5.4	5.2	4.8	4.9	5	5.2	4.1	5.6	5.4	4.1	5.9	5.2
Veracruz	Córdoba	18.9	96.9	3.4	3.5	3.9	3.6	3.5	3.8	4	3.9	4	3.5	3.2	3.9	3.2	4	3.7
Veracruz	Jalapa	19.5	96.9	4.3	4.7	5.3	5	5	4.5	5	5.1	4.5	4.7	4.8	4.1	4.1	5.3	4.7
Veracruz	Veracruz	19.2	96.1	4.4	4.8	5.7	5.7	5.6	5.3	5.5	5.8	5.4	5.4	5	4.3	4.3	5.8	5.2
Yucatán	Mérida	20.9	89.6	4.5	4.6	4.9	5.1	5.3	5	5.2	5.1	5.1	4.7	4.5	4.3	4.3	5.3	4.8
Yucatán	Progreso	21.2	89.6	5.2	5.7	5.7	5.4	4.9	4.7	4.8	5.1	5.1	5.6	5.3	4.3	4.3	5.7	5.1
Yucatán	Valladolid	20.6	88.1	4.8	5.3	5.6	5.5	5.3	4.8	5	5.1	5	4.9	4.8	4.3	4.3	5.6	5
Zacatecas	Zacatecas	22.7	102.5	6.5	6.9	7.2	7.4	7.1	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	6.4	5.5	5.5	7.4	6.2

Datos obtenidos de SAECSA energía solar, [CD-ROM], julio de 2010

Referencias.

Farrington Daniels. (1977). Uso directo de la energía solar. H. Blume

Jennifer Carles. (1995). Energía renovable. Edamex.

Luis Castañer Muñoz. (1995).Energía solar fotovoltaica. Ediciones UPC

Miguel Ángel Sánchez Maza. (2008). Energía solar fotovoltaica. Limusa

Juan de Cusa. (2000). Energía solar para viviendas. Ceac

Jose Mompin Poblet. (1985). Energía solar fotovoltaica. Marcombo

Martínez Hernández, Susana Violeta (2007). Contaminación por baterías y la panacea de las fuentes alternas de energía. Tesis de licenciatura en ingeniero electricista. UMSNH, Morelia.

Maldonado Godínez, Eloy (1998). Uso de la energía solar aplicada a sistemas de conversión fotovoltaica. Tesis de licenciatura en ingeniero electricista. UMSNH, Morelia.

Canela Torres, Luis Rogelio (2008). Análisis de una central solar de generación de energía eléctrica. Tesis de licenciatura en ingeniero electricista. UMSNH, Morelia.

Energías alternativas, fundamentos (2010, Abril). Disponible en:

<http://www.mailxmail.com/curso-energias-alternativas-fundamentos/celdas-solares>

Energías alternativas (2010, Abril). Disponible en:

<http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

Celdas solares (2010, Abril). Disponible en: <http://podersolarmx.tripod.com/id11.html>

Colectores solares (2010, Abril). Disponible en: <http://www.elinte.net/paginag.htm>

Conexión de placas solares (2010, Abril). Disponible en:

<http://solete.nichese.com/conexion.html>

Paneles solares (2010, Julio). Disponible en: <http://www.panel.solartecmexico.com/>

Energía renovable (2010, Julio). Disponible en: <http://www.solartronic.com/>