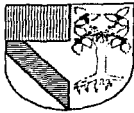


308917  
4



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO  
ALTERNATIVO GENERADO POR ENERGÍA SOLAR EN CASA  
HABITACIÓN"**

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
ÁREA: INGENIERÍA MECÁNICA  
P R E S E N T A N:

**HÉCTOR AGUSTÍN BAUTISTA GUTIÉRREZ**  
**LORENZO MIGUEL ELGUEA FERNÁNDEZ**  
**PEDRO RICARDO FLORES BERISTAIN**  
**MARCELINO GUEVARA RAMÍREZ**  
**GABRIEL LÓPEZ NAVA**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ**

MÉXICO, D.F.

2003

autorizo a la Dirección General de Bibliotecas  
UNAM a difundir en formato electrónico el  
contenido de mi trabajo de tesis.

NOMBRE: Marcel Villagor  
del campo

NUMERO: 12113113

FECHA: 2003

TESIS CON  
LIBRO DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

A la Universidad Panamericana por los conocimientos y la formación que nos dio, a nuestros profesores y amigos, a nuestro director de tesis el Dr. Jesús Manuel Dorador González, a todos ellos muchas gracias.

Héctor Agustín Bautista Gutiérrez

Lorenzo Miguel Elguea Fernández

Pedro Ricardo Flores Beristain

Marcelino Guevara Ramírez

Gabriel López Nava

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

B

Agradezco a la Universidad Panamericana, que me dio más de lo que esperaba.

Dedicada a mi familia, aunque algunos ya no estén entre nosotros.

A mi esposa por su amor y apoyo Incansable.

Muy especialmente para Karla Mariana a quien además de este trabajo, dedico todos los días de mi vida.

Héctor Agustín Bautista Gutiérrez.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

c

A Dios por todo lo que nos ha dado, por la luz y calor que nos da el sol que Él creó.

A mis padres y a mi hermano, por lo que me han dado y lo mucho que me quieren y apoyan.

A mis abuelos, aunque ya no están aquí, sé que no me olvidan.

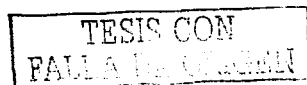
A mi tía María Luisa por todo lo que me ha enseñado.

A Rosa Elena, por su amor, su paciencia y dedicación a todo lo que hace, a sus padres, por su cariño y apoyo.

A mis compañeros y amigos, a todos los que están junto a mí. A Lucy por todo lo que me ayuda.

A mis profesores, que de alguna manera, trataron de que yo aprendiera y mejorara.

Lorenzo Miguel Eiguea Fernández



0

A mis padres, que con tanto esfuerzo me dieron la oportunidad y el apoyo incondicional de seguir mis metas. Por sus consejos y regaños y por todo lo que en bien mío intentaron.

A mi Esposa que siempre me impulsó a terminar este ciclo.

A mis hijos que aunque aún no se den cuenta, no contaban con su papá para jugar un rato durante este tiempo.

A mis hermanos que con su ejemplo me han indicado el camino a seguir.

A mi tía que con sus bendiciones que me han cuidado durante toda la vida.

A Dios por todo

Gracias

Pedro Ricardo Flores Beristain

TESIS CON  
FALLA DE CUBIERN

E

A la memoria de mi padre, a mi mamá que tanto apoyo me ha dado y de quien estoy tan orgulloso.

A mi esposa Claudia que me ha hecho la vida tan interesante y tan feliz, a mi hija Mariana y a mi hijo Marcelino con todo mi cariño.

A mis hermanas Blanca Laura e Ivonne.

Marcelino Guevara Ramírez

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

F

A mis padres a quienes agradezco el apoyo durante mis primeros años de vida, por el amor y alegría incondicional que me regalan y en especial por el seguimiento y paciencia que han tenido para lograr que todos sus hijos sean lo mejor como seres humanos.

A mi esposa cuya alegría y enseñanza del trabajo arduo me permite seguir todos los días.

A mi hijo quien me inspira a superar cualquier reto.

A mis hermanos —ambos— de quienes admiro toda su inteligencia y sensibilidad.

Y a mi Universidad, por haberme enseñado los valores más profundos del hombre-profesionista

Gabriel López Nava

9

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN



# Índice

Introducción .....	1
1. Introducción .....	1
2. Objetivo .....	3
Antecedentes .....	4
1.1 Crisis energética en México .....	4
1.2 Energía y Radiación Solar .....	12
1.3 Métodos de conversión de la energía solar .....	21
1.4 Marco Legal .....	24
Celdas y paneles solares .....	32
2.1 Evolución de las celdas solares .....	32
2.2 Ingeniería de la celda solar .....	36
2.3 Módulos y Paneles. Características comerciales y disponibilidad en el país. ....	40
Casa habitación y la energía eléctrica convencional .....	46
3.1 Requerimientos eléctricos casa tipo .....	46
3.2 Temporalidad de consumo y consumo pico .....	50
3.3 Características del servicio eléctrico convencional .....	53
Suministro eléctrico mediante energía solar .....	67
4.1 Diseño teórico de la propuesta .....	67
4.2 Variantes de diseño por ubicación geográfica .....	78
4.3 Conexión a la red eléctrica de la casa .....	81

H

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4.4 Costos de instalación y mantenimiento .....	83
Análisis Comparativo .....	85
5.2 Análisis comparativo de costos .....	87
5.3 Campos de Aplicación .....	90
5.4 Consideraciones adicionales .....	97
Conclusiones .....	99
Bibliografía .....	101

I

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# Introducción

## 1. Introducción.

El tema de la energía solar y su transformación doméstica para generar electricidad por el efecto fotovoltaico y evaluar si es una alternativa al alcance de cualquiera, nos pareció muy atractivo para desarrollar nuestra tesis. Cada vez con mayor frecuencia encontramos celdas fotovoltaicas en teléfonos de emergencia, en vehículos prototipo, en casas ecológicas, etc., y nos quedamos con la idea de que esta tecnología está madura y lista para asimilarse en el consumo masivo. Nos interesó evaluar si esta tecnología es económicamente conveniente en México. Aunque los miembros del equipo tenemos distintas edades, todos recordamos el antecedente de los 1970's, donde las celdas solares eran utilizadas como fuente de energía de avanzada tecnología y altísimo costo, con aplicación en los programas espaciales y satélites. Más adelante, en los 1980's las empezamos a ver en las plantas "alternativas", eólicas y solares, cuando empezaron a cuestionarse las plantas nucleares como generadoras de electricidad convenientes y seguras.

En los 1990's, con las crisis de energía en EEUU, observamos que en algunas zonas se empezaron a popularizar los mecanismos para que los particulares generen electricidad a una escala doméstica. Esto es muy interesante, porque siempre se había analizado la generación de electricidad como un proceso de alta escala, y con viabilidad sólo con grandes inversiones, para muy importantes volúmenes y potencias. Pero observamos que en EEUU una forma de asegurarse un ingreso para el retiro era instalar un generador eólico y vender electricidad a la red pública. En varios libros encontramos que también se puede instalar un arreglo de celdas fotovoltaicas, convertidores y baterías para generar electricidad para una casa habitación tipo, e incluso venderla a la red pública, con una justificación económica y ecológica.

Por lo tanto, el tema de proponer un arreglo de celdas fotovoltaicas cuya generación complemente el consumo de electricidad normalmente suministrada por CFE a una casa en México y su justificación económica, es interesante. Además, actualmente ha sido muy polémico el tema de la reforma eléctrica y en nuestra opinión es válido comprobar si el costo de la electricidad es alto o bajo en México, y si los particulares tenemos en esta tecnología una alternativa para auto-abasto, por si la reforma eléctrica se paraliza y eventualmente CFE llega a ser incapaz de proveernos de electricidad. Sería como quitarle la importancia estratégica a la soberanía implícita en el artículo 27 de la constitución, y suponer que cada casa puede ser una isla, independiente en su generación y uso de electricidad.

A lo largo del desarrollo de nuestra tesis, aprendimos tanto los principios teóricos como las aplicaciones prácticas de la energía solar. Encontramos interesantísimos estudios y diseños muy adelantados, que indican que esta tecnología ha sido intensamente mejorada y que ya se encuentra en un avance muy importante para llevarla a la vida cotidiana. Hoy los particulares en EEUU pueden llevarla a su casa, con paquetes "do it yourself" e instalar equipos muy completos que aseguran la generación de una electricidad segura, limpia y en instalaciones compactas y fáciles de usar y mantener. Sin embargo, como también estudiaremos más adelante, el costo del kiloWatt-hora generado para cubrir las necesidades de electricidad doméstica de una casa tipo sigue siendo alto. Creemos que esta tecnología seguirá siendo popular en países ricos, como EEUU, y en estados como California, donde hay subsidios de hasta la mitad de la inversión en equipo y tarifas de electricidad muy onerosas.

Sin embargo, queda subyacente el ideal de la generación de electricidad por la fuente más primaria de todas. Todas las fuentes de energía del mundo provienen del sol. Los combustibles fósiles fueron plantas y materia orgánica que obtuvo la energía del sol. La energía que se obtiene

- de plantas hidroeléctricas tienen como fuente al sol para el ciclo evaporación-precipitación. La misma energía eólica proviene de diferencias de temperatura originadas por el sol. Por lo tanto, una tecnología que aprovecha (a similitud de la fotosíntesis) la energía solar para el uso cotidiano se presenta como la más atractiva y básica de las formas de beneficiar a la naturaleza. Por lo tanto, este estudio pretende evaluar esta tecnología en su momento actual, con la seguridad que en algunos años podrá ser llevada a los hogares como una fuente segura, limpia y económica de asegurar una calidad de vida satisfactoria.

## **2. Objetivo**

Establecer fundamentos, marco teórico, consideraciones de diseño, características de selección y plazo para la recuperación de la inversión para la instalación de sistemas alternos de suministro eléctrico mediante energía solar, aplicado a casas habitación, en función de las condiciones geográficas y económicas de México.

# 1

## Antecedentes

---

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la historia puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

### 1.1 Crisis energética en México

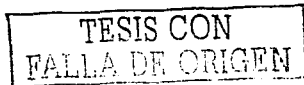
*"El sector eléctrico es un área estratégica para el desarrollo y crecimiento de cualquier país. No sólo es necesario mantener un sector eléctrico saludable por razones de oportunidad de negocio, sino por el beneficio que representa para la población en general...Actualmente, el consumo anual per cápita de energía eléctrica en México es de 1.9 Megawatts-hora, el cual es sustancialmente inferior al observado en los países industrializados con los que competimos en un ambiente de globalización"*<sup>1</sup>

Vicente Fox Quesada. Presidente de México

En los años recientes la energía se nos ha presentado como el gran reto; un reto que ha surgido del hecho de reconocer que los recursos provenientes de la energía fósil son finitos y están rápidamente disminuyendo. El desarrollo continuo de nuestra nación depende de nuestra habilidad para conservar energía y utilizarla en formas más eficientes, así como dar lugar a la energía proveniente de recursos renovables. Ya no podemos darnos el lujo de diseñar y construir nuestras

---

<sup>1</sup> Iniciativa de Reforma Eléctrica enviada al H. Congreso de la Unión 16-Ago-2002.



casas, nuestras oficinas y nuestras fábricas sin la total consideración de la cantidad y tipo de energía que consumirán. Ahora debemos incluir el factor energía: conservación, generación limpia y uso eficiente, en cualquier plan de desarrollo.

### **1.1.1 Fuentes de Energía**

La **energía** es la capacidad de los cuerpos o sistemas de cuerpos para efectuar un trabajo.

La **energía primaria**: corresponde a las distintas fuentes de energía tal y como se obtienen de la naturaleza, ya sea en forma directa o después de un proceso de extracción. Los recursos energéticos se utilizan como insumo para obtener productos secundarios o se consumen en forma directa, tal es el caso de la leña, el bagazo de caña y una parte del gas no asociado.

La **energía secundaria**: son energéticos derivados de las fuentes primarias, y se obtienen en los centros de transformación, con características específicas para su consumo final. Estos productos son coque, gas licuado de petróleo, gasolinas y naftas, querosenos, diesel, combustóleo, gas natural y electricidad.

**Energías renovables**: Se llama energía renovable a la que, administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente ya que su cantidad disponible no disminuye a medida en que ésta se aprovecha.

**Energías renovables establecidas**: Aquéllas que la humanidad ha utilizado a través de los siglos o bien, su tecnología se encuentra muy bien desarrollada. Ejemplo: las grandes centrales hidroeléctricas, la biomasa (en forma de leña).

**Nuevas fuentes renovables o no convencionales o fuentes alternas:** Las que, aún teniendo el potencial para desarrollarlas, no se ha trabajado en ellas para su explotación. Ejemplo: Solar, eólica, maremotriz, biomasa (en forma de biogas) o hidráulica (mini-hidráulica).

En términos generales podemos considerar a la energía solar, como nuestra fuente energética total, porque excluyendo la geotermia todas las demás fuentes se derivan de la radiación de esta estrella.

**Energía Eólica.** El Sol se encarga de calentar la atmósfera terrestre, causando gradientes de temperatura, lo que trae consigo diferencias de presión, y como consecuencia los vientos, origen de la energía eólica.

**Minihidráulica.** También el Sol evapora el agua que bajo las condiciones atmosféricas propicias se precipita en forma de lluvia en zonas más altas, obteniendo con esto energía potencial la cual puede ser aprovechada con tecnologías de turbinas hidráulicas para generar electricidad o accionar equipos mecánicos.

**Biomasa.** También el proceso de fotosíntesis de los vegetales aprovecha como fuente energética al Sol, llevando a cabo reacciones químicas, las cuales la transforman en energía almacenada dentro de éstos, y puede ser aprovechada mediante combustión directa o transformada a otros combustibles, como por ejemplo el metanol y el etanol.

Los combustibles fósiles (hidrocarburos y carbón) son y seguirán siendo la principal fuente de energía, como consecuencia de su menor costo y mayores eficiencias en su transformación. Sin



embargo, el impacto ambiental por la emisión de gases efecto invernadero como consecuencia de su combustión, pueden limitar su utilización en el futuro.

### **1.1.2 Generación eléctrica en México**

Un indicador del nivel de vida de una población es el valor del consumo energético "per cápita"; mientras más alto sea éste, se acepta que la población "vive mejor", aunque este tipo de mediciones oculta desigualdades entre los habitantes de un país, estos indicadores siguen dando una idea de cómo se compara el nivel de vida entre los países; así por ejemplo, el consumo energético por habitante en los Estados Unidos de Norteamérica, es diez veces superior a China y nueve veces superior a México.

México tiene un consumo per cápita de 1.9 MW-h/año, apenas similar al consumo de Estados Unidos al final de la Segunda Guerra Mundial, lo que representa un atraso en materia energética superior a 50 años. Actualmente el consumo por habitante en Estados Unidos supera la cifra de 12 MW-h/año, en tanto que en los países de la Comunidad Europea y Japón, el consumo es del orden de los 4 MW-h/año por habitante, lo que corresponde aproximadamente a 1kW instalado por habitante.

Para alcanzar este último nivel en el año 2006, cuando la población de México sea superior a 100 millones de habitantes, se requerirá de una capacidad instalada para generar electricidad de 100 GW, casi el triple de lo que hoy se tiene, si en verdad se pretende dejar de ser un país subdesarrollado.

El Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, considera la electricidad como un área estratégica nacional y por lo tanto reservada al Estado. La generación, transmisión y distribución, está a cargo de las paraestatales Luz y Fuerza del Centro (LFC) y Comisión Federal de Electricidad (CFE). Adicionalmente existen otras entidades gubernamentales, el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE) y la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), éstas últimas creadas para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro y uso racional de la energía eléctrica. Todas estas instituciones están reguladas por la Secretaría de Energía.

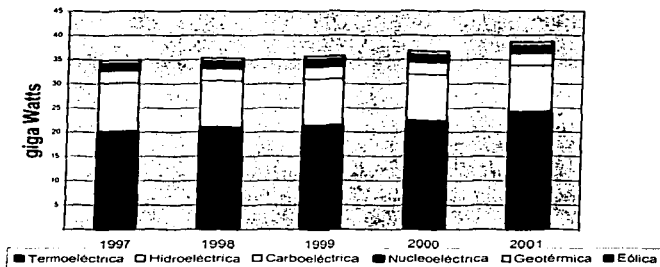
Los datos mostrados mas adelante son publicados en el Informe Anual 2002 de la SENER y por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), antes de mostrar los datos, haremos un paréntesis para revisar las unidades relacionadas con la energía eléctrica.

**Watt (W).** Unidad de potencia, utilizada para indicar la capacidad de generación o consumo de dispositivos eléctricos (en dispositivos no eléctricos el HP es mayormente utilizado).

**Kilo Watt-hora (kWh):** Potencia y tiempo, por lo tanto unidad de energía. Es la unidad mayormente utilizada hablando de energía eléctrica. Equivale al consumo de energía de un dispositivo con potencia de 1000 W durante 1 hora.

De aquí se deriva el GigaWatt – hora (gWh) = 1,000,000 kWh

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO**  
Capacidad Instalada



Gráfica. 1.1.1 Fuente: SENER. Informe 2002

La gráfica 1.1.1 y la tabla 1.1.2, nos indican que durante el 2001, la capacidad total instalada en nuestro país para la generación de energía eléctrica es de 38.5 GW, de los cuales el 70% proviene de fuentes de combustible fósil. Los datos incluyen las dos principales empresas Compañía de Luz y Fuerza del Centro y Comisión Federal de Electricidad, así como empresas privadas que colaboran en un porcentaje mínimo.

La resolución de la grafica 1.1.1, no nos permite ver la participación de la energía Eólica (una de las manifestaciones de la Energía Solar) en la capacidad instalada, su participación es aún muy reducida, sin embargo se trata de energía limpia, renovable y gratuita.

**Capacidad Instalada**

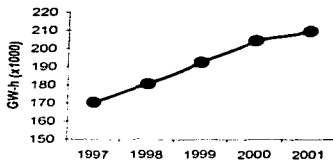
2001

Termoeléctrica	24.094
Hidroeléctrica	9.619
Carboeléctrica	2.600
Nucleoeléctrica	1.365
Geotérmica	0.838
Eólica	0.002
<b>TOTAL (GW)</b>	<b>38.519</b>

Tabla 1.1.2 Fuente SENER informe 2002

El renglón de generación por medio de centrales nucleares no ha tenido movimiento en los últimos 5 años, esto se debe en gran parte a la afortunada y creciente resistencia de numerosos grupos ecologistas en todo el mundo, tanto así que el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ya no contempla el otorgamiento de créditos para estos proyectos.

### Generación bruta de energía eléctrica nacional



Gráfica 1.1.3. Fuente SENER. Informe 2002

La gráfica 1.1.3, muestra un ritmo de crecimiento en el consumo de energía de 10,000 GWh cada año.

Ahora bien sí como lo muestra la tabla 1.1.4, la capacidad instalada es de 38.5 GW y la tasa de operación del 80%, en teoría se pudo haber generado durante 2001:

$$38.5\text{GW} \times 365 \text{ días} \times 24\text{hr} \times 80\% = 270,000 \text{ GWh}$$

Lo que significa que estamos consumiendo el 75% de nuestra producción.

## Generación eléctrica

2000

CFE	189,995
LFC	1,430
Privada x Mixta	12,910
<b>TOTAL GWh</b>	<b>204,335</b>

*Tabla 1.1.4. Fuente SENER*

En la tabla 1.1.4, se muestra el desglose de generación del año 2000 para compararlo con la población del país en el mismo año. No obstante que la generación ha crecido considerablemente en los últimos tres años, es aún insuficiente para abastecer a 97.5 millones de habitantes<sup>2</sup>, sin considerar eficiencia de transmisión, los datos mostrados arrojan una generación bruta de 2.1 MW-hora por habitante al año.

Como se mencionó anteriormente este indicador oculta carencias que se resumen en el siguiente párrafo:

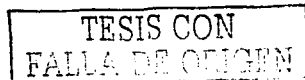
Sólo el 93% de las localidades cuentan con el servicio eléctrico, que representa un 5% de las viviendas sin energía eléctrica y por lo tanto 8% de la población "vive a oscuras".<sup>3</sup>

Puede afirmarse, sin entrar a los detalles, que el problema energético nacional se resume en los siguientes puntos:

- La generación de electricidad en sus diversas formas es insuficiente para más de 100 millones de mexicanos. Se tiene una capacidad instalada de 38 GW que es menor a la correspondiente capacidad del estado norteamericano de Texas.

<sup>2</sup> Fuente: INEGI Censo 2000

<sup>3</sup> Idem



- La energía, al igual que el ingreso está mal distribuida. Alrededor de 7.8 millones de habitantes no disponen de energía eléctrica en sus hogares.
- Se depende excesivamente de los combustibles fósiles para la producción de la energía. La producción por hidrocarburos y carbón es del 70%.
- Parece no existir la conciencia, ni entre la población ni entre los políticos y gobernantes que el esquema tradicional de energización es insostenible. No se puede seguir construyendo termoeléctricas ni grandes hidroeléctricas sin ningún límite. Se deben buscar opciones novedosas, la más viable en el mediano y largo plazo en basar el sistema energético nacional en las fuentes renovables de energía, que afortunadamente en México son muy abundantes.

Las aspiraciones de desarrollo nacional exigen un replanteamiento de los esquemas, tecnologías y estructuras bajo los cuales opera la industria eléctrica. En ese sentido, es necesario reforzar la utilización de energías renovables y desarrollar las herramientas administrativas y técnicas que nos permitan cumplir con el objeto de proveer dicho servicio.

## **1.2 Energía y radiación solar**

Las fusiones termonucleares que se producen en el núcleo del Sol, liberan energía en forma de radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia. Esta radiación no es más que un flujo de partículas de energía o fotones a diferentes frecuencias.

Para medir la cantidad de energía que llega del Sol se emplea como unidad el watt-hora y para conocer la potencia de dicha radiación se usa el watt. Sin embargo, en el caso del aprovechamiento de la energía solar, lo que interesa es la cantidad de energía por unidad de

tiempo y por unidad de área que llega perpendicularmente a la superficie terrestre. Esta cantidad se denomina **insolación** o intensidad de la radiación o soleamiento y la principal unidad para medirla es  $\text{watts/m}^2$ .

### 1.2.1 El Sol y la Tierra

La Tierra gira alrededor del Sol en un movimiento que se denomina traslación y que realiza durante un año. La trayectoria que describe el planeta es una elipse que se acerca a una trayectoria circular; el Sol se encuentra en uno de los dos centros de esta elipse, denominados focos. El movimiento de la Tierra y de la mayor parte de los planetas tiene lugar en un plano, llamado eclíptica. Como el Sol está en uno de los focos de la elipse, nuestro planeta está más cerca del Sol en una época y más lejos en otra. La Tierra alcanza su máxima aproximación al Sol cuando se encuentra a  $1.45 \times 10^8$  km, posición llamada perihelio, a la que llega hacia el 4 de enero de cada año.

A partir de ese punto se va alejando del Sol, hasta que, hacia el 5 de julio de cada año, alcanza la posición más separada, su afelio, a  $1.54 \times 10^8$  km de distancia. Pero nuestro planeta no sólo se mueve alrededor del Sol, sino que gira en torno a un eje imaginario, en un movimiento que se llama rotación. El eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de la eclíptica, sino que forma un ángulo de  $23.45^\circ$ .

Si se mide el ángulo que forman los Trópicos de Cáncer y de Capricornio con respecto al Ecuador, desde el centro de la Tierra, el primero será de  $+23.45^\circ$  y el segundo de  $-23.45^\circ$ . Esta inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de la eclíptica es lo que ocasiona fundamentalmente las estaciones y, por lo tanto, la cantidad de radiación que recibimos del Sol, en cada caso.

**Solsticio de invierno.** Acontece el 21 de diciembre, los rayos solares llegan al Hemisferio Norte durante menos tiempo, porque es el día más corto del año, y el Sol se encuentra al mediodía en el punto más bajo del cielo; en consecuencia, en el día el soleamiento es mínimo. En el Hemisferio Sur ocurre lo contrario.

**Equinoccio de primavera.** El 21 de marzo. Cuando el día y la noche duran lo mismo, el soleamiento es igual en ambos hemisferios y el Sol al mediodía cae verticalmente sobre el Ecuador, pero el eje de rotación de la Tierra forma un ángulo de  $23.45^\circ$  con respecto a la perpendicular del plano de la eclíptica y, por lo tanto, este plano imaginario corta a la Tierra formando un ángulo también de  $23.45^\circ$  respecto al ecuador.

**Solsticio de verano.** Ocurre el 22 de junio, los rayos solares llegan al Hemisferio Norte durante más tiempo, porque es el día más largo del año y el Sol alcanza el punto más alto en el cielo; éste es el caso México. Por lo tanto, en el Hemisferio Norte en ese día ocurre el soleamiento máximo. En el Hemisferio Sur ocurre lo opuesto.

**Equinoccio de otoño.** Finalmente, el 22 ó 23 septiembre, se repite la misma situación que en el equinoccio de primavera, día y noche duran lo mismo en ambos hemisferios y el soleamiento es intermedio entre los puntos máximo y mínimo (solsticios de verano e invierno en el Hemisferio Norte, o al contrario en el Sur) y el eje de la Tierra forma un ángulo de  $-23.45^\circ$  con respecto al ecuador.

En la figura 1.2.1 se muestra en forma gráfica cada uno de los cuatro casos.



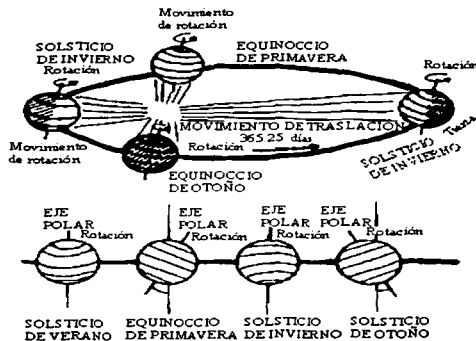


Figura 1.2.1 Radiación solar durante los solsticios y los equinoccios.

Para comprender mejor cómo llegan los rayos solares en los equinoccios y los solsticios, en la figura 1.2.2 se muestra la trayectoria aparente del Sol en las cuatro situaciones, vista desde la latitud de la ciudad de México o de Colima.

Cuando los rayos de Sol llegan perpendicularmente a una superficie es cuando puede aprovecharse la mayor cantidad de radiación; por eso, la cantidad de radiación que incide en una localidad depende de la inclinación de los rayos solares. La radiación que llega a la Tierra es variable y dichos cambios deben conocerse para saber la cantidad de radiación que puede aprovecharse en cada lugar del planeta. En otras palabras, **la radiación solar no es constante sino que cambia según las estaciones del año, las condiciones atmosféricas y la latitud de cada región.**

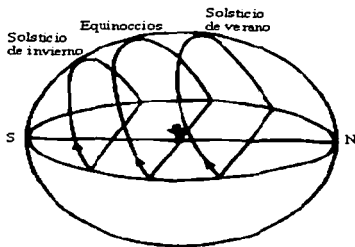


Figura 1.2.2. Trayectoria del Sol desde una latitud de 19° N como la de la ciudad de México o la de Colima, durante los solsticios y los equinoccios. (Tomado de: Everardo Hernández et al., Atlas de la República Mexicana, Universidad Veracruzana, 1991.)

Pese a lo anterior, para fines prácticos se considera que en el límite superior de nuestra atmósfera llega una **cantidad de radiación promedio** por unidad de tiempo por cada  $m^2$ , que se denomina **constante solar**. El valor de esta constante es igual a  $1.367 \text{ Kwatts}/m^2$ . Esto quiere decir que en el borde de la atmósfera, a cada  $m^2$  le llegan 1367 watts de potencia solar. Si se considera la mitad de la superficie de la Tierra (debido a la noche) se tendría una energía de  $1.7 \times 10^{17}$  watts-hora cada 60 minutos de Sol, cantidad muy superior a la energía eléctrica que se genera en todo el mundo a lo largo de un año ( $7 \times 10^{15}$  Wh). Sin embargo, la atmósfera y la eficiencia de los sistemas solares ocasionan que esta cantidad sea mucho menor ( $2.16 \times 10^{20}$  Wh/año).

### 1.2.2 Atmósfera y radiación en la superficie terrestre

En el inciso anterior se puntualizó que la Constante Solar se define como el total de energía que incide en el exterior de la atmósfera terrestre, sin embargo en la superficie de la Tierra la situación cambia considerablemente. La Tierra tiene una atmósfera cuyo límite se fija convencionalmente a 2000 km de altura sobre la superficie y está compuesta de las siguientes capas: troposfera, estratosfera, ionosfera y exosfera. Ésta funciona como un gran invernadero, que guarda parte del calor proveniente del Sol; el efecto de invernadero permite que la temperatura terrestre no sea la de un témpano de hielo. Para entender las pérdidas de radiación en la atmósfera, se debe

mencionar que cuando la radiación llega a un objeto, éste la absorbe y a su vez emite una radiación en forma de ondas electromagnéticas que no necesariamente tiene la misma longitud de onda.

El Sol emite una radiación caracterizada por el espectro solar. Esa radiación es absorbida por el sistema atmósfera-Tierra. Dicho sistema atmósfera-Tierra se calienta y a su vez emite una radiación de características diferentes a la absorbida. A pequeña escala, si los rayos solares llegan a un invernadero, el vidrio o los vidrios dejan pasar la longitud de onda corta, y el suelo y las plantas absorben esa radiación, pero, a su vez, emiten una radiación de longitud de onda larga. Esta radiación de onda larga no puede salir porque el vidrio no deja pasar esa radiación. Así, como el calor no puede salir se eleva la temperatura en el interior del invernadero. En nuestra atmósfera ocurre un efecto similar.

Para saber cuál es la cantidad de radiación que llega a la superficie de nuestro planeta y no sólo a la frontera de la atmósfera, debe hacerse un análisis global de los diferentes procesos físicos y químicos que tienen lugar desde que la radiación solar atraviesa la atmósfera hasta que llega a la superficie terrestre. Este proceso global se llama balance energético de la radiación solar.

Hacer un balance preciso de la radiación solar resulta una tarea compleja. Hasta ahora sólo se han hecho aproximaciones. Por otro lado, la radiación solar que recibe cada punto de la Tierra varía, dependiendo de la radiación directa y difusa que recibe. Por ello, hablar de un balance global resulta una aproximación de la radiación promedio anual que recibe la superficie terrestre, aunque permite darse una idea de lo que sucede.

Solamente 47% de la radiación solar que absorbe nuestra atmósfera llega a la superficie terrestre; 31% directa y 16% indirectamente, como radiación que se difunde en la atmósfera y se denomina, por ello, radiación difusa.

Por otro lado, la radiación solar que se desaprovecha se divide en los siguientes porcentajes: 28% se va al espacio exterior por reflexión en la capa superior de la atmósfera, 6% se pierde por difusión de aerosoles, 7 % se refleja en el suelo terrestre y 17% lo absorben las distintas capas de la atmósfera. La suma de estas pérdidas da un total de 53 por ciento (véase figura 1.2.3).

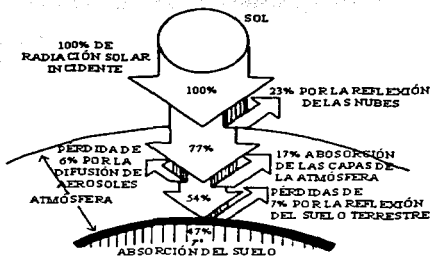


Figura 1.2.3. Balance energético de la radiación solar para longitudes de onda corta (4mm).

Por lo tanto, en los diferentes dispositivos solares **se puede aprovechar, un máximo de 47% de la radiación que llega fuera de la atmósfera.** Pero esto sólo ocurre con la radiación solar de onda corta (menor de 4 micrómetros). La Tierra absorbe esa radiación (47%), pero a su vez emite radiación de onda larga, tal y como ocurre en un invernadero. Posteriormente, de esa radiación de onda larga (mayor de 4 micrómetros) que emite nuestro planeta, 18% sale de la

atmósfera. De esa manera, únicamente 29% ( $47-18=29\%$ ) de la radiación total absorbida queda en nuestro planeta. En la figura 1.2.3 se muestra este balance energético.

Como se mencionó antes, los movimientos de rotación y traslación de la Tierra hacen que varíe la cantidad de radiación que recibe el planeta. Así, para conocer la radiación por unidad de tiempo por unidad de superficie que recibe un lugar determinado de la Tierra, deben conocerse varios parámetros como la latitud y la longitud geográficas, la altura sobre el nivel del mar, la concentración de vapor de agua y la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera. La medición de estas variaciones ha permitido hacer un mapa mundial de la radiación mensual que reciben diferentes lugares de la Tierra (véase figura 1.2.4).

Por ejemplo, la latitud y la longitud de Ciudad Universitaria en el Distrito Federal, es  $19^{\circ}20'$  Norte y  $99^{\circ}11'$  Oeste y el promedio de **radiación anual por día en el año de 1966 fue de  $5.278 \text{ kWh/m}^2$** . Esto quiere decir que en promedio cada  $\text{m}^2$  de Ciudad Universitaria recibió ese año 5.278 kWh por día. Si esa energía pudiera aprovecharse sería suficiente para satisfacer el consumo de electricidad de un departamento común.

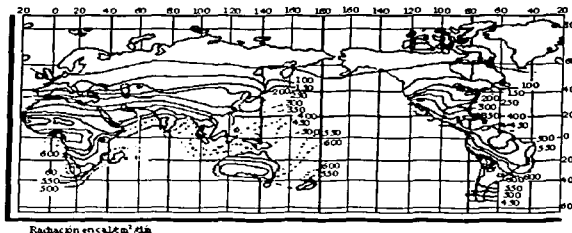


Figura 1.2.4. Radiación total mundial (durante el mes de julio de 1966.) (Tomado y adaptado del Solar Energy, Universidad de Wisconsin, julio, 1966.) . Los datos están muestran la media x día de radiación expresada en cal/m<sup>2</sup> o langley\*

### 1.2.3 Insolación en México

En la figura 1.2.5 se muestra un mapa de insolación para la República Mexicana y cada una de las líneas corresponde a los lugares que reciben la misma cantidad de radiación. Como puede apreciarse, los estados de Sonora y Baja California son los que reciben anualmente mayor cantidad de Sol. Por otro lado, cabe señalar que la ciudad de México se encuentra entre las cinco ciudades del mundo que reciben mayor cantidad de radiación solar.

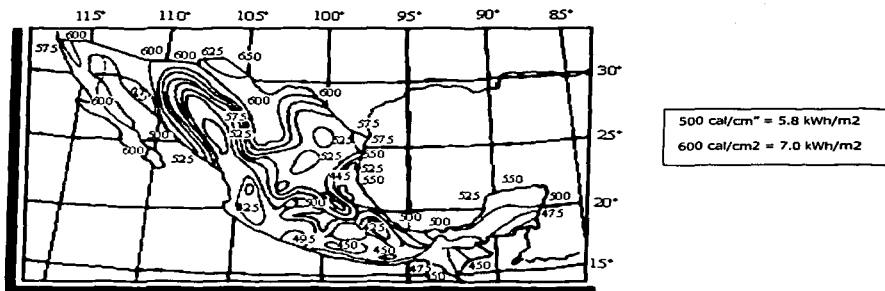


Figura 1.2.5. Radiación solar en la República Mexicana. (Tomado y adaptado de Alternativas Energéticas, Alonso C., A y Rodríguez V., L; datos de Galindo, I. Y Chávez A.)

\* Langley = 1 cal/cm<sup>2</sup> = 11.64 Wh/m<sup>2</sup>. Las calorías son unidades mayormente utilizadas cuando se habla de conversión térmica.

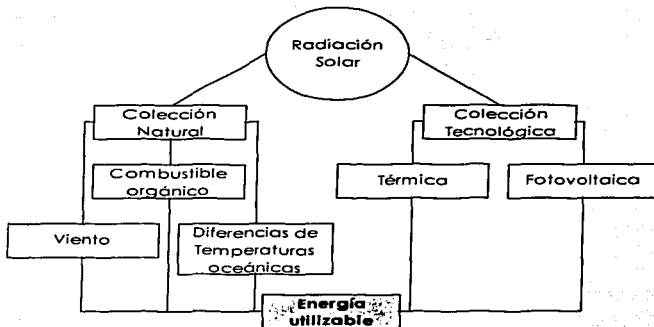
México tiene algunas regiones (Sonora y Baja California) con el promedio de radiación más alto del planeta. Estas zonas coinciden con los desiertos que se hallan alrededor de los Trópicos de Cáncer y de Capricornio, y en ellas pueden construirse centrales de energía solar para satisfacer la demanda que requiere nuestro país. Además, como en las zonas desérticas el suelo es poco productivo y el clima contribuye a que no se habiten, son las más apropiadas para construir plantas solares de varias decenas de megawatts de potencia.

El promedio diario de energía solar que llega a la República Mexicana es alrededor de 5 kWh/m<sup>2</sup>. La utilización de la energía solar se ha probado con éxito como alternativa para satisfacer las necesidades de electricidad en las comunidades rurales. Cabe destacar el hecho de que una casa puede ser autosuficiente, en lo que respecta al consumo externo de energía, si se emplean algunos dispositivos solares y si la arquitectura de la vivienda está diseñada para que el clima esté controlado naturalmente con diversos sistemas solares llamados pasivos. De lo anterior se desprende que el uso de la energía solar contribuye a eliminar la dependencia de los energéticos y a la descentralización energética. (Ver **apéndice 1**)

### **1.3 Métodos de conversión de la energía solar.**

La radiación solar, como fuente de energía, se puede aprovechar directamente, como fuente de luz y de calor, sin embargo, de acuerdo a la Agencia de Energía Solar de NSF/NASA, los métodos principales que actualmente están bajo consideración para conversión de energía, están subdivididos como lo muestra la figura 1.3.1

Fig. 1.3.1 Métodos de conversión de energía solar



### 1.3.1 Conversión térmica

Cuando una superficie oscura es expuesta al rayo solar, absorbe la energía solar y dicha superficie se calienta. Los colectores de energía solar que trabajan bajo este principio consisten de una superficie que da la cara al Sol, ésta transfiere parte de la energía que absorbe a un fluido que pasa a través de éste. Para reducir las pérdidas de calor, se colocan uno o dos cristales sobre la superficie de absorción para mejorar la eficiencia. Este tipo de colectores térmicos, sufren de pérdidas de calor debido a la radiación y convección, la cual incrementa rápidamente, mientras la temperatura del fluido incrementa. Desarrollos como el uso de superficies selectas, evacuación del



colector para reducir la pérdida de calor y tipos especiales de vidrio se utilizan para incrementar la eficiencia de estos dispositivos.

Sin duda este tipo de conversión es el más utilizado actualmente en edificaciones de todo tipo, específicamente para el calentamiento de agua, ya sea de utilización directa o para calefacción. El empleo de esta tecnología está bien desarrollada en nuestro país, no obstante su utilización aún es escasa y el calentamiento a través de combustibles fósiles (gas natural) predomina por mucho en este renglón. Países como Japón e Israel es obligatoria la utilización de calentadores de agua solar en uso doméstico.

### 1.3.2 Conversión fotovoltaica

Esta conversión se realiza mediante el efecto fotoeléctrico, el efecto fotoeléctrico se basa en la emisión de electrones desde una superficie, por la acción de la luz, la energía cinética de estos electrones, tiene una distribución desde 0 hasta una energía máxima ( $E_{max}$ ) proporcional a la frecuencia ( $f$ ) de la radiación en forma de luz que incide sobre la superficie.

$$E_{max} = Cte(f - f_0)$$

Donde  $E_{max}$  es la energía máxima,  $f$  es la frecuencia de la radiación y  $f_0$  es la frecuencia por la cual no se desprende ningún electrón y depende del material. Este efecto se explica en la teoría cuántica de la radiación de Planck, y la constante es la constante de Planck ( $h$ )

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

En la práctica, esta superficie es un material generalmente formado por capas de elementos semiconductores que convierten la luz del sol en un flujo de electrones, estos elementos individuales, se conectan en arreglos en serie y paralelamente para obtener los voltajes y las corrientes necesarias.

En el capítulo 3, se analizará con mas detenimiento la composición de una celda solar, por el momento basta decir que una celda solar está compuesta por la unión de dos materiales tipo N y Tipo P, formado una junta "PN", de manera tal que al incidir la luz, los electrones viajan de un material a otro, creando un flujo de corriente eléctrica.

#### **1.4 Marco legal**

Dado que el estudio a realizar está en términos de generación de energía eléctrica obtenida por la conversión de los recursos naturales, siendo en este estudio la energía solar, es importante realizar los análisis correspondientes del marco legal en México, ya que en caso contravenir las condiciones legales, hasta hoy día impuestas, el proyecto de tesis no tendría validez legal para efectos de su posterior aplicación.

Es por ello que conforme a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, publicada el Diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre de 1975 se reproducen algunos párrafos importantes relativos a la autogeneración con fines de consumo propio, que para efectos del estudio permitan de manera legal orientar un estudio de factibilidad sobre de la generación y explotación domiciliaria de la energía eléctrica obtenida del sol.

##### **1.4.1 Legislación actual**

Fragmentos de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

## **CAPITULO I**

### **Disposiciones Generales**

**ARTICULO 1º.-** *Corresponde exclusivamente a la Nación, generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público, en los términos del Artículo 27 Constitucional. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará, a través de la Comisión Federal de Electricidad, los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.*

**ARTICULO 3o.-** *No se considera servicio público:<sup>5</sup>*

- I.- La generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción;*
- II.- La generación de energía eléctrica que realicen los productores independientes para su venta a la Comisión Federal de Electricidad;*
- III.- La generación de energía eléctrica para su exportación, derivada de cogeneración, producción independiente y pequeña producción;*
- IV.- La importación de energía eléctrica por parte de personas físicas o morales, destinada exclusivamente al abastecimiento para usos propios; y*
- V.- La generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica.*

## **CAPITULO V**

### **Del Suministro de Energía Eléctrica**

---

<sup>5</sup> Diario Oficial de la Federación de 23 de diciembre de 1992.

*ARTICULO 25.- La Comisión Federal de Electricidad deberá suministrar energía eléctrica a todo el que lo solicite, salvo que exista impedimento técnico o razones económicas para hacerlo, sin establecer preferencia alguna dentro de cada clasificación tarifaria.*

*ARTÍCULO 36.- La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, considerando los criterios y lineamientos de la política energética nacional y oyendo la opinión de la Comisión Federal de Electricidad, otorgará permisos de autoabastecimiento, de cogeneración, de producción independiente, de pequeña producción o de importación o exportación de energía eléctrica, según se trate, en las condiciones señaladas para cada caso.<sup>6</sup>*

*1.- De autoabastecimiento de energía eléctrica destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales, siempre que no resulte inconveniente para el país a juicio de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Para el otorgamiento del permiso se estará a lo siguiente:<sup>7</sup>*

*a) Cuando sean varios los solicitantes para fines de autoabastecimiento a partir de una central eléctrica, tendrán el carácter de copropletarios de la misma o constituirán al efecto una sociedad cuyo objeto sea la generación de energía eléctrica para satisfacción del conjunto de las necesidades de autoabastecimiento de sus socios. La sociedad permissionaria no podrá entregar energía eléctrica a terceras personas físicas o morales que no fueren socios de la misma al aprobarse el proyecto original que incluya planes de expansión, excepto cuando se autorice la cesión de derechos o la modificación de dichos planes; y*

---

<sup>6</sup> Diario Oficial de la Federación de 27 de diciembre de 1983 y de 23 de diciembre de 1992.

<sup>7</sup> Diario Oficial de la Federación de 23 de diciembre de 1992.



b) Que el solicitante ponga a disposición de la Comisión Federal de Electricidad sus excedentes de producción de energía eléctrica, en los términos del artículo 36-Bis.

IV.- De pequeña producción de energía eléctrica, siempre que se satisfagan los siguientes requisitos:<sup>9</sup>

a) Que los solicitantes sean personas físicas de nacionalidad mexicana o personas morales constituidas conforme a las leyes mexicanas y con domicilio en el territorio nacional, y que cumplan con los requisitos establecidos en la legislación aplicable;

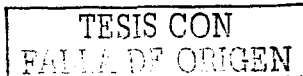
b) Que los solicitantes destinen la totalidad de la energía para su venta a la Comisión Federal de Electricidad. En este caso, la capacidad total del proyecto, en un área determinada por la Secretaría, no podrá exceder de 30 MW; y

c) Alternativamente a lo indicado en el inciso b) y como una modalidad del autoabastecimiento a que se refiere la fracción I, que los solicitantes destinen el total de la producción de energía eléctrica a pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan de la misma y que la utilicen para su autoconsumo, siempre que los interesados constituyan cooperativas de consumo, copropiedades, asociaciones o sociedades civiles, o celebren convenios de cooperación solidaria para dicho propósito y que los proyectos, en tales casos, no excedan de 1 MW;

ARTÍCULO 38.- Los permisos a que se refieren las fracciones I, II, IV y V del artículo 36 tendrán duración indefinida mientras se cumplan las disposiciones legales aplicables y los términos en los que hubieran sido expedidos. Los permisos a que se refiere la fracción III del propio artículo 36 tendrán

---

<sup>9</sup> Idem



*una duración de hasta 30 años, y podrán ser renovados a su término, siempre que se cumpla con las disposiciones legales vigentes.<sup>9</sup>*

*ARTICULO 39.- Salvo lo dispuesto en el inciso c) de la fracción IV del artículo 36, no se requerirá de permiso para el autoabastecimiento de energía eléctrica que no exceda de 0.5 MW. Tampoco se requerirá de permiso para el funcionamiento de plantas generadoras, cualquiera que sea su capacidad, cuando sean destinadas exclusivamente al uso propio en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica; dichas plantas se sujetarán a las Normas Oficiales Mexicanas que establezca la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, escuchando a la Comisión Federal de Electricidad.<sup>10</sup>*

#### **1.4.2 Conclusiones**

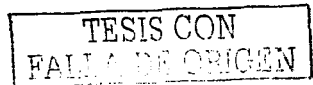
Si bien, conforme al párrafo I y V del Artículo 3º para efectos de autoabastecimiento es válido generar energía eléctrica dentro del territorio nacional. Sin embargo la ley obliga a quienes requieran de energía eléctrica a utilizar aquélla generada y distribuida por la CFE tal como lo advierte el Artículo 25.

Ahora bien, conforme a los planes nacionales no necesariamente es obligación a adquirir la energía generada y distribuida por CFE tal como lo expresan los artículos 36 y 39. Estos mismos artículos expresan que como límite superior de generación sin necesidad de permiso alguno es 0.5 MW, para una comunidad rural es de 1 MW.

---

<sup>9</sup> Diario Oficial de la Federación de 23 de diciembre de 1992.

<sup>10</sup> Diario Oficial de la Federación de 27 de diciembre de 1983 y de 23 de diciembre de 1992.



Dado lo anterior se puede entonces considerar que es legal convertir energía solar a energía eléctrica sin permiso alguno hasta en 0.5 MW en zonas donde exista el servicio de CFE y de 1 MW para zonas rurales por lo que para efectos de este estudio se deben considerar las condiciones antes mencionadas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Apéndice 1

Valores de insolación promedio anual en la República Mexicana

Todos los valores están expresados en kWh/m<sup>2</sup> por día

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
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
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
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	3.8	8.2	5.9
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.9	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
Nuevo León	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
San Luis Potosí	Rio 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	5.6	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
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
Campeche	Campeche	4.0	4.1	5.5	5.8	5.5	4.9	4.9	5.1	4.7	4.4	4.2	3.7	3.7	5.8	4.7
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
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
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
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
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
Nayarit	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
Veracruz	Tuxpan	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.4	4.7	5.5	4.4	4.1	3.4	3.1	3.1	5.5	4.2
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	Orizaba	3.3	3.5	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.1	3.1	4.9	4.0
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
Chiapas	Comitan	4.1	4.4	4.8	4.9	5.1	4.8	5.5	5.5	4.8	4.0	4.0	3.7	3.7	5.5	4.6
Chiapas	Arauga	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	Tuxtla Gutierrez	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
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
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	3.6	3.6	5.7	4.7
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
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.8	4.8	4.4	4.4	6.0	5.3
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	Lagos de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.0	4.7	4.0	4.0	4.0	7.2	5.5
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
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	7.3	5.7
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	4.8
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	Valledora	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
Yucatán	Merida	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
Baja California	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	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	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
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
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
Queretaro	Queretaro	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
D.F.	Tacubaya	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	3.8	5.8	4.8
Mexico	Toluca	4.4	4.9	5.3	5.4	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9	3.9	5.4	4.8
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
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
Puebla	Puebla	4.9	5.9	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
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.6	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	4.2	6.8	5.4
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
RESUMEN	Mínimo	3.1	3.3	3.1	3.6	4.1	4.4	4.5	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	2.8	4.5	3.7
	Máximo	5.4	6.3	6.6	7.5	8.3	8.6	7.0	6.8	6.7	6.0	5.7	5.6	5.4	8.6	6.7
	Promedio	4.1	4.7	5.3	5.7	5.9	5.6	5.6	5.5	5.1	4.7	4.3	3.8	3.8	5.8	5.0

Fuente: National Renewable Energy Laboratory (NREL), con sede en Golden Colorado

**2.1 Evolución de las celdas solares**

El primero en notar el efecto fotoeléctrico fue el físico francés Edmundo Bequerel, en 1839. Él encontró que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando eran expuestos a la luz. La Fotoconductividad del selenio fue descubierta por Willoughby Smith, científico inglés (1828-1891). El efecto fotoeléctrico fue estudiado por primera vez en sólidos, como el selenio, por Heinrich Hertz, alrededor de los años 1870. En 1883 el inventor Americano Charles Fritz describió las primeras celdas solares hechas de obleas de selenio. Poco tiempo después las celdas Fotovoltaicas utilizando selenio, convertían a razón de 1% a 2% la luz en electricidad. En 1905, Albert Einstein describió la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico, en el cual está basada la tecnología fotovoltaica. Por este trabajo, se le otorgó más tarde en 1923 el premio Nobel de física junto con Robert Millikan (1868-1953) el cual verificó la teoría de Einstein y pudo medir con gran exactitud el efecto Fotoeléctrico, posteriormente con estas mismas investigaciones determinó con exactitud el valor de la constante de Plank. En 1918 el científico polaco Czochralski (1885-1953) desarrolló una forma de producir Silicio Monocristalino usado en las celdas Fotovoltaicas de hoy día. En 1954 fue descubierta el efecto Fotoeléctrico en el Cadmio (Cd) En el mismo año los Laboratorios Bell reportaron una eficiencia del 6% en celdas solares de Silicio. En 1955 Hoffman Electronics empezó vender las primeras celdas Fotovoltaicas con una eficiencia de alrededor del 2% y con una potencia de 14mW por a un precio de 25 USD. Posteriormente en 1960 se había alcanzado una eficiencia del 14% en celdas Fotovoltaicas.

En la década de los 60's, la Industria espacial comenzó por primera vez a hacer uso de esta tecnología para proveer la energía eléctrica a bordo de las naves espaciales. El primer satélite impulsado por celdas Fotovoltaicas lanzado al espacio exterior fue el Vanguard I en 1958. A través de los programas espaciales, la tecnología avanzó y alcanzó un alto grado de confiabilidad reduciendo los costos.

En 1963 Japón instaló un arreglo de paneles solares con 242 W de potencia para alimentar una casa, este arreglo fue el más grande del mundo en ese entonces.

Durante la crisis de energía en la década de los 70's en los Estados Unidos, la tecnología Fotovoltaica empezó a ganar reconocimiento como una fuente de energía para aplicaciones no relacionadas con el espacio. En 1972 Francia instaló un Sistema Fotovoltaico con celdas de CdS en una Villa Escolar en Nigeria para fines educacionales. En 1977 la producción mundial de energía fotovoltaica excede los 500 kW. En 1982 la producción superaba los 9.3 MW y en el 2002 estaba a alrededor de los 2000 MW.

Hoy en día, los dispositivos fotovoltaicos (FV) más comunes usan una sola juntura o interfase para crear un campo eléctrico dentro de un semiconductor. En una celda FV de una sola juntura, solamente aquellos fotones cuya energía sea igual o mayor a la del espacio interbanda del material de la celda, pueden liberar un electrón para ser usado en un circuito eléctrico. En otras palabras, la reacción fotovoltaica de las celdas de una sola juntura está limitada a la porción del espectro solar cuya energía esté por encima del espacio interbanda del material absorbente, y por tanto aquellos fotones con energías más bajas no son utilizados.

Una manera de sortear esta limitación es usando dos (o más) celdas diferentes, con más de un espacio de banda y más de una juntura, para generar un voltaje. Este tipo de celdas es conocida como celdas "multijuntura" (también llamadas celdas "de cascada" o "tandem") Los dispositivos multijuntura pueden lograr una mayor eficiencia de conversión total porque pueden convertir una fracción más grande del espectro luminoso en electricidad.

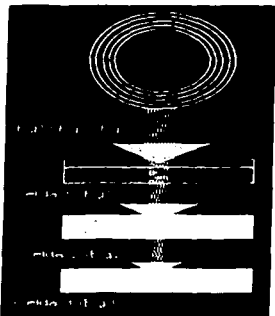


Fig 2.1.1 Celdas de una sola junta

A manera de comparación, como se menciona al principio de este capítulo, las primeras celdas fotovoltaicas convertían el 1% - 2% de la luz del sol en electricidad. Las celdas fotovoltaicas actuales convierten entre el 7% y 17% de la energía solar en energía eléctrica.

Por supuesto, en el otro lado de la ecuación está el costo de manufactura de las celdas fotovoltaicas. Estas también han sido mejoradas, de hecho hoy los sistemas fotovoltaicos, producen electricidad a una fracción del costo de los primeros sistemas fotovoltaicos.

Como se muestra en la fig 2.1.1, un dispositivo multijuntura es un conjunto de celdas individuales de una sola juntura, colocadas en orden descendente de acuerdo a su espacio de banda. La celda más alta captura los fotones de alta energía y deja pasar el resto de los fotones hacia abajo para ser absorbidos por las celdas con espacios de bandas más bajos.

Muchas de las investigaciones que se realizan en la actualidad sobre celdas multijuntura están enfocadas al uso del arseniuro de galio (GaAs) en uno (o en todos) de los componentes de las celdas.

Tales celdas han alcanzado eficiencias de alrededor del 35% bajo luz solar concentrada. Otros materiales estudiados para su uso en dispositivos multijuntura son por ejemplo, silicio amorfo y el diseleniuro de indio con cobre (CuInSe<sub>2</sub>).

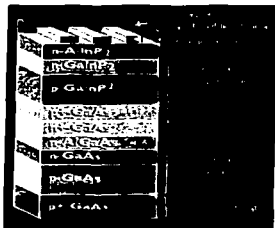


Fig. 2.1.2 Celdas de Multijuntura

Como ejemplo de esto, el dispositivo multijuntura que se muestra en la fig. 2.1.2, utiliza una celda superior de fosfato de indio con galio, una juntura "de túnel" para facilitar el flujo de electrones entre las celdas, y una celda inferior de arseniuro de galio.

### 2.1.1 Evolución de la energía solar en México

Como se mencionó en el capítulo 1, el potencial de aprovechamiento de energía solar en México es uno de los más altos del mundo, alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m<sup>2</sup> al día, el doble del promedio en EUA.

La generación de electricidad a partir de energía solar comúnmente se realiza mediante la utilización de dos tipos de sistemas; fotovoltaicos (conversión directa) y termosolares (calentamiento de fluidos con ayuda de concentradores). El uso de dispositivos fotovoltaicos presenta oportunidades para electrificación de zonas aisladas, así como para el soporte de la red en regiones con fuerte demanda de punta en verano, como el noroeste del país.

Actualmente se tienen instalados entre 10 y 15 MW en sistemas fotovoltaicos dispersos, aplicados en la iluminación doméstica, telefonía rural, bombeo de agua y telecomunicaciones. La capacidad instalada de estos sistemas se incrementó de 7.1 MW en 1993 a 13 MW en 2000, representando una tasa de crecimiento promedio anual de 9.3%.

La CFE cuenta con una planta híbrida en San Juanico, Baja California Sur, con una instalación de 17 KW fotovoltaicos, 10 kW eólicos y un motogenerador diesel de 80 kW. Además, este organismo estudia la instalación de otra planta híbrida (ciclo combinado-termosolar) al norte del país, con una capacidad termosolar de 40 a 50 MW.

La CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) estima que para el año 2010 se cuente con 24 MW instalados y 13 GWh de generación, con base en un crecimiento anual de 6% en la instalación de los sistemas, y un factor de planta de 25%.

Actualmente se cuenta con estudios experimentales, en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, para generar electricidad a partir de tecnología termosolar. Esta opción presenta amplias perspectivas de aplicación, principalmente en la región Noroeste del país.

## **2.2 Ingeniería de la celda solar**

Hay dos tipos de efectos fotoeléctricos. En el efecto fotoeléctrico externo se emiten electrones libres desde una superficie por la absorción de fotones energéticos (luz). En el caso del efecto fotoeléctrico interno, los portadores de energía son liberados en todo el material por la absorción de fotones energéticos.

**Efecto externo:** Se observa principalmente en materiales dentro de una cámara de vacío. La opacidad de metales y algunos compuestos con respecto a los fotones en el visible y ultravioleta es alto, por lo que el fotón es absorbido muy cerca de la superficie. Si la energía del fotón es mayor que la superficie de trabajo en función del absorbente, el electrón es expulsado con la suficiente energía para romper libremente la superficie. La aceleración de estos electrones liberados por un voltaje externo, crea una fotocorriente. La eficiencia del efecto externo es generalmente menor que el 50% ya que el evento de absorción ocurre en lo profundo del material de tal manera que el electrón no pueda escapar. Nos es posible fabricar celdas solares por el uso del efecto fotoeléctrico externo, ya que no se presenta un campo autogenerado para generar flujo de corriente.

**Efecto interno:** Se observa principalmente en semiconductores. La opacidad de estos materiales es menor que la de los metales, de tal manera que el efecto principal ocurre en una profundidad donde pocos electrones pueden escapar de la superficie. En este proceso, la absorción de un fotón energético crea un par, electrón y un hueco. Cuando el fotón tiene una energía mayor que la banda de valencia del material, los portadores de energía son libres de moverse en la banda de conducción en un tiempo muy reducido, después del cual pueden recombinarse. El tiempo entre la creación y la recombinación del par se conoce como el tiempo de vida y la distancia recorrida en este tiempo por la longitud de difusión.

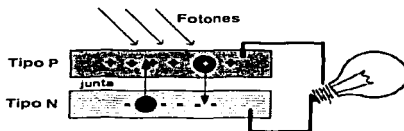


fig. 2.2.1. Efecto fotoeléctrico interno

La condición para fabricar la celda solar utilizando el efecto fotoeléctrico interno es que debe existir un campo eléctrico autogenerado. Este campo es creado por la formación de lo que se conoce como la junta entre materiales semiconductores de diferente tipos N y P.

Cuando el material cede fácilmente electrones, los átomos que los pierden quedan cargados positivamente a lo que se le conoce como semiconductor tipo N. Cuando la sustancia difusa atrapa fácilmente electrones, se presenta un exceso de cargas negativas, por lo tanto son semiconductores tipo P.

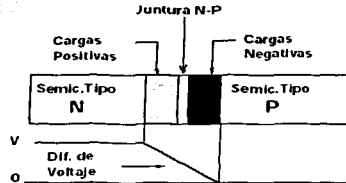


Fig. 2.2.2 Junta N-P en equilibrio.

El desplazamiento de las cargas negativas y positivas deja la zona de la unión totalmente libre de cargas. La acumulación de cargas a ambos lados de la junta crea la diferencia de voltaje provocando que la junta quede sin desplazamiento de electrones es decir la corriente de desplazamiento se anula. Se dice entonces que la junta N-P ha alcanzado el estado de equilibrio como se muestra en la figura 2.2.2



**Voltaje:** El voltaje de una celda solar es de corriente continua (CC), por lo tanto existe una polaridad es decir un polo positivo y otro negativo. En relación al su tamaño, las celdas producen voltajes entre 0.5 y 1 volt.

**Potencia:** En un instante determinado, la potencia eléctrica proporcionada por la celda, está dada por el producto de los valores instantáneos de voltaje y corriente de salida. Esta potencia depende de la superficie y eficiencia, es decir la potencia está en función de la insolación a la que está sometida la celda.

**Eficiencia:** La eficiencia de conversión es la relación entre la energía eléctrica generada y la energía luminosa utilizada para obtenerla. Esta relación es dada en forma porcentual, como se muestra a continuación:

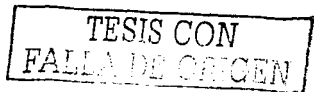
$$\eta \% = \frac{\text{Energía generada}}{\text{Energía incidente}} \times 100$$

Léase como el porcentaje de luz solar que es transformado en energía eléctrica

Hoy día, las celdas producidas tienen una eficiencia entre 7 y 17%. Las que utilizan semiconductores cristalinos tienen una eficiencia mayor que las que utilizan semiconductor policristalino, debido a que las imperfecciones de este último disminuyen el número de partes de carga que quedan libres para conducir la corriente.

### **2.2.1 Celdas monocristalinas y policristalinas**

Existen dos tipos de celdas solares clasificadas con respecto al proceso de producción que se utiliza. Las celdas monocristalinas requieren de un elaborado proceso de manufactura lo que incrementa su costo, mientras que las celdas policristalinas se obtienen fundiendo el material y



vaciándolo en moldes, dando como resultado una estructura no uniforme. La diferencia entre estos dos tipos de celdas es fácilmente reconocible a simple vista, ya que en las monocristalinas se ve una estructura con un brillo uniforme, mientras que en la segunda se ve una estrella con diferentes brillos.

También existen las celdas solares llamadas amorfas las cuales no tienen una estructura cristalina. Estas celdas tienen una eficiencia mucho menor que las cristalinas, por lo que se necesitará de una mayor área para obtener la potencia deseada. No obstante son más económicas.

### 2.3 Módulos y paneles. Características comerciales y disponibilidad en el país.<sup>11</sup>

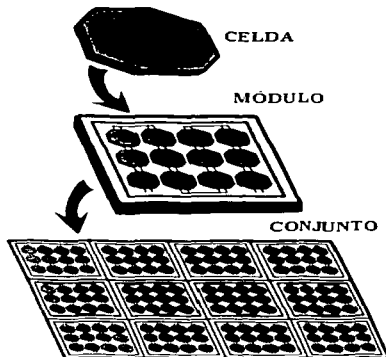


Fig. 2.3.1 Panel Solar

<sup>11</sup>. Exec. Editor J. Schaeffer. Solar Living Sourcebook. 11<sup>th</sup>. Edition. Hopland, Ca. GAIAM REAL GOODS

Un módulo de CF consiste en muchas celdas alambradas en serie para producir un mayor voltaje (fig. 2.3.1) Los módulos de 36 celdas en serie se han convertido en el estándar de la Industria para la producción de electricidad. Esto hace un módulo que entrega potencia a 17 ó 18 Volts, un nivel adecuado para cargar baterías de 12 Volts. El módulo está encapsulado en vidrio templado en la superficie frontal, y con un material protector y contra agua en la superficie trasera. Los extremos están sellados para protegerlos contra el agua, y a menudo tienen una estructura de aluminio para montarlos. Una caja de conexiones o terminales proporcionan las conexiones eléctricas necesarias.

Las CF tienen la ventaja de aprovechar tanto la radiación directa como la difusa, poseen una larga vida y convierten directamente la energía solar en electricidad. Por otro lado, no se han usado ampliamente porque hasta ahora son demasiado costosas y, por lo tanto, no pueden competir con otras fuentes de energía como el petróleo y el gas. Además, su eficiencia de operación es baja. Sin embargo, desde el descubrimiento de las celdas de silicio amorfo hidrogenado, en los últimos años han disminuido considerablemente los costos, aunque la eficiencia máxima (8%) que se obtiene con este material es menor que la que se consigue con otros. En el cuadro siguiente aparecen algunos materiales con los que están hechas las celdas solares que se fabrican o se estudian en México, sus eficiencias máximas y el área de captación de cada una de ellas.

## Materiales de algunas celdas solares: eficiencia y área

	Eficiencia (%)	máxima Área (cm <sup>2</sup> )
Silicio amorfo	8	0.04
Sulfuro de cadmio	10	1.00
Silicio monocristalino	18	2.00
Silicio policristalino	7-14	2-3
Arsenuro de galio	22	0.10
Teluro de cadmio	8-9	0.02

Como cada celda genera corrientes entre 10 y 40 miliamperes (mA) por cm<sup>2</sup> y voltajes de 0.4 a 1 volt, se tienen que unir varias celdas en serie o en paralelo, para formar paneles con potencias de 2 a 60 watts-pico que sean útiles para satisfacer diferentes necesidades de energía eléctrica; éstos deben estar cubiertos para evitar el deterioro. Mediante la unión de varios paneles puede abarcarse una área adecuada para satisfacer cierta demanda y, al igual que en los colectores planos, las celdas deben orientarse hacia el sur, con una inclinación adecuada.

Por ejemplo, si se quiere tener una potencia de 100 watts, se requerirían 120 V (volts) y 0.8 A (amperes). Para ello, se necesitaría un panel que tuviera 300 celdas solares en serie ( $0.4 \times 300 = 120$  V) y 20 celdas solares colocadas en paralelo ( $0.040 \times 20 = 0.8$  A).

## **Tipos de tecnologías para las CF:**

**Cristalino sencillo.** Es la tecnología más antigua y cara, pero es la más eficiente de las comercialmente disponibles. Los módulos completos tienen una eficiencia de entrega de aproximadamente 10 al 12%. Se han alcanzado eficiencias del 20% en laboratorio, pero lo hacen con componentes exóticos. Se usa el mismo proceso que el de fabricación de transistores y circuitos integrados. Los cristales de silicio tienen un azul característico, y las CF parecen cristales azules. Las marcas son productos de cristal sencillo Siemens y Astropower.

**Policristalino o multicristalino.** En esta tecnología, el silicio se funde en planchas y se rebanan las hojas. Es sólo un poco más baja la eficiencia de conversión comparada con el cristal sencillo, pero el proceso es menos exacto y los costos de manufactura son menores. La eficiencia de los módulos es de aprox. 10 a 11% de luz solar a cable. Las marcas son productos policristalinos Solarex y Kyocera.

**Listón de resorte.** Esta técnica es un refinamiento de la producción de policristalinos. Un par de resortes se hunden en el silicio fundido, y se levantan haciendo como una burbuja de jabón. Cuando se enfría cristaliza, y están listos para impregnarse. El ancho puede controlarse con el espaciado entre el resorte, y el espesor con el diámetro. Los costos de manufactura son menores. La eficiencia de conversión es del 7 al 8%. Las marcas son módulos Evergreen y la línea APX de Astropower.

**Amorfos o de película delgada.** En esta técnica, el material de silicio es vaporizado y depositado en acero inoxidable o vidrio. Este método cuesta menos que cualquier otro, pero la CF son menos

eficientes, de modo que se necesita más superficie. Hay dudas sobre su duración y mantenimiento, porque no usan vidrios templados. Las marcas son la serie Millenia de Solarex.

**Eficiencia.** En promedio, el sol entrega 1000 wats (1 kw) por metro cuadrado a mediodía en un día soleado a nivel del mar. Ésta se define como "a cielo lleno" y es la referencia por la cual los módulos se clasifican y comparan. Es una buena referencia, pero no siempre es observada. El polvo, vapor de agua, contaminación, variaciones estacionales, altitud y temperatura afectan la potencia que pueden recibir. Como ya comentamos, la eficiencia varía del 10 al 5% en las CF comerciales, y no se espera que cambien porque la tecnología ya está madura.

La disponibilidad de fabricantes y diseñadores de sistemas fotovoltaicos estadounidenses es muy extensa. Tenemos la recomendación de módulos fotovoltaicos de:

Astropower (AP120 de 120Wts, AP75 de 75Wts.)

Siemens (Series SP 75, 130, 150, SM 110, 55)

Solarex (MSX 60, la serie Lite, Lite irrompible y Millenia)

Kyocera (KC 120, 80)

UNI-solar (5, 11, 21, 32, 42, 64Wts. Y marinos)

Evergreen Cedar (32, 47, 94Wats., De voltaje Dual)

Photowatt (12,24 y 80Wts.)

### **2.3.1 Disponibilidad en México.**

En México, el Centro de Investigaciones Avanzadas del IPN ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 25 años, período en el que se han fabricado tanto celdas de silicio

crystalino como módulos fotovoltaicos a nivel de planta piloto. No obstante, no se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aún cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales. Otras instituciones como el Laboratorio de Energía Solar y el Instituto de Física, ambas de la UNAM, han desarrollado cierta actividad, principalmente en la tecnología de películas delgadas, probando diferentes técnicas de deposición y analizando varios compuestos. A la fecha no han logrado obtener prototipos, motivo por el que se puede aseverar que el desarrollo fotovoltaico en México es realmente incipiente.

Respecto a los equipos periféricos y de control utilizados en los sistemas fotovoltaicos que se han instalado en México, se puede decir que la tecnología actual está completamente asimilada. Existen empresas nacionales (Conдумex, ahora IEM, Grupo PIM y ACUMEX entre otras) que fabrican comercialmente controladores, centros de carga y demás componentes electrónicos para diferentes capacidades y condiciones de operación. Análogamente a los controladores de carga, la tecnología de los inversores de corriente está ampliamente asimilada. En México la mayoría de las unidades de autotransporte de primera clase utilizan inversores de fabricación nacional para los diversos servicios que brindan a bordo. La actividad en los centros de investigación mexicanos es prácticamente nula en este aspecto, dado que esta fracción de la tecnología fotovoltaica no es vanguardista.

## Casa habitación y la energía eléctrica convencional

### 3.1 Requerimientos eléctricos casa tipo

Los requerimientos eléctricos en una casa tipo, están determinados por los equipos eléctricos que se utilizan y el tiempo que estos permanecen encendidos. La electricidad en el hogar se utiliza principalmente para iluminación y refrigeración, siendo estos usos los más demandantes, ya que en promedio, estos usos consumen casi el 70% de la electricidad total.

Concepto	Porcentaje
Iluminación	40%
Refrigeración	29%
Televisor	13%
Plancha	6%
Lavadora de ropa	5%
Otros electrodomésticos	7%

Debido a que los consumos mayores se deben a los electrodomésticos para iluminación y refrigeración, el consumo total en el hogar, puede variar mucho dependiendo del uso que se dé, por ejemplo el aire acondicionado en las diferentes épocas del año.



Una aproximación de los diferentes consumos eléctricos, son lo siguientes:

DESCRIPCION	WATTS
<b>Electrodomésticos</b>	
Refrigerador	500
Triturador	1500
Abrelatas	100
Microondas	900
Horno eléctrico	1500
Tostador (2 rebanadas)	1200
Molino de café	100
Bomba sumergible de CA (1/2 HP)	1000
Bomba sistema de presión	60
Bomba ( 6 horas por días)	50
<b>Taller</b>	
Sierra eléctrica	1800
Sierra de mesa eléctrica	1800
Lijadora	1080
Taladro 3/8"	400
Taladro 1/2"	600
<b>Entretenimiento y Telefonía</b>	
Televisión 27" color	170
Televisión 19" color	80
Televisión 12" blanco y negro	16
Videojuego	20

Sistema satelital	30
Reproductor de CD	30
Equipo de sonido (volumen promedio)	55
Sistema de teatro en casa	500
Estereo de poder (volumen promedio)	15
Receptor banda civil	10
Teléfono celular (en espera)	5
Teléfono inalámbrico (en espera)	5
Piano eléctrico	30
Guitarra amplificadora	40
<b>Hogar</b>	
Luz fluorescente (equivalente a 60w)	15
Luz incandescente (como un foco)	60
Reloj eléctrico	4
Radio reloj	5
Cobertor eléctrico	400
Plancha	1200
Lavadora (eje vertical)	900
Lavadora (eje horizontal)	250
Secadora (eléctrica)	5750
Aspiradora, promedio	900
Ventilador	800
Puerta de garaje 1/4 HP	550
Sistema de alarma de seguridad	6
Aire acondicionado (10,000 BTU/hrs)	1500

<b>Oficina</b>	
Computadora	55
Monitor 17" color	100
Monitor de 17", pantalla líquida	45
Computadora Laptop	25
Impresora de inyección	35
Impresora de matriz de punto	200
Impresora láser	900
Fax (papel claro)	
En espera	5
Imprimiendo	50
Máquina de escribir eléctrica	200
Sumadora eléctrica	8
Sacapuntas eléctrico	60

El consumo eléctrico mensual, además de la potencia que utiliza los equipos al estar encendidos, depende también del tiempo al día que se utilizan.

Un ejemplo de consumo típico es el siguiente:

Iluminación:	400 Watts	8	Hrs. diarias:	96.0 kW/mes
Refrigeración	510 Watts	6	Hrs. Diarias:	76.5 kW/mes
Televisión:	160 Watts	6.5	Hrs. diarias:	31.2 kW/mes
Plancha:	1200 Watts	25	Min diarios:	15.0 kW/mes
Lavadora:	240 Watts	1.5	Hrs. diarias:	10.8 kW/mes
Otros:	600 Watts	1	Hrs. diarias:	18.0 kW/mes

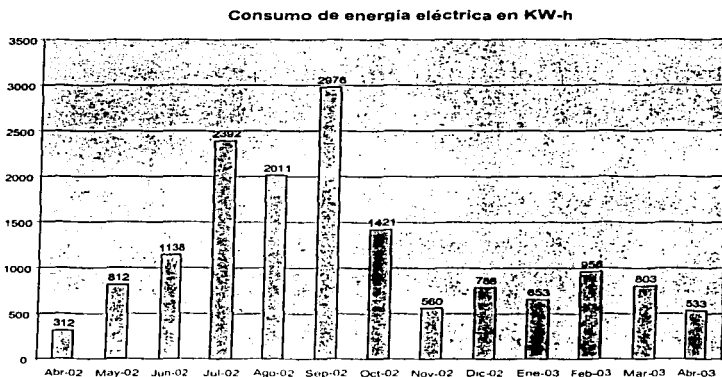
**TOTAL MENSUAL:**

**247.5 kW/mes**

Aproximadamente este hogar consume 8,250.0 Watts cada día, si suponemos que se distribuyen en aproximadamente 16 horas, cada hora tiene un consumo de 515.63 watts. Este dato es representativo de una vivienda pequeña con 3 a 4 miembros en la familia, sin equipamiento especial. A continuación presentaremos otro comportamiento de consumo considerablemente superior.

### 3.2 Temporalidad de consumo y consumo pico

Este ejemplo de la temporalidad del consumo eléctrico se determinó de una casa residencial en Cd. Juárez, Chihuahua, dicha vivienda está equipada con aire acondicionado y calefacción. Creemos que es representativo del clima árido y la alta exposición a la radiación solar, lo que hace válido el análisis de sustitución de electricidad por celdas fotovoltaicas.



Gráfica 3-2.1 Temporalidad de consumo casa residencial en Cd. Juárez.

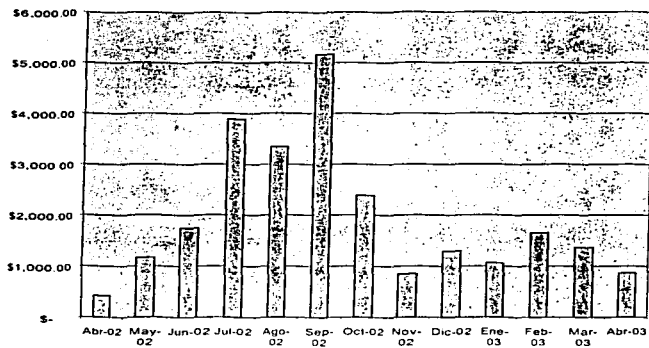
Un criterio importante fue determinar la proporción del consumo mensual que estuvo por debajo de los 500 kWh, que corresponde una tarifa de \$1.517 por kWh y que en este caso estaba cerca del consumo mínimo en los meses de abril y noviembre de cada año. En la gráfica 3.2.1 presentamos la demanda eléctrica, destacándose la concentración en los meses de julio, agosto y septiembre.

El consumo anual de la unidad fue de 15,043 kWh. En ella habitan 5 personas, lo que da una razón de 3,008 kWh por año per cápita, muy por encima del promedio anual en México. El valor del consumo de acuerdo a las tarifas del último año fue de \$24,751. En los meses de julio a septiembre se concentra el 40% del valor anual de la facturación.

La tarifa superior a los 500 kWh mensuales se incrementa en un 28%, desde 1.517 a 1.95 \$/kWh. Por lo tanto, el consumo por encima de los 500 kWh representa el 60% de la demanda en kWh, y el 71% del valor de la facturación, y se concentra en un 40% en los meses de verano. Por lo tanto, tiene sentido buscar una fuente alternativa de generación de electricidad que aporte 9,043 kWh que nos cuesta \$17,633 a pesos actuales y cuya operación dependa de la exposición solar, más intensa durante el verano:



### Costo del consumo eléctrico



Gráfica 3.2.2 Costo del consumo eléctrico en moneda nacional.

## Estadística de temporalidad de consumo eléctrico en casa habitación

Ubicación: Cd. Juárez, Chihuahua

Mes	kWh	\$/kWh	Consumo Total	% de costo / total	Excedente a 500 kWh	% kWh Excedentes	Costo Incremental
May-02	812	1.4322	\$ 1,162.95	4.70%	312	2.07%	\$ 608.40
Jun-02	1138	1.5283	\$ 1,739.21	7.03%	638	4.24%	\$ 1,244.10
Jul-02	2392	1.6244	\$ 3,885.56	15.70%	1892	12.58%	\$ 3,689.40
Ago-02	2011	1.6626	\$ 3,343.49	13.51%	1511	10.04%	\$ 2,946.45
Sep-02	2976	1.7348	\$ 5,162.76	20.86%	2476	16.46%	\$ 4,828.20
Oct-02	1421	1.6775	\$ 2,383.73	9.63%	921	6.12%	\$ 1,795.95
Nov-02	560	1.5140	\$ 847.84	3.43%	60	0.40%	\$ 117.00
Dic-02	786	1.6434	\$ 1,291.71	5.22%	286	1.90%	\$ 557.70
Ene-03	653	1.6269	\$ 1,062.37	4.29%	153	1.02%	\$ 298.35
Feb-03	958	1.7215	\$ 1,649.20	6.66%	458	3.04%	\$ 893.10
Mar-03	803	1.6954	\$ 1,361.41	5.50%	303	2.01%	\$ 590.85
Abr-03	533	1.6161	\$ 861.38	3.48%	33	0.22%	\$ 64.35
	<b>15043</b>		<b>\$24,751.60</b>	<b>100.00%</b>	<b>9043</b>	<b>60.11%</b>	<b>\$ 17,633.85</b>

Promedio de radiación solar x día: 5.9 kWh/m<sup>2</sup>

### 3.3 Características del servicio eléctrico convencional

Esta sección tiene como objetivo identificar desde un punto de vista técnico y económico el sistema convencional de electricidad. Con esta información se generará la base comparativa de disponibilidad, voltaje y costo.

Dado que en México por ley los únicos proveedores de energía eléctrica doméstica son Luz y Fuerza del Centro y la Comisión Federal de Electricidad todas las características técnicas y tarifas son referenciadas de ésta última.

Las características documentadas para el estudio son:

- Fases y voltaje
- Disponibilidad
- Costo

### 3.3.1 Definición del servicio doméstico

El servicio doméstico se ofrece en la modalidad de monofásico a 110 V y 220 V. Dependiendo de la capacidad de la red de distribución y los estudios de carga documentados, para efectos de la contratación es que la Comisión Federal de Electricidad asigna el voltaje disponible.

Para definir los tiempos se muestra la siguiente tabla que contiene los compromisos de servicio:

Compromiso	Siglas	Descripción	Unidad	Urbano	Rural
1 Restablecimiento de suministro individual	RSI	Tiempo máximo para restablecer el suministro a clientes servidos con acometida individual en baja tensión	Hora	10	30
2 Restablecimiento de suministro sector fuera	RSS	Tiempo máximo para restablecer el suministro a todos los clientes alimentados de un sector o área de distribución fallada	Hora	4	10
3 Restablecimiento de suministro en alimentador de media tensión	RSM	Tiempo máximo para restablecer el suministro a todos los clientes alimentados de un circuito, o un servicio individual, de media tensión	Hora	2	5
4 Máxima espera en fila	MEF	Tiempo máximo que un cliente debe esperar en fila para recibir atención	Minuto	15	15
5 Atención de solicitudes de suministro para servicios especiales y electrificación	SSE	Tiempo máximo para dar una respuesta por escrito a una solicitud de suministro especial o de electrificación	Días	10	14
6 Atención de solicitudes de suministro para servicios en media tensión y fraccionamientos	SMT	Tiempo máximo para dar una respuesta por escrito a una solicitud de suministro en tensiones mayores de 1 kV y menores a 35 kV o a una solicitud de fraccionadores, en ambos casos para cargas hasta de 500 kVA	Días	10	14
7 Conexión de nuevos suministros en tarifas 1 y 2	CT1	Tiempo máximo para conectar nuevos suministros en tarifas 1 y 2, cuando no es necesario construir o modificar la red de distribución	Días	2	7
8 Conexión de nuevos suministros en tarifas de media tensión	CMT	Tiempo máximo para conectar un suministro en tensiones mayores de 1 kV, pero menores o iguales a 35 kV, cuando no es necesario construir o modificar la red de distribución	Días	3	5
9 Atención de inconformidades por alto consumo	IAC	Tiempo máximo para dar respuesta a un cliente que presenta en la unidad comercial, el centro de servicios al cliente o el módulo CFEmático una inconformidad por alto consumo	Días	4	5
10 Reconexión de servicios cortados por falta de pago	RSC	Tiempo máximo para reconectar un suministro en baja o en media tensión que fue cortado por falta de pago	Días	1	3
11 Construcción de obras y conexión de suministros derivados de solicitud de servicio especial	COC	Tiempo máximo para la construcción de obras y conexión de suministros que requieren una solicitud especial, en baja o en media tensión, individual o colectiva, para cargas hasta 500 kVA.	Días	30	45

Tabla 3.3.1 Compromisos de Servicio Comisión Federal de Electricidad

Para efectos de facturar y cobrar los servicios entregados a casas habitación (servicio doméstico) la Comisión Federal de Electricidad tiene tipificados dos rubros de tarifas:

- Tarifa doméstica
- Domésticas de alto consumo

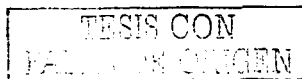


Dentro de las clasificaciones de cada rubro, se aplica un criterio de temperatura máxima de verano para ciertas zonas geográficas, dado que se reconoce que el consumo por aparatos de acondicionamiento de aire hacen de las zonas de alta temperatura una necesidad y por lo tanto un consumo mucho más elevado que aquellas zonas de baja temperatura.

Los servicios domésticos se establecen para cargas conectadas individualmente a cada residencia, departamento, departamento en condominio o vivienda.

TARIFA	LIMITES	PRECIO	BLOQUE	TEMPERATURA	MINIMO MENSUAL
<b>1</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 513	Hasta 75 kW-h	N/A	25 kW-h
Consumo intermedio	140 Kilowatts-hora	\$0 616	Por cada kW-h adicional	N/A	
Consumo básico	Consumo mayor a	\$0 513	Hasta 75 kW-h	N/A	
Consumo intermedio	140 Kilowatts-hora	\$0 655	Por los siguientes 50 kW-h adicionales	N/A	
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores	N/A	
<b>1A</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 453	Hasta 100 kW-h	Media mínima 25° C	25 kW-h
Consumo intermedio	150 kilowatts-hora	\$0 527	Por cada kW-h adicional		
Consumo básico	Consumo mayor a	\$0 453	Hasta 100 kW-h		
Consumo intermedio	150 Kilowatts-hora	\$0 674	Por los siguientes 50 kW-h adicionales		
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores		
<b>1B</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 453	Hasta 125 kW-h	Media mínima 28° C	25 kW-h
Consumo intermedio	275 kilowatts-hora	\$0 527	Por cada kW-h adicional		
Consumo básico	Consumo mayor a	\$0 453	Hasta 125 kW-h		
Consumo intermedio	275 Kilowatts-hora	\$0 674	Por los siguientes 75 kW-h adicionales		
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores		
<b>1C (solo baja tensión)</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 453	Hasta 150 kW-h	Media mínima 30° C	25 kW-h
Consumo intermedio	150 Kilowatts-hora	\$0 527	Por cada kW-h adicional		
Consumo básico	Consumo mayor a	\$0 453	Hasta 150 kW-h		
Consumo intermedio	150 kilowatts-hora	\$0 674	Por los siguientes 300 kW-h adicionales		
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores		
<b>1D (solo baja tensión)</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 453	Hasta 175 kW-h	Media mínima 31° C	25 kW-h
Consumo intermedio	400 kilowatts-hora	\$0 527	Por cada kW-h adicional		
Consumo básico	Consumo mayor a	\$0 453	Hasta 175 kW-h		
Consumo intermedio	400 kilowatts-hora	\$0 674	Por los siguientes 425 kW-h adicionales		
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores		
<b>1E (solo baja tensión)</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 453	Hasta 300 kW-h	Media mínima 32° C	25 kW-h
Consumo intermedio	750 kilowatts-hora	\$0 527	Por cada kW-h adicional		
Consumo básico	Consumo mayor a	\$0 453	Hasta 300 kW-h		
Consumo intermedio	750 kilowatts-hora	\$0 674	Por los siguientes 600 kW-h adicionales		
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores		
<b>1F (solo baja tensión)</b>					
Consumo básico	Consumo Máximo	\$0 366	Hasta 300 kW-h	Media mínima 33° C	25 kW-h
Consumo intermedio	1200 kilowatts-hora	\$0 483	Por cada kW-h adicional		
Consumo básico		\$0 366	Hasta 300 kW-h		
Consumo intermedio bajo	Consumo mayor a	\$0 610	Por los siguientes 900 kW-h adicionales		
Consumo intermedio alto	1200 kilowatts-hora	\$1 131	Por los siguientes 1300 kW-h adicionales		
Consumo excedente		\$1 793	Por cada kW-h adicional a los anteriores		
<b>DAC (De Alto Consumo)</b>	<b>LIMITES</b>				
Tarifa 1	250 kW/hmes				25 kW-h
Tarifa 1A	300 kW/hmes				
Tarifa 1B	400 kW/hmes				
Tarifa 1C	850 kW/hmes	N/A	N/A	N/A	
Tarifa 1D	1000 kW/hmes				
Tarifa 1E	2000 kW/hmes				
Tarifa 1F	2500 kW/hmes				

Tabla 3.3.2 Tarifas correspondientes al mes de mayo del 2003



Región	Cargo Fijo	Temporada de Verano		Temporada Fuera de Verano	
		Rango de consumo mensual (\$/kWh)		Rango de consumo mensual (\$/kWh)	
	\$/mes	1- 500	Excedentes	1- 500	Excedentes
Baja California	\$ 41.45	\$ 1.743	\$ 2.173	\$ 1.501	\$ 2.098
Baja California Sur	\$ 41.45	\$ 1.902	\$ 2.306	\$ 1.501	\$ 2.098
Noroeste	\$ 41.45	\$ 1.767	\$ 2.137	\$ 1.615	\$ 2.098

Región	Cargo Fijo	Rango de consumo mensual (\$/kWh)	
		1- 500	Excedentes
	\$/mes		
Central	\$ 41.45	\$ 1.793	\$ 2.098
Norte y Noreste	\$ 41.45	\$ 1.632	\$ 2.098
Sur y Peninsular	\$ 41.45	\$ 1.661	\$ 2.098

Tabla 3.3.3 Tarifas de alto Consumo por regiones

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

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

### **3.4 Fuentes alternativas de energía.**

En el capítulo 1 se enuncian las diferentes modalidades de energía alternativa y su clasificación en función del origen: renovables y no renovables, en esta sección daremos mas detalles de las fuentes alternativas de energía y más específicamente de su utilización en nuestro país.

La demanda de energía se ha incrementado como resultado de la dinámica de la economía mundial y las expectativas a mediano plazo plantean que seguirá en aumento, utilizando en su mayor parte combustibles fósiles. No se ven posibilidades en un plazo razonable de que puedan ser sustituidos en forma significativa por otras fuentes de energía.

Por otra parte, el crecimiento demográfico y la expansión de las zonas urbanas abren expectativas de nuevas oportunidades de inversión en dichas áreas territoriales, en donde la mayor demanda se centra en el suministro de combustibles (gas natural, gasolina y/o gas L.P.) y alumbrado público. La demanda de petróleo crudo ha crecido al mismo tiempo que crece la producción industrial y la demanda de gasolinas y diesel.

Por su parte, la demanda de gas natural, que se obtiene de yacimientos asociados al petróleo o en un estado seco, ha crecido y seguirá creciendo incluso más rápidamente que la demanda de petróleo, por ser un combustible de mayor poder calorífico y más amable para el medio ambiente.

Siendo la energía una fuente básica para el bienestar humano, luz, refrigeración, aire acondicionado, agua caliente, etc., el acceso a las diversas fuentes de energía es fundamental para

combatir la pobreza. Además de ser una de las actividades económicas más importantes de México y la fuente principal del ingreso público.

Cada es mayor la relación entre energía, economía y medio ambiente, componentes clave para garantizar el desarrollo de cualquier país, esta relación ha provocado que diversas empresas del ramo energético tanto del sector público y privado piensen en invertir a futuro en obtener energía limpia utilizando fuentes de energía renovable dada la limitación que a corto plazo puede ser el sobreconsumo de fuentes de energía no renovable.

México ofrece condiciones favorables para la incorporación de las energías renovables en su esquema de oferta energética ya que los recursos energéticos renovables en el país son abundantes y variados, además las tecnologías para la explotación de esos recursos han alcanzado, en el plano internacional, un grado de desarrollo tal que ya muestran una penetración significativa en nichos de mercado.

Entre las energías renovables y su utilización en nuestro país tenemos las siguientes:

### **3.4.1 Biomasa**

Esta tecnología emplea la materia orgánica susceptible de ser utilizada como energía (desechos sólidos municipales, desechos agropecuarios y residuos del bosque). El aprovechamiento de la biomasa como energético puede realizarse vía combustión directa o mediante la conversión de la biomasa en diferentes combustibles a través de digestión anaerobia, pirólisis, gasificación y fermentación. Diversos estudios realizados por la CONAE, valoran el potencial de aprovechamiento

de este recurso, entre ellos se encuentra la caracterización del biogas generado por residuos sólidos urbanos, y el análisis de la viabilidad técnica y económica en el empleo del bagazo de caña para generación eléctrica en los ingenios azucareros del país.

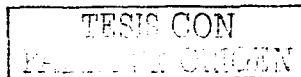
El IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas) estima una producción de residuos sólidos municipales en el país de 90,000 toneladas diarias, con lo que se podría soportar una capacidad de generación aproximada de 150 MW.

En el 2001 se cuenta con dos permisos autorizados por la CRE (Comisión Reguladora de Energía) para la explotación de biogas de rellenos sanitarios municipales con fines de generación eléctrica. Lo cual representa 11 MW de capacidad instalados y una generación potencial de 54 GWh. Adicionalmente, existen 22 permisos autorizados para generar energía eléctrica en sistemas híbridos, combustóleo-bagazo de caña, con una capacidad total de 201 MW y 350 GWh de generación.

Los costos de inversión en proyectos con esta tecnología se encuentran en un rango de 630 a 1,170 dólares por kW instalado, con lo que la electricidad producida tiene un costo de 4 a 6 centavos de dólar por kWh generado.

### **3.4.2 Eólica**

La energía cinética del viento se aprovecha para hacer trabajo mecánico o para generar electricidad como en molinos y pozos. Los actuales aerogeneradores comerciales de fuerza se



encuentran disponibles desde 500 hasta 1,500 kW de potencia nominal; al día de hoy, existen prototipos de hasta 3,000 kW.

El potencial eólico del país no ha sido evaluado con precisión, sin embargo, las mediciones puntuales o de pequeñas redes anemométricas, realizadas principalmente por el IIE, estiman un potencial superior a los 5,000 MW económicamente aprovechables en zonas identificadas; sur del Istmo de Tehuantepec (con potenciales de 2,000 a 3,000 MW); en las penínsulas de Baja California y Yucatán; la región central del altiplano y las costas del país.

Los avances en el desarrollo de esta tecnología comprenden:

- La instalación de CFE de un equipo de 0.60 MW en la población de Guerrero Negro, BCS.
- La instalación de una máquina de 0.55 MW por la empresa Cementos Apasco en Ramos Arizpe, Coahuila.
- La construcción por CFE de una central de 1.6 MW en la Venta, Oaxaca.

Existe registro de poco más de 3 MW instalados en pequeños generadores y aerobombas de agua, que en el 2000 generaron cerca de 10.5 GWh. Además de estas instalaciones, y de acuerdo con los permisos autorizados por la CRE, se espera que en este año 2003 se adicione cuatro proyectos con una capacidad de 121 MW y una generación potencial de 391 GWh. En el 2010 se espera contar con 187 MW eólicos instalados, que representarán 608 GWh de generación eléctrica.

En la actualidad los costos típicos de inversión en instalaciones eólicas son aproximadamente de 1,000 dólares por kW instalado y los costos de generación entre 5 y 11 centavos de dólar por kWh, con múltiples beneficios económicos y ambientales.

### **3.4.3 Geotérmica**

Es una alternativa tecnológica que debe incrementarse en México, el cinturón volcánico del país es la región con mayor potencial geotérmico (Sierra de Chihuahua y algunas regiones de la península de Baja California). Su principal limitante es el alto costo de en infraestructura, ya que requiere de equipo especializado con alta resistencia para perforar pozos en roca volcánica dura de zonas muy calientes.

Si bien es cierto que la geotermia desprende residuos de azufre y bióxido de carbono, el impacto ambiental es mucho menor al de una planta térmica convencional.

### **3.4.4 Hidráulica**

Las pequeñas caídas y corrientes de agua existentes en el país, ofrecen la posibilidad de generación eléctrica en pequeños emplazamientos. Estudios del IIE en canales de riego, consideran un potencial económicamente aprovechable, superior a 3000 MW.

Investigaciones realizadas por la CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) han identificado 100 sitios para el aprovechamiento de este recurso, dentro de una región que comprende los estados de Veracruz y Puebla, estimando una generación de 3,570 GWh anuales, equivalente a una capacidad media de 400 MW.

La CONAE promueve, entre particulares, el desarrollo de este tipo de proyectos, demostrando que la rehabilitación de centrales minihidroeléctricas es rentable. Dichos proyectos cuentan con una potencia instalada menor a los 10 MW y se localizan en pequeños ríos, además de que no requieren grandes presas ni cuantiosas inversiones.

Los permisos de generación minihidroeléctrica autorizados por la CRE, indican que al cierre del 2001 se contarán con seis permisos en operación, representando 22.3 MW instalados, con una generación potencial de 98.2 GWh. Para el año 2010, se espera contar con 225 MW instalados y 972 GWh de generación.

Los costos de instalación dependen principalmente de las características físicas del sitio donde se realizará el proyecto. El rango de valores para una inversión es de 800 a 60,000 dólares por kW instalado, con costos de generación de 3 a 45 centavos de dólar por kWh.

#### **3.4.5 Hidrógeno**

Aunque el principio de funcionamiento de las celdas de hidrógeno o de combustible (C. de C.) fue descubierto en el año de 1839, por William Grove, jurista y físico aficionado británico, no fue hasta principios de los años de 1960 en que fue aplicada en las misiones espaciales de la Nasa, Apolo y Geminis, para suministrar energía eléctrica y agua potable y la industria las reconoció como una opción técnica, pero en ese momento enfrentaban aún barreras tecnológicas y altos costos de producción.

En años más recientes, alrededor de 60 empresas en todo el mundo, de las cuales siete de éstas se encuentran dentro de las 10 más grandes del mundo en cuanto a ganancias se refiere, trabajan en su investigación, desarrollo y determinación de sus potenciales aplicaciones, con el objeto de hacerlas más confiables, durables y reducir su costo. Se considera que esta tecnología revolucionará el mundo como en su momento lo hizo el motor de combustión interna, teniendo impactos positivos tanto económicos como en el medio ambiente.



Pero ¿qué es una celda de combustible?, son equipos que a través de las reacciones electroquímicas, la reducción del oxígeno y la oxidación de un combustible (regularmente hidrógeno), transforman la energía química de estos elementos, en eléctrica y calorífica.

El combustible al fluir en la celda a través del electrodo negativo, y mediante un catalizador de platino que propicia la separación del hidrógeno en iones, siendo éstos transportados a través de un electrolito, los que alcanzan el electrodo positivo, al combinarse con el oxígeno generan agua. Los electrones que no cruzan a través del electrolito fluyen por un circuito eléctrico externo con lo que se genera un voltaje, que al conectar una carga produce una corriente eléctrica.

Los motores de combustión interna, las baterías, y las C. de C. tienen en común que son dispositivos transformadores de energía. Los primeros de éstos, que proveen de energía a prácticamente todos los automóviles que circulan en las carreteras del mundo, generan ruido, ocasionado por las explosiones a alta temperatura del proceso de combustión, transformando la energía química del combustible en térmica y ésta a la vez en mecánica, y en ocasiones en eléctrica cuando se acopla un generador.

Las baterías y las C. de C. tienen funcionamientos similares, y por su naturaleza son más eficientes pues convierten directamente la energía química del combustible en eléctrica, pues los motores de combustión interna al involucrar la conversión de energía térmica se limitan a la eficiencia del Ciclo de Carnot.

Ambos dispositivos pueden alimentar a los automóviles eléctricos actuales, con requerimientos mínimos de mantenimiento, al no tener partes móviles. Sin embargo, cuando se terminan los reactivos en las baterías, estas se tienen que reemplazar o recargar. En una C. de C. esto no

sucede, pues los reactivos son alimentados en forma continúa, por lo cual tendremos disponibilidad de energía como la tengamos de reactivos, y presentan ventajas tales como menor peso y tamaño, rápido abastecimiento y mayor rango de autonomía.

Además se pueden utilizar una gran variedad de combustibles, como hidrógeno, gas natural, etanol, metanol, gasolinas reformadas. Asimismo, en los procesos de obtención de hidrógeno por electrólisis del agua, se pueden emplear fuentes renovables de energía, como la fotovoltaica, la eólica y la minihidráulica.

El uso de cada uno de estos combustibles representa diferentes oportunidades en cuanto a su disponibilidad, producción, almacenamiento, costo, seguridad, infraestructura de distribución y atributos medioambientales.

Las aplicaciones no espaciales de estos equipos, pueden agruparse en tres categorías: transporte y plantas de generación fijas y móviles. Alrededor del mundo los principales fabricantes de automóviles cuentan con programas de investigación y desarrollo de la tecnología.

Experiencias las encontramos en el NECAR 4 y el NEBUS desarrollados por la empresa Daimler-Chrysler, el primero de ellos, a partir del Mercedes Benz Clase A, alimentado por una C. de C. que consume hidrógeno líquido. Actualmente en forma experimental, se encuentra brindando servicio de traslado a personalidades y pilotos en el Aeropuerto de Munich, Alemania, es considerado como de "Vehículo Cero Emisiones", alcanzando una velocidad máxima de 145 km/h, con una autonomía de 450 km y un espacio para cinco pasajeros y su equipaje. El segundo de éstos es un prototipo aún, pero se han reportado eficiencias de conversión de energía de hasta un 55%, casi un 15% mayor que un motor Diesel. Otros ejemplos, se encuentran en los autobuses experimentales de

transporte público, que circulan por las calles de Chicago y de Vancouver, que a casi de un año de funcionamiento han arrojado resultados y experiencias de su comportamiento en condiciones normales de tráfico.

En lo que respecta a plantas de generación las aplicaciones son variadas, desde pequeñas celdas para alimentar teléfonos celulares, pequeños equipos electrónicos, hasta unidades de 200 kW, para alimentar de energía eléctrica a industrias o zonas habitacionales. En la actualidad existen alrededor de 200 instalaciones de este tipo alrededor del mundo con resultados favorables.

Una de las mayores ventajas del uso de las C. de C. es el bajo nivel de emisiones, siendo esto uno de los principales motivos por lo que se ha impulsado tanto su investigación y desarrollo. Al utilizar hidrógeno, el único producto de la reacción es vapor de agua, y uno de los objetivos perseguidos, con esto es obtener "Vehículo Cero Emisiones".

Otras tecnologías de C. de C., usando metanol o gasolinas reformadas, que estrictamente no se considera como de cero emisiones han demostrado que sus emisiones de CO<sub>2</sub> son significativamente menores que las de un motor de combustión interna y sólo existen rastros de otros contaminantes.

Asimismo, en lo que respecta a la producción de los posibles combustibles empleados, es factible el uso de energías renovables, como la solar, la biomasa, y no necesariamente como mediante el proceso de electrólisis.

Estos aspectos aunados a la mayor eficiencia en el uso de los combustibles, colocan a las C. de C. como una de las más viables, para ser el sistema de propulsión de los vehículos del futuro y la generación de energía, disminuyendo los impacto negativos de estas actividades humanas.

### 3.4.6 Solar

El potencial de aprovechamiento de energía solar en México es uno de los más altos del mundo, alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con una insolación media del orden de los 5 kWh/m<sup>2</sup> al día, el doble del promedio en EUA.

La generación de electricidad a partir de energía solar comúnmente se realiza mediante la utilización de dos tipos de sistemas; fotovoltaicos (conversión directa) y termosolares (calentamiento de fluidos con ayuda de concentradores) El uso de los sistemas fotovoltaicos para suministrar energía eléctrica para uso doméstico es el motivo de esta tesis, por lo que los costos de instalación conocidos en México deberán ser analizados así como la factibilidad económica dependiendo de la zona geográfica en donde se aplique.

La CONAE estima que para el año 2010 se cuente con 24 MW instalados y 13 GWh de generación.

## **Suministro eléctrico mediante energía solar**

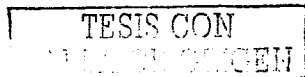
### **4.1 Diseño teórico de la propuesta**

#### **4.1.1. Consideraciones de Diseño y Selección**

Para efectos de enfocar el contenido de este tema se asume en el presente estudio que el criterio técnico de solución es la adquisición y no la fabricación de los equipos necesarios para lograr la conversión, conducción y almacenamiento de la energía eléctrica obtenida dados los siguientes criterios:

- a) Dado que uno de los criterios es la comparación económica versus los sistemas actuales se define como un costo sustancialmente incremental al proyecto el considerar el diseño, construcción e instalación de tecnología de conversión
- b) El estudio contempla un esquema estandarizado de la solución, por lo que el recurrir a una oferta "estandarizada" en el mercado alinea el objetivo del estudio planteado
- c) Existencia de una oferta amplia en el mercado
- d) Madurez y calidad de los sistemas de conversión disponibles en el mercado

Dado lo anterior y para mantener una base técnica y económicamente comparable con los sistemas actuales (costo) se establece entonces que los equipos a analizar son parte de una oferta comercial.



Ahora bien, dado que se reconoce que existe una oferta amplia y de alta calidad en el mercado, el estudio contempla definir el proceso y los criterios de selección, es decir, dada la solución propuesta, los objetivos, requerimientos técnicos y restricciones económicas se definen los pasos y criterios específicos de selección en la fig. 4.1.1

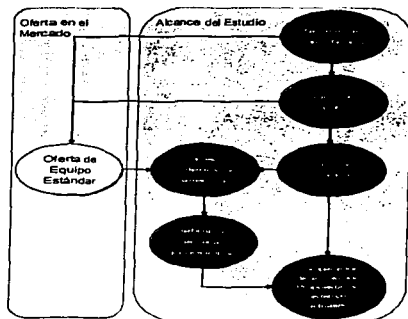


Fig. 4.1.1 Esquema de Análisis y Selección

Se define el equipo estándar como la suma de los siguientes elementos:

Paneles solares, Inversor, Baterías y Equipo de monitoreo y control.

Dentro de la oferta disponible en el mercado existen tres tipos de sistemas:

- Sistema Independiente
- Unido a la red de suministro
- Portátil

El siguiente diagrama describe el proceso de selección aplicable para efectos de realizar un comparativo detallado que cumpla con los criterios establecidos y lograr así la mejor selección conforme a los requerimientos establecidos



Fig. 4.4.7 Diagrama del proceso de selección

#### 4.1.2 Selección de la propuesta para suministro de electricidad mediante energía solar

De los sistemas disponibles en el mercado y del objetivo planteado en este estudio se define entonces como solución estándar y enfoque de análisis, los sistemas unidos a la red convencional.

Dada la solución estándar como un sistema unido a la red convencional se presentan las siguientes opciones como soluciones específicas

#### **4.1.2.1 Sistemas conectados a la red sin baterías**

Este tipo de sistemas cuentan con los siguientes componentes básicos

- *Medidor*

Equipo que registra el consumo de energía eléctrica proveniente de la red de suministro tradicional. El medidor gira hacia delante cuando la electricidad consumida es proveniente de la red tradicional, y es capaz de girar hacia atrás cuando la demanda de consumo es inferior a la generación solar y ésta es entregada a la red de suministro. Se asume que este equipo forma parte del sistema original de la casa habitación.

- *Centro de Carga / interrupción*

Dado que en el sistema eléctrico se registrarán cargas de diversos aparatos y se contaría con diversas fuentes de suministro es importante proteger el balance y límite de carga de todo el sistema. Es por ello que posterior al medidor sea instalado un centro de interrupción.

El centro de interrupción se considera para uso doméstico en dos versiones de voltaje 110 V y 220V.

En ambos casos son considerados los siguientes elementos:

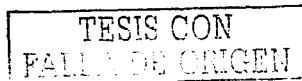
Caja de protección

Cuchillas de corte

Base para fusibles

Fusibles (usualmente para 110 V se consideran a 30 amp para 220 V se consideran a 60 amp)

Se asume que este equipo forma parte del sistema original de la casa habitación.





- *Arreglo de celdas solares*

Véase capítulo 2

- *Inversor*

Estos equipos convierten la energía almacenada en las baterías o generada por los paneles solares que está en forma de corriente directa (CD) a corriente alterna (CA) 60Hz.

Los inversores se presentan en dos modalidades básicas: Onda Cuadrada y Onda Senoidal. La mayoría de los inversores comerciales trabajan bajo un esquema de onda cuadrada modificada (figura 4.1.2.1) La mayoría de los aparatos que consumen corriente alterna (AC) pueden trabajar de manera adecuada con los inversores de onda cuadrada, sin embargo equipos como impresoras laser que utilizan triacs y/o rectificadores de silicio son afectados. Sin embargo, el costo de estos equipos es significativamente más bajo que el de los equipos de onda senoidal.

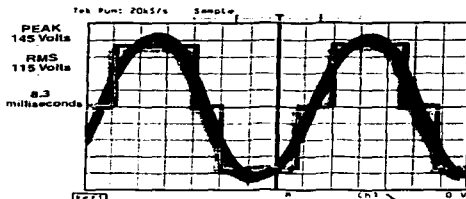


Figura 4.1.2.1 onda cuadrada modificada

Una gran ventaja de los inversores de onda senoidal es que permiten a los equipos como motores arrancar con menor demanda o consumo y una operación más eficiente y de menor temperatura.



Fig. 4.1.2.2 Inversores

#### **Ventajas:**

- La potencia excedente se "vende" haciendo girar el medidor en reversa
- Instalación sencilla ya que sólo son dos componentes
- Alta eficiencia

#### **Desventajas:**

- No se cuenta con una fuente de energía de respaldo

#### **4.1.2.2 Sistemas conectados a la red con baterías**

Este tipo de sistemas cuentan con los siguientes componentes básicos además de los mencionados en los sistemas conectados a la red sin baterías:

- *Control de carga de baterías o Panel de control*

El panel cumple dos funciones principales, prevenir la sobrecarga de las baterías y evitar que la energía acumulada en las baterías se descargue a los paneles solares por las noches. Los paneles de control también cumplen la función de aprovechar al máximo la carga y descarga de las baterías.



Figura 4.1.2.2 Panel de visualización (izq.) controlador de carga (der.)

Algunas de las funcionalidades específicas con las que cuentan los paneles de control son:

Selección de voltaje (12 o 24 V CD)

Prevención de corriente inversa (descarga nocturna)

Compensación de temperatura

Carga de baterías

Monitoreo de carga

- *Banco de baterías*

Las baterías almacenan la energía generada de las celdas solares y se descargan conforme la demanda de carga identificada. Usualmente se instalan en grupos o en bancos, se pueden conectar en serie o paralelo dependiendo de la potencia máxima identificada a suministrar.

Existen 4 tipos básicos de baterías:

Por aplicación

- Húmedas – Contienen un electrolito (ácido en agua)
- Húmedas de ciclo profundo – Existen 2 subdivisiones

- o Arranque
- o Ciclo profundo de alta eficiencia

Las baterías de arranque son utilizadas en aquellos casos donde la demanda de carga está orientada a la alimentación de motores.

Las baterías de ciclo profundo de alta eficiencia están diseñadas para entregar un amperaje estable durante un largo tiempo con una rápida reacción de recarga. Usualmente este tipo de baterías soportan entre 700 y 800 ciclos de descarga/carga.

Por construcción

- Selladas
- Selladas en gel

Por su combinación de precio y eficiencia las más usadas para aplicaciones de suministro doméstico son las Húmedas de ciclo profundo de alta eficiencia.

Las baterías operan en corriente directa (CD). Comercialmente las más utilizadas se encuentran en versiones de 6, 12 y 24 volts.



*Figura 4.1.2.3 Batería húmeda de ciclo profundo de alta eficiencia*

**Ventajas:**

- Proveen una fuente de energía de respaldo
- La energía almacenada durante el día es utilizada por la noche

**Desventajas:**

- Las baterías representan un costo adicional a la inversión inicial
- La eficiencia del sistema baja cuando las baterías se están cargando
- Se requiere instalar componentes adicionales
- Es necesario adecuar un espacio apropiado para la colocación y alojamiento de las baterías

**4.1.2.3 Conclusiones**

Dadas las ventajas de estos sistemas consideramos que el sistema interconectado a la red sin baterías es el adecuado ya que es el más eficiente y fácil de instalar como sistema alternativo de suministro de energía.

De las desventajas de estos sistemas consideramos que la inversión inicial de un sistema con baterías se eleva considerablemente por el costo de las baterías así como el costo de la adecuación de un espacio apropiado para su colocación.

En cuanto a la inversión inicial a continuación presentamos un comparativo de estos sistemas con potencias similares:

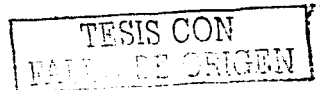
SAECSA

Modelo "Modular CA 3000"

Sistema conectado a la red con baterías con una producción de hasta 4kwh diarios

\$158,775.00

En términos de valor unitario: producir 1 wh cuesta \$39.70



Trace Engineering

Modelo ST-XR1,000

Sistema conectado a la red sin baterías con una producción de hasta 4.3kwh diarios es de \$88,127.00

En términos de valor unitario: producir 1wh cuesta \$20.50

En conclusión y de acuerdo al análisis, se recomienda la instalación de un sistema interconectado a la red sin baterías.

#### **4.1.3 Funcionamiento del sistema interconectado a la red sin baterías**

Se definió como solución específica un sistema interconectado a la red sin baterías considerando que es la oferta más económica disponible en México así como la más simple y efectiva manera de conectar los módulos de Celdas Fotovoltaicas a la red de suministro.

El funcionamiento de este sistema se describe a continuación:

Toda la corriente generada por los paneles solares se convierte a corriente alterna a través de un inversor, posteriormente éste se conecta al panel principal de interruptores domésticos, donde se encuentra con la corriente generada por la red de suministro que proviene del medidor. Cuando la potencia generada por los paneles solares es mayor a la potencia requerida por la casa, la corriente excedente es forzada a circular en sentido contrario a través del medidor de corriente, provocando el giro en reversa del medidor. Esta energía entonces será una "venta" a la red de distribución convencional. Si la potencia entregada por los paneles solares es menor a la requerida por la casa, entonces ésta es la potencia que no tienes que adquirir de la compañía de suministro eléctrico y

por lo tanto ese faltante de potencia que no generaron los paneles solares es automáticamente suministrado por la red pública. Es como agua buscando su propio nivel. Cuando el sistema interconectado está empujando el exceso de energía a través del medidor, estás compensando la energía que se usará después. Se regresa electricidad durante el día y se usa durante la noche. Es como tratar a la red pública como a una batería 100% eficiente. En la figura 4.1.2.1 se muestra el sistema básico interconectado a la red sin baterías.

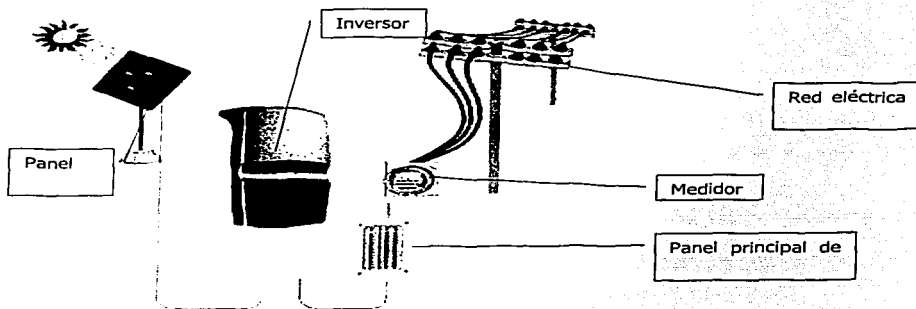


Fig. 4.4.7 Diagrama del proceso de selección

Como ejemplo del diseño para este trabajo se proponen los sistemas de Trace Engineering de segunda generación de la serie ST-XR.

Están disponibles en cuatro modelos de 1,000, 1,500, 2,000 y 2,500 watts. Los modelos de 1,500 y 2,500 incluyen interruptores de falla de tierra para los módulos, y los marcos requeridos para instalar los módulos en tu casa. Todos los modelos son nominales a 48 volts, operan con cualquier tecnología de celdas fotovoltaicas, y tienen dos años de garantía:

- ST-XR1,000. Este sistema incluye el inversor interconectado, ocho módulos de celdas fotovoltaicas de 120 watts, y un montaje de poste. Basado en el promedio anual americano de 5.5 horas de sol, este sistema entrega aproximadamente 4.3 kWh/día (aproximadamente el 50% del uso de un hogar en México). El arreglo de celdas puede ser montado separadamente de la casa. El alambrado, y el poste de tubería de acero de 6 " se suministran localmente. Precio de US\$ 7,440
- ST-XR1,500. Este sistema incluye el inversor, doce módulos de celdas fotovoltaicas de 120 watts, y dos montajes de techo. Basado en el promedio anual americano de 5.5 horas de sol, este sistema entrega aproximadamente 6.5 kWh/día (aproximadamente el 75% del uso de un hogar en México). El arreglo de celdas puede ser montado separadamente de la casa. El alambrado se suministra localmente. Precio de US\$ 10,630.
- ST-XR2,000. Este sistema incluye el inversor, dieciséis módulos de celdas fotovoltaicas de 120 watts, y dos montajes de poste. Basado en el promedio anual americano de 5.5 horas de sol, este sistema entrega aproximadamente 9.4 kWh/día (aproximadamente el 100% del uso de un hogar en México). El arreglo de celdas debe ser montada separadamente de la casa. El alambrado y un par de postes se suministran localmente. Precio de US\$ 13,050.
- ST-XR2,500. Este sistema incluye el inversor, veinticuatro módulos de celdas fotovoltaicas de 120 watts, y tres montajes de techo. Basado en el promedio anual americano de 5.5 horas de sol, este sistema entrega aproximadamente 13.3 kWh/día. El arreglo de celdas puede ser montado separadamente de la casa. El alambrado se suministra localmente. Precio de US\$ 18,750.

#### **4.2 Variantes de diseño por ubicación geográfica**

Básicamente el diseño no varía de acuerdo a la ubicación geográfica, sin embargo es necesario tomar en cuenta la latitud del lugar en donde se desee instalar estos sistemas ya que la potencia



generada de las celdas fotovoltaicas depende directamente de una correcta alineación con respecto al sol. La alineación de los paneles solares se verá en el siguiente inciso.

Por otro lado esta tecnología por ser modular, es capaz de crecer de acuerdo a los requerimientos de consumo, claro en el otro lado de la ecuación está la inversión para cubrir una demanda mayor de energía.

#### **4.2.1 Montaje de los módulos.**

**Soporte de los paneles:** La colocación de los paneles solares puede ser de las siguientes modalidades:

- a) Sobre techos inclinados, colocadas en forma paralela al techo
- b) En techos horizontales o a nivel del suelo
- c) Elevadas a cierta altura mediante un poste cimentado
- d) "Active or Passive Trackers" (siguen al sol, con mecanismos de fotoceldas y actuadores lineales)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En los tres primeros casos se requiere de una estructura metálica para soportar el panel, sin embargo hacerlo sobre techos inclinados no es recomendable ya que estamos sujetos a la orientación e inclinación del tejado. Será siempre preferible fabricar una estructura metálica independiente con un sencillo mecanismo para cambio de inclinación, que pueda ser empotrada al suelo o al techo de la casa, por lo cual la segunda opción es la más

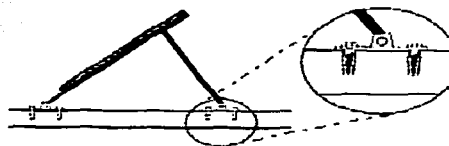


Fig 4...3.1 Empotramiento del panel

suelo son utilizadas cuando las dimensiones del panel son superiores a la estructura del edificio, éste no es el caso, por el contrario se trata de casas habitación donde es imprescindible evitar el contacto con otros objetos y niños. La tercer alternativa es sin duda la más costosa de estas tres, sólo se requiere cuando sea necesario evitar objetos que provoquen sombra o bien si la arquitectura de la casa es tal que sea imposible empotrar la estructura en el techo.

**Orientación:** En vista de que nuestro país se encuentra al norte del Ecuador, el Sol "se mueve" de Este a Oeste por el lado Sur, por lo tanto los paneles deben mirar hacia el Sur (Para sistemas instalados al sur del Ecuador, deben mirar hacia el norte) La determinación exacta de los puntos cardinales no es un factor crítico, dado que la variación de la insolación con la orientación es despreciable.

Para determinar con más precisión la orientación podemos apoyarnos en las brújulas, considerando la variación del polo magnético con respecto al norte geográfico de la Tierra (véase figura 4.3.2)

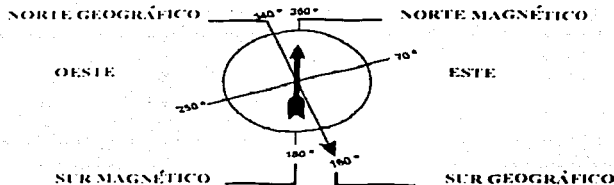


Fig. 4.3.2 Ángulo de declinación de 20°

Los sistemas son más productivos si los módulos son aproximadamente perpendiculares al sol del mediodía. El mejor ángulo para los módulos es aproximadamente igual a la latitud de la localización geográfica del sistema. Debido a que el ángulo del sol cambia estacionalmente, se puede ajustar el ángulo del montaje de manera correspondiente. En el invierno, los módulos deberán estar al ángulo de la latitud más aprox. 15 grados. En el verano, la inclinación será de tu latitud menos 15 grados.

### 4.3 Conexión a la red eléctrica de la casa

La conexión a la red eléctrica de la casa de un sistema Fotovoltaico básicamente es similar para cualquier tipo de arreglo que se seleccione, para efecto de esta tesis y considerando el sistema interconectado sin baterías se tomara el ejemplo de la figura 4.3.1

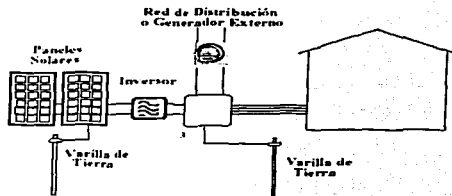


Fig 4.3.1 Sistema Interconectado a la red sin baterías

En este caso el sistema está compuesto por 3 módulos:

- A. Generación.- Arreglo de paneles solares o celdas fotovoltaicas
- B. Control.- Consta de un inversor de Corriente Directa a Corriente Alterna y un relevador o selector de la fuente de alimentación
- C. Carga.- Aparatos consumidores de corriente eléctrica

#### 4.3.1 Cableado y otros componentes

**Cableado:** Como cualquier otro cableado eléctrico la tubería y accesorios conduit de  $\frac{1}{2}$ " es la indicada para instalación exterior o bien a través de poliducto cuando se trate de instalación en el interior de los muros. Para nuestro caso supondremos que la energía solar no formó parte de los planes originales antes de la construcción de la casa y por lo tanto su instalación es posterior.

### **4.3.2 Aterrizaje de la instalación eléctrica**

En el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (los reglamentos de los estados generalmente están basados en el del D.F.) no obliga a los constructores a la instalación de una tierra física en las casas habitación, por lo tanto la mayoría de los hogares carece de este sistema. Por otro lado, hoy día gran cantidad de aparatos eléctricos vienen preparados para ser conectados a instalaciones aterrizadas, de hecho es requisito del fabricante para hacer válida la garantía. Todo el equipamiento para un sistema fotovoltaico, también es sensible a las descargas eléctricas por lo tanto es recomendable contar con éste. Para efectos de este estudio omitiremos el costo de una instalación aterrizada ya que sin duda será una cantidad importante y es un elemento que aún sin sistemas fotovoltaicos debe ser parte de la instalación eléctrica.

**Batería:** Se trata del único componente que requiere de mantenimiento periódico y eventualmente su reemplazo en periodos de 5 a 8 años. En el caso del banco de baterías, la inspección visual deberá determinar si hay pérdidas excesivas del electrolito. Estas se manifiestan como depósitos en el contacto positivo, residuos ácidos en las bandejas plásticas o en el deterioro de la base. Adicionalmente con la ayuda de un multímetro se deberá verificar la carga de las baterías.

En el siguiente capítulo, en la sección de costos, se indican los costos por instalación y mantenimiento del sistema fotovoltaico

### **4.4 Costos de instalación y mantenimiento**

Resulta difícil establecer las condiciones específicas de instalación y mantenimiento ya que se pueden presentar un sinnúmero de variantes en función de las características arquitectónica,

propias de la casa y del entorno donde se ubica. Es decir será totalmente diferente realizar la instalación para una casa en medio de una densa colonia del D.F. donde además del reducido espacio habrá que encontrar la mejor ubicación para el aprovechamiento de la luz solar, evitando sombras de casas, anuncios y/o edificios vecinos; en contraparte la instalación en casas con abundante espacio en zonas áridas del norte del país, puede ser sin duda mucho más sencillo y económico.

Teniendo en mente la premisa anterior, presentaremos las condiciones y características básicas que se deben tomar en cuenta para el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos.

#### **4.3.4 Mantenimiento**

Similar al sistema eléctrico convencional, los sistemas fotovoltaicos prácticamente están libres de mantenimiento, inspecciones visuales cada dos meses serán suficientes para detectar cualquier deterioro de la instalación, principalmente en las estructuras expuestas a las condiciones climáticas, es decir el sistema requiere el mismo cuidado que una puerta y ventanas metálicas, bastará con limpiar y pintar las estructuras de soporte una vez al año.

### 5.1 Ventajas no económicas del suministro por energía eléctrica

El hombre ha utilizado la energía del Sol desde los albores de la historia, de hecho puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir.

No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras o, simplemente, contaminantes.

Es preciso, no obstante, señalar que existen algunos problemas que debemos afrontar y superar. Aparte de las dificultades que una política energética solar avanzada conllevaría por sí misma, hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas.

En el caso particular de este estudio las ventajas no económicas del suministro eléctrico a través de energía solar se deben analizar desde el punto de vista global y del medio ambiente ya que el uso individual de esta tecnología no representa grandes ventajas en comparación con el suministro de la red pública.

Los sistemas fotovoltaicos proveen servicios de energía virtualmente sin impacto ambiental, contribuyendo a la protección del ecosistema de las generaciones presente y futuras. Además los sistemas solares fotovoltaicos son la solución ideal para aquellos casos en los que se intenta respetar al máximo el entorno natural, como ocurre con los espacios naturales protegidos.

Otra ventaja es la reducción de la contaminación atmosférica, del efecto invernadero producido por las emisiones de CO2 resultado de la generación de energía mediante combustibles fósiles y del cambio climático provocado por el efecto invernadero.

Por ejemplo:

En números redondos una instalación residencial típica de 50W elimina la emisión de 400Kg de bióxido de carbono al año. (Fuente [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org))

La energía solar fotovoltaica tiene la particularidad de ser la única fuente de energía renovable que puede instalarse de forma masiva en el centro de zonas urbanas. Los sistemas fotovoltaicos no requieren abastecimiento de combustible, son totalmente silenciosos, apenas requieren mantenimiento y tienen una vida útil mucho más larga. La electricidad se produce en el mismo lugar donde se consume, eliminando la necesidad de instalar tendidos eléctricos, que suponen no sólo un importante costo económico sino también un impacto sobre el paisaje y las aves.

La tecnología fotovoltaica es de tipo modular, lo que permite ir desarrollando infraestructura en forma gradual y conforme a los requerimientos de energía.



Es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la incipiente tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala mundial.

## **5.2 Análisis comparativo de costos**

### **5.2.1. Supuestos del análisis.**

Se toma como base para el análisis el patrón de consumo eléctrico anual de la casa en ciudad Juárez que se comentó anteriormente. Es un buen supuesto porque el volumen de kW-h anuales consumidos es muy alto, lo que califica para la tarifa más alta en vigor al momento del análisis (llamada Tarifa de Alto Consumo). Adicionalmente, los consumos por encima de los 500 kW-h mensuales son altos y están concentrados en algunos meses, lo que eleva la facturación mensual promedio y presenta intervalos en los que los consumos a tarifa en \$2.00 por kW-h son elevados. Para comparar las tarifas y precisar la proporción entre ellas, basta decir que por debajo de los 150 kW-h mensuales la tarifa está cercana a los \$0.50 por kWh, y por lo tanto estamos hablando de 4 veces en alto consumo. También es relevante mencionar que la factura de CFE informa del subsidio del gobierno que está aplicando, que varía en cada tarifa pero que puede ser hasta de la mitad del precio al consumidor. No se incluye este efecto porque se quiere analizar el efecto desde el punto de vista del consumidor. A continuación se presenta una hoja de cálculo con el análisis de plazo de recuperación, para describirlo ordenadamente:



Análisis de plazo de recuperación

Base año 2002

Periodo de cálculo: May 2002 a Abril 2003

Equipo seleccionado: STXR1.500  
 Potencia entregada: 197.6 KW-h mensuales  
 Precio en USD exworks: \$10,630  
 Gastos extras: \$2,126  
 Tipo de Cambio: \$10.50 pesos/dólar

Análisis de cálculo del nuevo consumo

Datos históricos		Antes del Arreglo de CF				Después del Arreglo de CF				
MESES	KWH	Promedio 500	Diferencia	Precio Medio	Total Consumo	Promedio 500	Diferencia	KWH-mes	Precio Medio	Total Consumo
May-02	812	500	312	\$1.4046	\$1,140.5	500	114.4	614.4	\$1.4	\$836.1
Jun-02	1138	500	638	\$1.5238	\$1,734.1	500	440.4	940.4	\$1.5	\$1,400.3
Jul-02	2392	500	1892	\$1.6609	\$3,072.9	500	1694.4	2194.4	\$1.7	\$3,628.6
Ago-02	2011	500	1511	\$1.6908	\$2,400.2	500	1313.4	1813.4	\$1.7	\$3,046.5
Sep-02	2976	500	2476	\$1.7260	\$5,136.5	500	2278.4	2778.4	\$1.7	\$4,782.2
Oct-02	1421	500	921	\$1.6682	\$2,370.5	500	723.4	1223.4	\$1.6	\$2,012.9
Nov-02	560	500	60	\$1.4904	\$894.6	500	362.4	362.4	\$1.4	\$524.0
Dic-02	786	500	286	\$1.6242	\$1,276.6	500	88.4	588.4	\$1.5	\$902.8
Ene-03	653	500	153	\$1.5696	\$1,023.0	455.4	455.4	455.4	\$1.5	\$674.0
Feb-03	958	500	458	\$1.6912	\$1,620.2	500	760.4	760.4	\$1.6	\$1,242.1
Mar-03	803	500	303	\$1.6804	\$1,349.4	500	105.4	605.4	\$1.6	\$964.0
Abr-03	533	500	33	\$1.6201	\$563.5	335.4	0	335.4	\$1.6	\$534.0
15043.0					\$24,723.9	2663.20	7018.60	12671.80		\$ 20,547.5

Ahorros anuales de:  
 Tiempo de recuperación:

\$ 4,176.1 pesos  
 3.7 años  
 2371.20 kWh anuales

5.2.2. Memoria de cálculo.

1. Se tomó como base el consumo del año 2002, desde mayo del 2002 hasta abril del 2003.
2. Se seleccionó el STXR1,500, que cuesta US\$ 10,630. Se estima un 15% para los gastos de importación, fletes e instalación. Este equipo entrega una potencia de 197.6 kw-h mensuales, 2,371 anuales y que representan un 15.76% del consumo anual del ejemplo propuesto. Se tomó un tipo de cambio de 10.5 pesos por dólar.
3. Se separa el consumo entre los dos tramos de tarifas. Los primeros 500 kw-h siguen una tarifa, y los restantes tienen la tarifa cercana a los \$2.00 por kWh según lo siguiente:

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tarifas vigentes durante el 2002												
ME S.	Ene-01	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
(\$/kwh)	N/D	N/D	\$12.190	\$11.100	\$11.920	\$12.840	\$13.380	\$14.420	\$15.370	\$15.430	\$16.250	\$17.370
Costo adicional												
1-500 kWh	N/D	N/D	\$1.266	\$1.244	\$1.255	\$1.313	\$1.354	\$1.391	\$1.394	\$1.407	\$1.446	\$1.471
kWh	N/D	N/D	\$1.678	\$1.599	\$1.616	\$1.662	\$1.689	\$1.742	\$1.790	\$1.793	\$1.810	\$1.860
Adicionales												

Tarifas vigentes durante el 2002												
ME S.	Ene-02	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
(\$/kwh)	\$12.370	\$12.700	\$12.700	\$13.000	\$13.400	\$13.450						
Costo adicional												
1-500 kWh	\$1.521	\$1.480	\$1.488	\$1.512	\$1.502	\$1.632						
kWh	\$1.892	\$1.904	\$1.913	\$1.950	\$2.046	\$2.098						
Adicionales												

- Con esto se determina el precio promedio y el consumo según la tarifa vigente de alto consumo, y su componente debido a los consumos arriba de los 500 kWh. El consumo anual en electricidad fue de \$24,723 con un precio promedio de \$1.6125.
- Luego se determina el efecto en disminución de precio por la conexión del arreglo de celdas fotovoltaicas. Es decir, los 197.6 kW-h mensuales serían producidos internamente sin costo y el resto del consumo tendría cualesquiera de los efectos: De disminuir de tarifa o de que se consuma menos electricidad a la tarifa más elevada.
- El consumo después de la instalación tuvo un costo anual de \$20,547.50, con un precio promedio de \$1.569 por kWh. Se tomaron de la red pública 12,671 kWh, y el resto se generó internamente.
- La propuesta generó ahorros anuales de \$4,176.3 contra una inversión de \$128,357.
- El plazo de recuperación resultante es de 30.73 años.

### 5.2.3. Otra referencia de comparación de costos y plazo de recuperación.

Se analizó también el patrón de consumo y el comportamiento del modelo para una casa ubicada en Puebla, Puebla, con menores necesidades de acondicionamiento de aire, calefacción, etc. A manera enunciativa se presentan los supuestos y resultados del análisis.

1. La casa consume 2,585 kWh anuales, un promedio de 215.41 kW-h mensuales, a un costo anual de \$3,407.96. Las tarifas por kWh empiezan en \$0.5 promedio para los primeros 150 kWh, \$0.76 para los consumos entre 150 y 250 kWh y en \$1.73 para el excedente de 250 kWh.
2. Suponiendo que toda la electricidad pudiera suministrarse mediante este mismo equipo que entrega 197.6 kW-h mensuales (implica un efecto de ahorro en el consumo), los ahorros anuales serían de \$3,407.96.
3. El plazo de recuperación para una inversión de \$128,357 sería de 37.66 años.

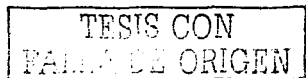
#### **5.2.4. Conclusión**

El criterio generalmente aceptado para determinar la conveniencia o viabilidad de un proyecto es un plazo de recuperación de cinco años para proyectos industriales y largos períodos de ejecución y maduración, y que podría disminuir hasta menos de un año para proyectos comerciales o de tecnología. Aún bajo costos de capital y financiamiento muy bajos, un plazo de recuperación mayor a 30 años es económicamente inviable. En conclusión, el proyecto no tiene viabilidad económica al momento actual.

#### **5.3 Campos de aplicación**

En agosto de 2000 una expedición al Monte Everest fue dotada de un equipo solar de 80W, como los requerimientos eran sólo de corriente directa, el peso del equipo fue despreciable y la energía proporcionada fue suficiente para mantener operando un teléfono satelital, una cámara de video y una computadora portátil.

Como se menciona en el capítulo 3, las celdas solares fueron comercializadas inicialmente en 1965. Las investigaciones iniciales en este campo se enfocaron al desarrollo de productos para aplicaciones espaciales, siendo su primera utilización exitosa en los satélites artificiales; sus



principales características (simplicidad, bajo peso, eficiencia, confiabilidad y ausencia de partes móviles) las hicieron ideales para el suministro de energía en el espacio exterior, en donde el costo no juega un factor importante. Pero como se acaba de ver en la sección anterior, en nuestro país no se justifica una instalación fotovoltaica para casas habitación, ya que el costo de la energía convencional es sustancialmente inferior. Sin embargo no sucede lo mismo en otros países, por ejemplo, en Estados Unidos existen importantes programas de apoyo financiero gubernamentales que fomentan la instalación de estos sistemas, en el estado de California, el gobierno aporta hasta el 50% del costo de los equipos, además debido a la alta rotación de vivienda en este país, la instalación fotovoltaica es utilizada como un elemento de plusvalía a las viviendas, es decir inversiones al corto plazo.

También en Estados Unidos, los sistemas fotovoltaicos son ampliamente utilizados en sistemas de riego alejados de las redes de distribución eléctrica, en los estados de Arizona y Texas más del 30% de los sistemas de riego son alimentados con energía fotovoltaica. Es precisamente el estado de Texas donde se localiza **El Paso Solar Energy Association**, una de las principales organizaciones dedicadas al apoyo y fomento de la energía fotovoltaica del aquel país.

España, por su privilegiada situación y climatología, se ve particularmente favorecida respecto al resto de los países de Europa, ya que sobre cada metro cuadrado de su suelo inciden al año aproximadamente 1.5 kW-hora de energía, cifra similar a la de muchas regiones de América Central y del Sur. Ahí se encuentra el **Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR)**, que junto con el **National Renewable Energy Laboratory (NREL)** de Colorado en E.U, son las dos organizaciones más importantes a nivel mundial dedicadas al estudio de la energía solar. En España como en otros países de Europa, también los sistemas de riego son los mayormente utilizados, aunque también su uso en oficinas ha crecido considerablemente, ya que en este tipo de

aplicación el 99% del consumo se realiza durante el día y la recuperación de la inversión se realiza en un menor plazo.

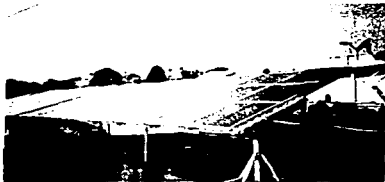
En países subdesarrollados, la energía fotovoltaica se perfila como la solución definitiva al problema de la electricidad rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo.

### **5.3.1 Aplicaciones en México**

En México actualmente se tienen instalados entre 10 y 15 MW en sistemas fotovoltaicos dispersos, aplicados en la iluminación doméstica, telefonía rural, bombeo de agua y telecomunicaciones. La capacidad instalada de estos sistemas se incrementó de 7.1 MW en 1993 a 13 MW en 2000, representando una tasa de crecimiento promedio anual de 9.3%. El **Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)** trabaja en un proyecto sobre sistemas fotovoltaicos conectados a red, con objeto de estudiar la factibilidad de disminuir la demanda de punta en el verano de los sectores residencial y comercial en el Noroeste del país.

La CFE cuenta con una planta híbrida en San Juanico, Baja California Sur, con una instalación de 17 kW fotovoltaicos, 10 kW eólicos y un motogenerador diesel de 80 kW. Además, este organismo estudia la instalación de otra planta híbrida (ciclo combinado-termosolar) al norte del país, con una capacidad termosolar de 40 a 50 MW

La CONAE estima que para el año 2010 se cuente con 24 MW instalados y 13 GWh de generación, con base en un crecimiento anual de 6% en la instalación de los sistemas, y un factor de planta de 25%.



El **Centro de Investigaciones Avanzadas** del IPN (CINVESTAV) ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 25 años, período en el que se han fabricado tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos a nivel de planta piloto. No obstante, no se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aún cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales. Otras Instituciones como el Laboratorio de Energía Solar y el Instituto de Física, ambas de la UNAM, han desarrollado cierta actividad, principalmente en la tecnología de películas delgadas, probando diferentes técnicas de deposición y analizando varios compuestos. A la fecha no han logrado obtener prototipos, motivo por el que se puede aseverar que el desarrollo fotovoltaico en México es realmente incipiente.

Respecto a los equipos periféricos y de control utilizados en los sistemas fotovoltaicos que se han instalado en México, se puede decir que la tecnología actual está completamente asimilada. Existen empresas nacionales (Conдумex, ahora IEM, Grupo PIM y ACUMEX entre otras) que fabrican comercialmente controladores, centros de carga y demás componentes electrónicos para diferentes capacidades y condiciones de operación. Análogamente a los controladores de carga, la tecnología de los inversores de corriente está ampliamente asimilada. En México la mayoría de las unidades de auto transporte de primera clase utilizan inversores de fabricación nacional para los diversos servicios que brindan a bordo. La actividad en los centros de investigación mexicanos es

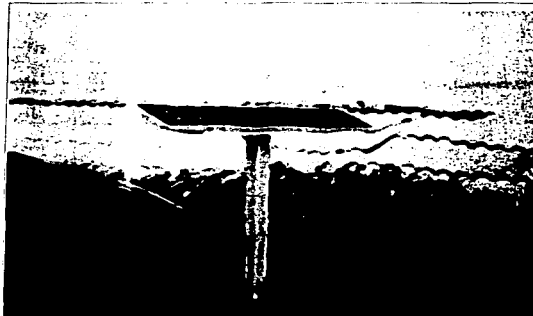
prácticamente nula en este aspecto, dado que esta fracción de la tecnología fotovoltaica no es vanguardista.





<b>Proyecto:</b>	<b>Electrificación Fotovoltaica de Albergues Escolares</b>
Institución Ejecutora:	CAPFCE, TSA
Lugar y Fecha de Instalación o Ejecución	Othón P. Blanco, Q. Roo, Abril-Mayo de 1993
Participantes:	Arturo Cajiga, Alberto Valdés, Carlos Valdés
Descripción Técnica:	Sistema de 1 KW a base de paneles fotovoltaicos con aplicaciones en corriente directa: 24 lámparas de 9W, 12 lámparas de 20W, 2 luminarios VSBP de 35 W, bomba de agua de 1/4 HP, 12 contactos CD/CD, 1 refrigerador de 12 pies cúbicos.
Tiempo y estado de operación	Desde 1993 en operación continua.

Comentarios	Tecnología extranjera con desarrollo de componentes nacionales.



<b>Proyecto:</b>	<b>Plantas Solares Fotovoltaicas</b>
Institución Ejecutora:	CFE, Gobiernos de los Estados, Condomex, Entec, TSA
Lugar y Fecha de Instalación o Ejecución	Diversas localidades de la República Mexicana
Participantes:	Fernando Uria, Jorge Huacuz, Enrique Hill, Arturo Whaley, Alberto Valdés, José Clariond.
Descripción Técnica:	Sistema unifamiliar de electrificación rural compuesto por un módulo solar mono o policristalino de 48 a 75 watts, controlador de carga, centro de carga, batería plomo-ácido de 100 Amp-hr, contacto

	CD/CD con selector de voltaje y de tres a 4 lámparas fluorescentes compactas. El sistema proporciona cerca de 5 horas diarias de iluminación a plena carga.
Tiempo y estado de operación	En operación continua.
Comentarios	Se han instalado en el territorio nacional cerca de 35,000 sistemas fotovoltaicos unifamiliares de 50 a 75 watts de capacidad para electrificación doméstica rural. Principalmente se han utilizado para iluminación, TV y radiograbadores. La normatividad para estos sistemas fue desarrollada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas y la ejecución estuvo a cargo de diferentes empresas contratistas a quienes se adjudicaba la obra bajo el esquema de licitación pública internacional. La supervisión técnica corría a cargo de la Comisión Federal de Electricidad.

#### 5.4 Consideraciones adicionales

De las ventajas adicionales que puede proporcionar la energía solar, la más importante, es la ecológica, ya que la generación electricidad por este medio, no produce ningún desecho, razón por la cual, su daño al medio ambiente es mínimo.

Otra característica importante a tomar en cuenta, tanto por sus ventajas como por sus desventajas, es que a diferencia de la energía eléctrica proporcionada de la red tradicional que es

de 127 volts de corriente alterna a 60 Hz, es que la energía de paneles solares, es de corriente directa, y los voltajes generalmente son de 17 y 34 Volts, por lo que:

- a) El voltaje de trabajo más seguro
- b) Uso en dispositivos electrónicos con menores pérdidas
- c) Almacenamiento en acumuladores más eficientemente

Sus principales desventajas son:

- a) Mayores pérdidas en transmisión debido a que se requieren mayores corrientes para proporcionar la misma potencia
- b) Aplicación sólo para algunos electrodomésticos, sobre todo con motores, dado que la mayoría son de corriente alterna.

Otra consideración importante, es que debido a la dispersión de este tipo de energía, el área destinada para su captación necesita una gran superficie, por ejemplo para generar 1000 MWatts, puede ser necesaria un área de 60 a 100 km<sup>2</sup>.

También, y dada la necesidad de almacenar la energía eléctrica generada en el día para su utilización durante la noche, los cortes al suministro son menos frecuentes, pero se depende más de las condiciones climáticas.

## Conclusiones

A lo largo del siglo pasado la percepción de la problemática de la energía ha sido muy diferente de la que tenemos actualmente. Así, el hecho de disponer de grandes cantidades de energía a bajo precio ha sido una condición necesaria para acceder a un cierto nivel de calidad de vida. Desde los inicios de siglo hasta principio de los setenta, el crecimiento económico de los países industrializados se fundamentó en la disponibilidad de una fuente de energía barata y abundante: el petróleo. Sin embargo, posterior a la crisis del petróleo en los años ochenta, el mundo cayó en cuenta de que los combustibles fósiles son finitos y eventualmente se terminarán. A partir de ese momento dio inicio la tesis de que las únicas posibilidades de mantener un crecimiento económico sostenible, garantizando un suministro energético a largo plazo y la conservación del medio ambiente, son el incremento de la eficiencia y la búsqueda de energías alternativas al petróleo.

En México, existen tres factores que contribuyen al retraso de su adopción: bajos ingresos, falta de crédito y carencia de conocimientos tecnológicos por parte de los consumidores. La ausencia de crédito y programas de fomento, combinada con el bajo poder adquisitivo de este sector de la población, así como la imposición de aranceles aduanales de los componentes, hace que sistemas básicos (uno o dos paneles) sean inaccesibles. En otros países, donde el tema financiero está resuelto mediante el otorgamiento de créditos a largo plazo y programas de apoyo gubernamentales, la instalación de estos sistemas alcanza un alto grado de demanda.

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

El análisis, muestra que el uso de los sistemas fotovoltaicos no representa una solución económica cuando se pretende suplantarlo los servicios de la red eléctrica local, ya que la inversión inicial es muy elevada y el plazo de recuperación es muy largo. Sin embargo representan la solución más efectiva en lugares remotos. La instalación de sistemas fotovoltaicos domiciliarios o comunales, construidos en poblaciones rurales permiten un incremento en la calidad de vida de la población.

Un tema por explotar en nuestro país es el de la tecnología de un sistema fotovoltaico: Panel de celdas e inversor, son productos importados, en nuestro país no existe una sola empresa dedicada a la fabricación industrial de celdas solares, hasta el momento sólo se cuenta con modelos de laboratorio y fabricación de equipos de control.

En el tema de energía limpia y conservación del medio ambiente, los sistemas fotovoltaicos nos plantean una importante paradoja: No hay una sola forma de obtener energía que sea completamente limpia, ni una sola que no genere algún tipo de residuo, no hay ninguna perfecta, al menos hasta el momento, ni siquiera la energía solar fotovoltaica, porque para fabricar los paneles solares y cada una de las células, se requiere calentar el silicio a unas temperaturas extremadamente altas y por mucho que duren dichos paneles se tardarían, décadas en recuperar la energía utilizada para su construcción. Es decir lo paradójico del tema es que si pretendemos sustituir el uso de combustible por energía solar, tenemos que gastar enormes cantidades de combustible para fabricar las celdas solares.

## **MATERIAL IMPRESO**

Almanza Rafael y Muñoz Felipe

### **Ingeniería de la Energía Solar**

El Colegio de México, 1994

Mazria Edward

### **El Libro de la Energía Solar Pasiva**

Ediciones G. Gill, 1979

Rincón Eduardo

### **Estado del Arte de la Investigación en Energía Solar en México.**

FICA-1999

Schaeffer-GAIAM John

### **REAL GOODS. Solar Living Sourcebook.**

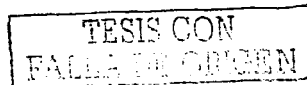
Eleventh edition. Hopland, California, EEUU.

Chelsea Green Publishing Co. 2001

Ruiz Velasco Carlos

### **Metodología para generación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas para casas habitación en la República Mexicana**

Tesis. Ingeniero mecánico y en sistemas energéticos. Universidad La Salle. 2000.



García Torres Alejandro

**Proyecto para la utilización de celdas solares en semáforos**

Tesis Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Panamericana. 1993

Promotora General de Estudios, S.A.

**Instalaciones de Energía Solar .- Tomo I, II, V, VI**

ISBN: 84-86505-38-0 (obra completa)

Acosta Rubio José.

**Energía Solar: Utilización y Aprovechamiento**

Madrid, Paraninfo, 1983

Montgomery Richard H., Calvet Pérez Ricardo.

**Energía Solar: Selección del equipo, instalación y aprovechamiento**

México, Editorial Limusa, 1986

Mompin Poblet José.

**Energía Solar Fotovoltaica**

Barcelona, Marcombo, 1983

Diario Oficial de la Federación del 27 de diciembre de 1983

Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1992



## **FUENTES VIA INTERNET**

Centro de Estudios de la Energía Solar (España)

<http://www.censolar.es>.

National Renewable Energy Laboratory (EU)

[www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

Secretaría de Energía (México)

[www.sener.gob.mx](http://www.sener.gob.mx)

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (México)

[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (México)

[www.conae.gob.mx](http://www.conae.gob.mx)

El Paso Solar. Energy Association (Texas, EU)

[www.epsea.org](http://www.epsea.org)

ASES - The American Solar Energy Society (EU)

<http://www.ases.org/>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Efecto Fotoeléctrico

<http://www.geocities.com/Athens/Agora/5115/info.htm>

Energías Alternativas (Argentina)

<http://www.cnea.edu.ar/temas/energias.htm>

Energía Solar

<http://energiasolar.com/>

Centro de Energía Solar en Carolina del Norte

<http://www.ncsc.ncsu.edu/>

Celdas Solares de Siemens

[http://www.siemens.nl/e&I\\_english/energie/prod\\_sys.asp](http://www.siemens.nl/e&I_english/energie/prod_sys.asp)

Departamento de Energía Fotovoltaica de los Estados Unidos.

<http://www.eere.energy.gov/pv/>

The Photovoltaic Development Timeline

<http://www.oosphere.net/solar/history.html>

Solardyne Corporation

[www.solardyne.com](http://www.solardyne.com)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Energía Alternativa de México

[www.enalmex.com](http://www.enalmex.com)

Kyocera Solar Energy

[www.kyocerasolar.com](http://www.kyocerasolar.com)

Saecsá Energía Solar

[www.saecsaenergiasolar.com](http://www.saecsaenergiasolar.com)

Kyocera International, Inc.

<http://www.kyocerasolar.com/support/catalog.htm>

Shell International Renewables Ltd.

<http://www.shell.com/home/shellsolar>

Solar Electric Power Association

[http://www.solarelectricpower.org/solar\\_power\\_solutions/](http://www.solarelectricpower.org/solar_power_solutions/)

AstroPower Inc.

<http://www.astropower.com/sunline.htm#>

Comisión Federal de Electricidad

<http://www.cfe.gob.mx/www2/Tarifas>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN