

9  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE  
SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA BASADO  
EN CELDAS SOLARES PARA UNA VIVIENDA  
MEDIA EN ZONAS RURALES

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N :

GERMAN ALVIZURI CABALLERO

MIGUEL GALVEZ DEL VALLE

RUBEN MERCADO DIAZ

ASESOR: ING. ALEJANDRO RAMIREZ L.



MEXICO, D. F.

1996.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS GENERALES**

*Al Museo de las Ciencias UNIVERSUM por las facilidades otorgadas.*

*A la Maestra en Ciencias Ana María Sánchez Mora por su colaboración, consejos y asesoría.*

*A la Doctora Julia Tagüeña por su apoyo.*

*Al Ingeniero Alejandro Ramírez asesor de la tesis.*

*A los que indirectamente participaron en la realización de la misma.*

## AGRADECIMIENTOS

*Estas líneas están dirigidas con mucho afecto, hacia aquellas personas que fueron pilar fundamental en la terminación de mis estudios de licenciatura, y en la realización y terminación de este proyecto de Tesis, a las cuales agradezco y dedico este logro:*

***A mis Padres... Josefina y Mauro, a quienes admiro y quiero orgullosamente pues gracias a su comprensión, paciencia y apoyo incondicional, han sido la base y la fuerza de mi existencia.***

***A mi novia Magdalena, por ese gran cariño y comprensión.***

***A mis compañeros de Tesis que juntos logramos la culminación de este trabajo.***

**GERMÁN ALVIZURI C.**

## AGRADECIMIENTOS

*Primero que nadie a Dios, por todo lo que soy y por lo que no soy.*

*A mis padres Miguel y Hortensia por darme la vida, por educarme y por guiarme por un buen camino y ser la parte medular de mi vida..*

*A mi esposa Alma Rosa por su apoyo, comprensión y cariño.*

*A mi hijo Miguel por impulsarme a continuar.*

*A mis hermanos Libia, Cata, Eva y Javier, a quienes admiro y respeto además de que siempre están conmigo.*

*A mis sobrinos Abel, Gabriel, Ana Libia por ser parte importante de mi vida.*

*A mi cuñado Abel, incondicional como siempre.*

*A mis cuñados Rosa y Hugo, a quienes estimo.*

*A mi familia en general por ser parte de mí.*

*A mis compañeros de tesis, porque juntos culminamos una meta.*

*A mis amigos, siempre en las buenas y en las malas.*

**MIGUEL GÁLVEZ DEL VALLE**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres: Alicia y Rafael  
Seres humanos con virtudes y defectos  
que, gracias a sus sacrificios y esfuerzos,  
me dieron amor y educación  
sin escatimar ni pedir nada a cambio.  
Les dedico este trabajo, fruto de mi esfuerzo  
y del ejemplo de amor, sabiduría,  
responsabilidad, honradez y disciplina  
que he recibido de ellos.*

***A mis hermanos:***

*Con el recuerdo y el amor fraternal de nuestro tiempo en el seno familiar, compartiendo alegrías, sueños, tristezas y éxitos: Rafael, Alma Rosa, Israel, Adán y Ulises.*

*Deseo que todos triunfemos, puesto que todos tenemos la capacidad e inteligencia suficiente para lograr todas nuestras metas y sueños. De nosotros depende que se conviertan en realidad o nos pasemos todo el tiempo lamentándonos por no haber luchado por lo que creas y quieras hacer.*

*Gracias hermanos*

***A mi Novia:***

*Por sus valiosos consejos llenos de sabiduría, cariño y amistad.*

***A mis amigos:***

*Todos los que se encuentran en mi pensamiento a pesar de la distancia y el tiempo, aun a los que se encuentran más allá.*

*Persiste y sigue vivo el recuerdo de aquellos años de momentos y sueños compartidos, que nos propusimos alcanzar.*

*Aunque todos y cada uno de nosotros, como es natural, emprendimos caminos distintos, tengo la certeza que nos volveremos a encontrar nuevamente algún día, con la alegría y expectación. Saber que todo sigue igual, que el tiempo no ha pasado, que ayer nos dejamos de ver y hoy en ese instante estaremos fundidos en un abrazo fuerte y sincero.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis maestros por todo el esfuerzo que hicieron y hacen en la notable tarea de educar a la juventud universitaria.*

*Reconozco y agradezco a los maestros, que fungieron como revisores de esta tesis, su valioso tiempo, dedicación y las aportaciones que hicieron para enriquecer este trabajo.*

*A todos ustedes gracias por su apoyo y paciencia .*

*Al concluir este trabajo se siente el profundo deseo de agradecer a todas aquellas personas que de alguna forma colaboraron para la realización del mismo, ya que sin su apoyo, no hubiera sido posible llegar a su fin.*

*A mis compañeros de tesis Germán Alvizuri Caballero y Miguel Gálvez del Valle.*

**RUBÉN MERCADO DÍAZ**

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN CELDAS SOLARES PARA  
UNA VIVIENDA MEDIA EN ZONAS RURALES**

**INDICE**

	Página
<b>Indice</b>	<b>I</b>
<b>Objetivos</b>	<b>III</b>
<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>I- Necesidades de energía eléctrica en una vivienda convencional.</b>	
1.1- Requerimientos del usuario	3
1.2- Plantas generadoras	12
1.2.1- Fuentes no renovables (Diesel, Stirling, Otto)	16
1.2.2- Fuentes renovables (aire, solares)	27
<b>II-Sistema fotovoltaico.</b>	
2.1- Descripción de un sistema fotovoltaico.	31
2.2- Elementos básicos de un sistema fotovoltaico.	33
2.2.1- Celdas solares	33

2.2.2- Cargadores y controladores de carga	50
2.2.3- Baterías	52
2.2.4- Inversores de voltaje.	56
2.3- Mantenimiento de un sistema fotovoltaico	58
<b>III. Diseño e implementación del prototipo.</b>	
3.1- Equipo dedicado	59
3.2- Selección del diseño	65
3.3- Selección del equipo	71
3.4- Realización del prototipo	84
<b>IV- Análisis de factibilidad</b>	
4.1- Evaluación económica	87
4.1.1- Análisis de costos	87
4.2- Disponibilidad de equipo y materiales	95
4.3- Recuperación económica	98
<b>Conclusiones</b>	108
<b>Bibliografía</b>	111

ASESOR: ING. ALEJANDRO RAMÍREZ

## **OBJETIVOS**

1- Cálculo de la factibilidad y optimización de un sistema de suministro de energía autónomo para vivienda en zonas rurales sin suministro de energía por C.F.E.

2- Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico

3- Evaluación de la viabilidad económica en la implementación del sistema.

## INTRODUCCIÓN

Desde la formación de la Tierra, hace 4500 millones de años, ésta ha recibido constantemente la energía solar en forma de radiación luminosa. Desde entonces hasta nuestros días se han formado los recursos naturales que hoy conocemos en forma de fósiles como son carbón, hidrocarburos o gas natural. Como ejemplo de ello, está el petróleo que es en la actualidad el principal recurso para producir energía.

Tal energía tiene un precio en constante aumento, y una demanda que se está incrementando con extraordinaria rapidez. El aumento en el consumo tiende a encarecer el producto, y al mismo tiempo amenaza con agotar las reservas; por otro lado, no sólo se trata de un problema de abastecimiento y costos, sino que, paralelamente, el uso y el abuso de las fuentes de energía actuales nos conducirán a la destrucción progresiva de la naturaleza.

Por esta razón debemos proyectarnos hacia el futuro, pues para principios del siguiente milenio, la humanidad habrá creado un sin fin de bienes y servicios tanto industriales como domésticos, que serán indispensables para la vida cotidiana y que requerirán forzosamente de la energía eléctrica. La falta de estos servicios y de un medio eficaz para hacerlos funcionar, implicará vivir como en la edad primitiva.

Por lo tanto debemos preguntarnos si estamos preparados para satisfacer la demanda de energía que se requerirá, y más aún si estamos conscientes de que si seguimos utilizando los recursos energéticos no renovables, cuyas reservas se irán agotando, los productos petroleros no serán los únicos que presenten problemas de abastecimiento. Es por esto que se deben crear soluciones prácticas y efectivas.

Como respuesta a esta situación, se crea y desarrolla una "nueva" fuente de energía poco conocida y sobre todo peor explotada, que cuenta con millones de años de existencia. Como ya se menciona anteriormente, el Sol envía a nuestro planeta abundantes radiaciones luminosas, que aprovechadas técnicamente pueden suministrar la energía que requerimos para mantener el actual nivel de vida. Y por si

## **Introducción**

---

fuera poco esta fuente de energía es gratuita, no contamina y prácticamente no tiene fin.

La utilización de sistemas generadores de alta tecnología permite la conversión directa de esta energía luminosa en corriente eléctrica. La base de estos sistemas son los llamados módulos fotovoltaicos o celdas solares.

Con la energía fotovoltaica no se pretende sustituir por completo, al menos por el momento, la energía eléctrica convencional, sino facilitar al usuario una ayuda que le permita liberar una parte importante de su consumo. Además existe una necesidad social y especialmente en los países en desarrollo, de utilizar técnicas que permitan descentralizar la producción de energía a pequeñas y diversas comunidades; es aquí donde la energía solar puede garantizar sin problemas la producción de energía eléctrica en pequeñas escalas.

La conversión fotovoltaica como sistema generador de energía eléctrica no se había tenido en cuenta, dado que sus costos son demasiado elevados, y representaba una incertidumbre en cuanto a su tecnología y competitividad. Sin embargo la comercialización y las condiciones económicas, políticas y ecológicas de los sistemas convencionales están favoreciendo el desarrollo de este tipo de tecnología.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

#### 1.1 Requerimientos del usuario

En cualquier actividad de nuestra vida diaria, directa o indirectamente estamos ligados a las diversas formas de energía.

Es importante recordar que la energía no se crea sino que únicamente se transforma; por ejemplo la energía del carbón se puede transformar en energía eléctrica mediante ciertos procesos. Los combustibles almacenan energía, dispuesta para su uso.

Actualmente sabemos perfectamente que la energía acompaña a la materia en sus cambios, pero no solamente la acompaña sino que en algunos casos la materia se transforma en energía.

Las formas en que se manifiesta la energía pueden clasificarse en:

- a) Mecánica.
- b) Calorífica.
- c) Eléctrica.
- d) Radiante.

No obstante, el hombre ha tenido que esperar miles de años para hacer de ellas fuentes de energía utilizables. En cada época de la historia diversos factores han intervenido para determinar la naturaleza de la tecnología (reflejo del aprovechamiento de las fuentes de energía): los materiales disponibles, el acumulamiento de habilidad y experiencia de los artesanos, el nivel de los conocimientos científicos, las condiciones económicas y sociales, la religión, los principios éticos y las doctrinas filosóficas.

La evolución del avance tecnológico del hombre, puede clasificarse en 5 etapas:

En la primera etapa se encuentra el hombre acarreado cargas sobre sus propios músculos, esta máquina es su única fuente de energía.

En la segunda etapa el hombre, en vista de ciertas necesidades, combina la energía de sus músculos con la de los animales. Esta nueva máquina (hombre-animal) le permite realizar trabajos con mayor facilidad y trasladarse largas distancias.

En la tercera etapa no deja de usarse la fuerza hombre-animal sino que además se introduce el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía como la aplicación de la energía del agua y del viento.

La cuarta etapa principia alrededor de la año 1650 y promueve la mecanización del trabajo humano. La máquina de vapor es el símbolo de

## **Capítulo 1**

### **Necesidades de energía en una vivienda convencional**

esta etapa, la cual incluye el principio de automatización y los primeros años de la revolución industrial.

Durante 2000 años el átomo no pasó de ser una idea filosófica. Se consideraba al átomo como un elemento inalterable, como la parte más pequeña a que podía reducirse la materia. Esta idea persistió hasta que se descubrió la transformación nuclear de los elementos radiactivos, es decir de los productos sujetos a la desintegración radiactiva. De este modo se establece que el átomo es una fuente de energía colosal.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

#### Consumo de energía

Nuestra sociedad, sociedad de consumo por excelencia, ve progresar aritméticamente sus necesidades energéticas. Nada más en lo referente a energía eléctrica, en los países altamente industrializados el consumo aumenta de año en año en un 10% como mínimo. Los mejores economistas y los más grandes expertos mundiales en problemas energéticos prevén, aunque la progresión industrial permanezca idéntica a la que conocemos actualmente y a pesar de la recesión económica, que de aquí a unos cincuenta años como máximo las necesidades en lo que respecta a la energía eléctrica quintuplicarán las necesidades presentes.

En primer lugar, la explosión demográfica que ha de conocer el globo y que llevará a su población de cuatro mil millones a más de siete mil millones, provocará forzosamente un aumento de las necesidades en bienes de consumo, equipos electrodomésticos y otros productos industrializados de confort.

Aunque cada día que hablamos de necesidades de energía a nivel doméstico nos encontramos que cada vez existe mayor diversidad de equipos de consumo de energía, hemos tratado de enumerar los más frecuentes y comunes en una casa convencional.

ARTÍCULO	CONSUMO
Lámpara fluorescente	30 W
Lámpara incandescente	60 W
Licuadora	350W
Radio	10W
Ventilador	70W
Televisión	65W
Videograbadora	25W
Lavadora	350W
Secadora de gas	750W
Refrigerador	160W
Horno de microondas chico	950W
Horno de microondas grande	1600W
Computadora laptop	25 W
Extractor de jugos	250W
Plancha de vapor	1000W
Bomba de agua de 0.5 HP	375W

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

Herramientas industriales ligeras.

Artículo	Consumo
Taladro	500W
Lámpara incandescente	200W
Esmeril	500W
Motosierra	1200W
Compresor de aire	2000W
Router	1200W
Lijadora	250W
Sierra circular	1400W
Cepillo	500W

Contrariamente a lo que los gobernantes nos proclaman o a lo que la mayoría de nosotros cree, no existe verdadera crisis energética. Energía potencial y disponible hay en todas partes y en cantidades considerables, inclusive en las regiones aparentemente más desprovistas.

Lo que nosotros conocemos desde hace una decena de años es que existe una crisis de energía la cual, cada vez va incrementando su precio. Sin duda que habrá suficiente energía en el futuro, pero la mayoría de las fuentes no explotadas tales como el petróleo sintético, gas natural, aceite de esquistos, aceite de alquitrán, energía solar y nuclear, necesitan de un mayor desarrollo.

Las necesidades de consumo están mejor ilustradas mediante la demanda de electricidad, un "invento" del siglo XIX. Hoy sería difícil imaginar la vida sin electricidad y sus innumerables aplicaciones, tanto industriales como domésticas y en cualquier otra actividad.

**Necesidades básicas del usuario:** Aunque existe una gran variedad de aparatos ampliamente disponibles, en el mercado, y que de hecho son extensamente aplicados, las necesidades de un usuario en el espacio de una vivienda media se pueden dividir en 3 áreas.

- 1.- Iluminación.
- 2.- Comodidades.
- 3.- Diversión o esparcimiento.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

1.-Iluminación: la cantidad de energía requerida para llenar los requisitos de iluminación depende de diversos factores, como son:

a) El tipo de lámpara utilizada: convencionalmente se utilizan lámparas incandescentes, debido a su facilidad de conexión, y reemplazo y a su bajo costo inicial. Sin embargo, la eficiencia de estos dispositivos haría atractivo el paso hacia la instalación de lámparas de menor potencia y mayor capacidad lumínica, como las fluorescentes. Hoy en día se dispone de lámparas de este tipo con balastro electrónico, integrada en el cuerpo, de manera que su utilización es sencilla. Convencionalmente este tipo de lámpara utiliza una balastro con autotransformador, la cual atrasa el factor de potencia, con la consiguiente pérdida de potencia reactiva. Sin embargo, se encuentran en un gran rango de capacidad, desde 5 W, hasta 60 W.

b) El tipo de tarea realizada: la iluminación requerida para la ejecución de una tarea específica puede observarse en la siguiente tabla.

Actividad	Luminosidad
Conversación	75 Lux
Cena	150 Lux
Arreglo personal	250-500 Lux
Tareas de taller	250-500 Lux
Planchado	250-500 Lux
Actividades de cocina	500-1000 Lux
Lavandería	250-500 Lux
Leer en un sillón	250-500 Lux
Leer en un dormitorio	500-1000 Lux
Costura, tareas de alto grado de dificultad	1000-2000 Lux
Juegos de mesa	250-500 Lux

c) El lugar de la casa.: en la siguiente tabla se plantean varios usos de la iluminación.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

Tipo de actividad	Luminosidad
Exteriores rodeados de espacios oscuros.	20, 30, 50 Lux
Orientación, pasillos.	50, 75, 100 Lux
Espacios para tareas visuales ocasionales, escaleras.	100, 200 Lux
Tareas de alto contraste u objetos grandes, escritura.	200, 500 Lux
Tareas de medio contraste.	500, 1000 Lux
Tareas de bajo contraste u objetos pequeños.	1000, 2000 Lux
Trabajos con objetos muy pequeños y de bajo contraste, periodos prolongados.	2000, 5000 Lux

2.-Comodidades: en nuestro país, una vivienda media contiene un pequeño número de facilidades eléctricas, las cuales suelen ser:

a) Bombas de agua: debido a la gran densidad de población, el suministro de agua no es continuo, lo cual obliga a utilizar cisternas y sistemas de bombeo para trasegar el líquido hacia tanques, de los cuales el agua desciende por gravedad. Las bombas más frecuentemente utilizadas son eléctricas que oscilan entre uno y medio caballo de fuerza.

b) Cocinas: en una cocina común suele encontrarse al menos una licuadora, un tostador de pan, y algún extractor de jugos. El uso de hornos de microondas empieza a ser también muy extendido.

c) Áreas de lavado: en todas las casas se utiliza una plancha, para el arreglo de la ropa, y alguna máquina de coser. Por lo general, casi todas las casas disponen de una lavadora, aunque varía mucho la capacidad y el modelo de la misma. Las secadoras de ropa son escasas, y no se consideran una necesidad básica.

d) Calefacción: en nuestro país el uso de agua caliente está muy extendido, y casi toda el agua se calienta con gas. La calefacción de las habitaciones de una casa no es muy frecuente, y en los casos que se utiliza, se emplean calefactores eléctricos de baja capacidad, los que no son muy eficientes, pues emplean control de humedad.

3.-Esparcimiento: una necesidad que culturalmente se ubica entre las básicas es la del esparcimiento. En este renglón se sitúan los televisores, radios, modulares, grabadoras de video, juegos electrónicos y computadoras.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

#### Propuesta de casa modelo.

Para delimitar el planteamiento de esta tesis se propone a continuación una casa modelo, en base a la cual se efectuarán todos los cálculos requeridos.

Se supone una vivienda para 5 personas, que consta de:

Cant.	Ocupación	Superficie
2	Recámaras	40m <sup>2</sup>
1	Baño	6m <sup>2</sup>
1	Cocina	12m <sup>2</sup>
1	Sala	25m <sup>2</sup>
1	Comedor	20m <sup>2</sup>
Superficie total:		107m <sup>2</sup>
Altura		2.5 m

**Capítulo 1**  
**Necesidades de energía en una vivienda convencional**

---

En cuanto a la cantidad y tipo de elementos instalados, la siguiente tabla nos permitirá hacer algunos cálculos.

Lugar	Artículo	Potencia ( Watts )	Horas Uso ( Horas )	Subtotal ( Wh )
Cocina	Iluminación	60	3	180
	Licuadora	350	0.4	100
	Refrigerador	160	7	1120
Sala	Iluminación	35	3	105
	Televisor 12''	65	4	260
	Equipo modular	50	1	50
	Videograbadora	25	2	50
Comedor	Iluminación	60	2	120
Recámara 1	Iluminación	40	3	120
	Grabadora	20	2	40
Recámara 2	Iluminación	40	2	80
Baño	Iluminación	60	3	180
Lavandería	Lavadora	350	1	350
	Iluminación	60	1	60
	Plancha	800	0.4	320
	Iluminación Externa	60	4	240

De acuerdo a lo especificado en la tabla, se calcula lo siguiente:

Potencia consumida diaria: 3290 Watts-hora por día.  
 Potencia base: 1120 Watts-hora por día.  
 Potencia media: 2080 Watts-hora por día.  
 Potencia pico: 3619 Watts-hora por día.

La potencia consumida diaria puede reducirse si se alteran los hábitos de las personas que viven en esta casa modelo, puesto que no es realmente necesario utilizar los aparatos que se disponen en una casa al mismo tiempo. Por ejemplo, la ropa que se necesita, se puede planchar al

## **Capítulo 1**

### **Necesidades de energía en una vivienda convencional**

---

mediodía, cuando la radiación solar es más fuerte y el gasto de energía eléctrica no es tan alto.

Dado que se corre el riesgo de que en los próximos decenios no sean sólo los productos petroleros los que presenten problemas de abastecimiento, se deben examinar otras soluciones simples, durables y al alcance de todo el mundo. Existen grandes posibilidades de economía en una mejor utilización de las energías potenciales puestas a nuestra disposición, y las que tenemos excesiva tendencia a desdeñar o malgastar; entre ellas, especialmente las energías provistas en forma gratuita por los elementos: viento, agua y sol. Y, concurrentemente, es preciso aprender a recuperar las energías perdidas o residuales y, más especialmente, las calorías derrochadas.

Además, existe una necesidad social, especialmente en los países en desarrollo, de utilizar técnicas de generación de energía alternativas que permitan descentralizar la producción de energía en comunidades pequeñas y dispersas.

La conferencia general de la UNESCO anunció que se apoyará una acción internacional en el campo de los problemas científicos fundamentales de la energía, su producción, conversión y transporte; dando especial énfasis a la localización de zonas en donde se necesitan investigaciones científicas para generar y utilizar energía con más rendimiento a partir de fuentes existentes y hacer factible la producción de la misma a gran escala desde fuentes renovables y limpias, tales como la fusión nuclear y la más prometedora fuente que es el Sol.

Se puede decir que el Sol es como un enorme fuente de energía almacenada, provista de una gran cantidad de hidrógeno y que se manifiesta como una excelente entrada de energía a la superficie de la Tierra.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

#### 1.2 Plantas generadoras

##### Fuentes de energía

De acuerdo con algunos datos de tipo energético, se ha determinado que las reservas de energía a nivel mundial consisten en lo siguiente.

<b>Reservas no renovables</b>	<b>KWH anual</b>
Fósil, total sin petróleo de esquistos	$1.2 \times 10^{17}$
Carbón y otros combustibles fósiles sólidos	$8.65 \times 10^{16}$
Petróleo	$2.14 \times 10^{16}$
Gas natural	$1.23 \times 10^{16}$
Petróleo de esquistos	$5.2 \times 10^{17}$
Fisión LWR y otros no generativos	$5.18 \times 10^{14}$
Fisión LWR regenerativos	$3.2 \times 10^{16}$
Calor geotérmico a 10 Km. de profundidad	$1.2 \times 10^{16}$

<b>Reservas renovables</b>	<b>KWH anual</b>
Radiación solar absorbida en la tierra	$1 \times 10^{18}$
Evaporación atmosférica	$2.9 \times 10^{17}$
Viento ( estimado )	$2 \times 10^{17}$
Fotosíntesis	$3.5 \times 10^{14}$
Potencial hidroeléctrico	$7.8 \times 10^{13}$
Hidroelectricidad útil	$2.5 \times 10^{14}$
Flujo de calor geotérmico	$2.3 \times 10^{14}$
Calor geotérmico útil	$1.2 \times 10^{12}$

De las tablas anteriores es posible obtener algunas conclusiones:

- La energía que recibe la Tierra del Sol durante un año es diez veces más grande que el total de fuentes fósiles, incluyendo las no descubiertas, las no explotadas y las no recuperables.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

b) El carbón y otros consumibles de tipo sólido representan una importante reserva.

c) La energía nuclear disponible que viene de los reactores de agua ligera (LWR) no se debe de sobrestimar ya que es de la misma magnitud que la de las reservas de petróleo.

En México, por lo regular la energía eléctrica proviene de la Comisión Federal de Electricidad. Sin embargo existen otras fuentes alternativas que el consumidor puede considerar para la generación de la energía que requiere.

- 1.- Generadores de gasolina.
- 2.- Generadores Diesel.
- 3.- Generadores Stirling.
- 4.- Generadores eólicos.
- 5.- Generadores solares.

#### Generación convencional en plantas de la CFE.

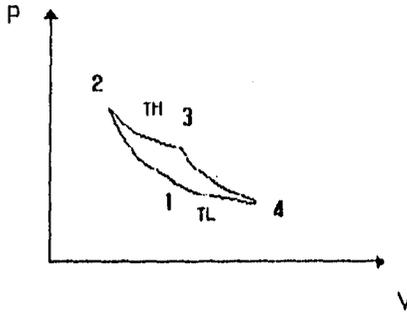
La energía puede manifestarse en diversas formas. Una forma puede transformarse en otras, de varios tipos, pero para todos los casos de transformación existe una pérdida. En el caso de la generación de electricidad, existe siempre una serie de transformaciones que son indeseables, pues lo ideal sería que el total de energía disponible se convirtiese en electricidad, sin pérdidas en forma de calor, radiación, sonido, movimiento. La relación entre la energía inicial y la transformada se conoce como rendimiento de transformación.

El proceso de transformación más utilizado es el termodinámico, que se conoce como el ciclo de Carnot; en el cual el calor es convertido en energía mecánica, por ejemplo, mediante un motor o una turbina, y luego esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica mediante un alternador.

**Capítulo 1**  
**Necesidades de energía en una vivienda convencional**

---

A continuación se muestra el diagrama P-V que representa a este ciclo.

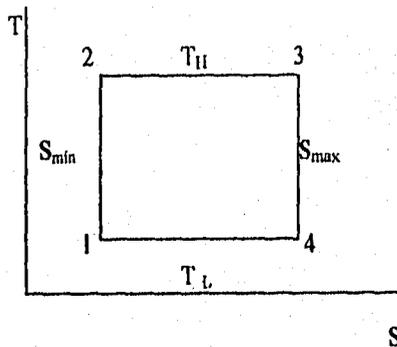


El rendimiento máximo del ciclo de Carnot se obtiene de:

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Donde,  $T_H$  es la temperatura del lado caliente; y  $T_L$  es la temperatura del lado frío.

En la siguiente figura se ilustra el diagrama Temperatura-Entalpia del ciclo de Carnot.



## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

El rendimiento real de Carnot en las turbinas de vapor a la temperatura de trabajo es de 60%, pero este rendimiento es muy alto comparado con el que se obtiene prácticamente, por ejemplo, en los reactores de agua ligera se llega a trabajar hasta con un 32% de rendimiento real.

El ciclo de Carnot limita la eficiencia máxima que se puede obtener de una máquina que trabaje entre dos temperaturas específicas. Algunas de estas máquinas utilizadas para generación de electricidad son:

- Motores Diesel o de gasolina.
- Turbinas de gas.
- Centrales de energía de vapor solar.
- Centrales de energía geotérmica.
- Generadores termoeléctricos.

Las centrales de energía manejan una capacidad de trabajo de unos 1000 MW. Los rendimientos esperados para un sistema de caldera, turbina de vapor o condensador son del 40%, pero el rendimiento promedio real es de entre el 32% al 35%.

Los generadores hidroeléctricos tienen solamente pequeñas pérdidas por fricción y rendimientos de hasta un 90%.

Los molinos de viento alcanzan elevados rendimientos a velocidades constantes del viento. Este tipo de mecanismos, al igual que las celdas de combustible, no son utilizados por la CFE.

En las celdas de combustible, la resistencia interna, los efectos en los electrodos, y otras pérdidas hacen posible obtener el rendimiento teórico del 100%.

En general casi toda la energía eléctrica se genera ya sea por centrales hidroeléctricas o por plantas vapor-combustible, donde el rendimiento mejora cuando aumenta la temperatura de la fuente de calor, pero este incremento en la temperatura de funcionamiento aumenta también los problemas de los materiales, y puesto que las unidades de generación de energía deben tener una vida útil de 10 a 20 años para que la inversión resulte rentable, la corrosión debe ser limitada por completo.

Actualmente, en la mayoría de los países, la electricidad suma el 10% del consumo total de energía. Si tenemos en cuenta la pérdida de energía durante el proceso de conversión, se observa que la energía destinada a la producción de electricidad alcanza el 30% del consumo total de energía.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

#### 1.2.1 Fuentes no renovables

##### **Motores de combustión interna.**

Los motores de combustión interna están basados en el ciclo Otto, y transforman en movimiento la energía química de los combustibles fósiles. Estos motores se disponen en varios tamaños y potencias, y tienen la característica de ser generalmente portátiles, por lo que se utilizan en pequeñas plantas generadoras, con las siguientes ventajas.

- a) Las unidades generadoras portátiles pueden trasladarse de un lugar a otro, cuando se necesite energía eléctrica temporalmente.
- b) Pueden usarse como unidades de reserva o auxiliares, que entran en operación cuando falla el suministro principal.
- c) Pueden ser la fuente principal, para el consumo particular.

Los motores de combustión interna se construyen aplicando una variedad de ciclos termodinámicos. Los tipos pueden variar entre sí en sus características, como flexibilidad, combustible usado, facilidad para el arranque, peso, costo, etc, pero todos tienen características comunes como:

- 1.-El uso de un pistón y un cilindro para crear una cámara de volumen variable en la que se pueda llevar a cabo el ciclo.
- 2.-Un medio de operación gaseoso.
- 3.-Ciclos térmicos abiertos, lo que implica una corriente de aire y otra de combustible dentro del motor y la descarga de los productos gaseosos de su combustión.
- 4.-Ciclos mecánicos de dos o cuatro tiempos.
- 5.-Producción de potencia de magnitud cíclica, por lo tanto no uniforme, que necesita el uso de cilindros múltiples o de volantes pesados para uniformar su rendimiento.

Entre las variantes de combustibles que pueden ser utilizados en un motor de combustión interna se tienen gases y líquidos, siendo preferidos los combustibles líquidos por su facilidad de transporte y almacenamiento.

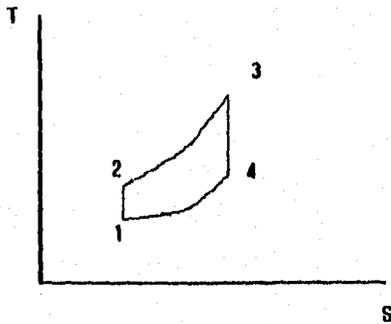
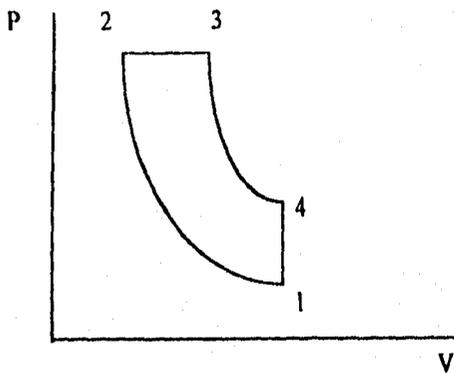
## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

En términos generales los dos motores que mayor uso tienen son el de gasolina y el Diesel. De estos dos, el Diesel tiene mayor importancia en la generación eléctrica.

#### El motor Diesel:

El motor Diesel se basa en ciclos termodinámicos de cuatro procesos, que se ilustran a continuación.



## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

Los motores que se emplean en plantas de fuerza estacionaria se conectan directamente a los generadores, que son de una velocidad baja, de 200 a 1000 RPM. Esto obliga a usar generadores de gran diámetro, de polos salientes, y con una longitud axial corta.

El Diesel es un excelente motor para la generación eléctrica en capacidades de 100 a 5000 HP, y como tal se usa ampliamente en la industria privada, hoteles, compañías de servicios públicos y municipales.

Las ventajas del motor Diesel son:

- a) Bajo costo del combustible.
- b) Corto período de calentamiento.
- c) No tiene pérdidas cuando esta de reserva.
- d) La eficiencia es uniforme en todos los tamaños.
- e) No requiere de un abastecimiento grande de agua.

El Diesel puede obtener más trabajo de cada unidad térmica que los otros motores, por esta razón es un motor interesante cuando el costo de adquisición se amortiza lentamente de tal manera que los costos de operación se hacen importantes.

El ciclo térmico ideal de los motores Diesel ilustrado en la figura anterior se explica a continuación. Empezando con el medio operante en el estado 1, se comprime primero politrópicamente hasta el estado 2, luego se le añade calor durante la limitada expansión isobárica, después de lo cual se realiza una expansión politrópica hasta alcanzar el volumen inicial reduciendo la presión al estado 4. El trabajo ideal producido por el ciclo esta representado por su área, y la presión media efectiva, por su altura media.

Los procesos politrópicos 1-2 y 3-4 en el ciclo ideal son isentrópicos con el aire como fluido. Así, para el funcionamiento ideal del aire, la eficiencia térmica del ciclo Diesel es:

$$\eta = 1 + \frac{\text{calor rechazado}}{\text{calor agregado}}$$

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

$$\eta = 1 + \frac{mC_v (T_1 - T_4)}{mC_p (T_3 - T_2)}$$

$$\eta = 1 + \frac{r^{k_c} - 1}{k^{(k-1)} r_v (r_c - 1)}$$

donde:

rcf : es la razón de corte de combustibles, o razón de cierre.

rv: es la razón de compresión.

k: es la constante de los gases,  $k=1.4$ .

Estas ecuaciones muestran que la eficiencia se mejora con una relación de compresión alta y una relación de cierre baja, pero el tamaño de la máquina aumenta al reducirse esta última.

El requisito para una combustión adecuada del combustible impone una limitación en un valor máximo de la relación de cierre ( $V_3-V_2$ ) que puede usarse. Como en los motores Diesel se gobierna la potencia que pueden desarrollar variando la duración de la alimentación, la eficiencia ideal aumenta con carga parcial.

Las máquinas reales usan el enfriamiento de los cilindros por razones mecánicas, y trabajan también en un ciclo abierto, es decir que el fluido en el estado 1 no es el mismo con el que se completó el ciclo anterior. Los productos de la combustión de cada ciclo de trabajo se descargan como gas de escape y se inyecta aire fresco para usarlo en el ciclo siguiente. En lugar de transmitir calor entre los estados 2 y 3 el combustible se inyecta dentro del aire y su calor de combustión produce energía. El motor real tendrá compresión no isentrópica.

A continuación se muestra una tabla con las características más relevantes de un conjunto motor-generador a base de combustible Diesel.

**Capítulo 1**  
**Necesidades de energía en una vivienda convencional**

---

<b>Modelo</b>	<b>John Deere 3011D</b>
Tipo de motor	4 tiempos
Enfriamiento	Por agua
No. de cilindros	3
Arranque	Eléctrico
Potencia	17 HP
Velocidad nom.	1800 RPM
Generador	Marathon Stanford
Cap. nominal	10 KW
Cap. pico	12.5 KW
Suministro 1 fase	120 V
Suministro 3 fases	220 V
Consumo	2.9 l/h
Peso	840 Kg
Nivel de ruido	Sin escape 130 DB
Nivel de ruido	Con escape 80 DB
Servicio	24 Hrs
Costo inicial	8000 USD

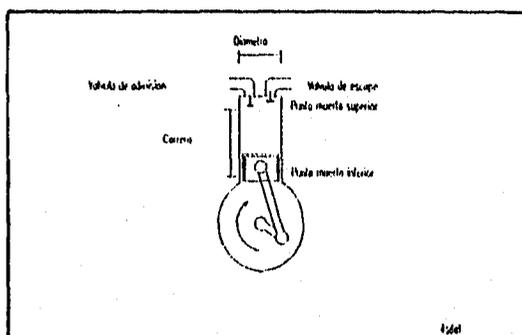
Este equipo está montado sobre patines, y como cimentación solo requiere de una superficie nivelada con soportes de hule.

## Capítulo 1 Necesidades de energía en una vivienda convencional

### Ciclo Otto. Motores de gasolina.

El motor de gasolina es una máquina que opera en un ciclo Otto, es del tipo combustión intermitente, y de pistón recíprocante. En éste, el movimiento se logra a partir de la combustión de una carga premezclada de aire y combustible, la cual se enciende por la acción de una chispa eléctrica.

En la siguiente figura se puede identificar las variables siguientes:



- Punto muerto superior (PMS), el que alcanza el pistón cuando esta más alejado del cigüeñal, y más cerca de la cabeza del cilindro.
- Punto muerto inferior (PMI), cuando el pistón esta más cerca del cigüeñal.
- Diámetro es aquél del cilindro interno en el cual se desplaza el pistón.
- Carrera es la distancia entre el PMS y el PMI.
- El radio de compresión es la razón que hay de volumen en el PMI al volumen en el PMS, esto es:

$$r_v = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

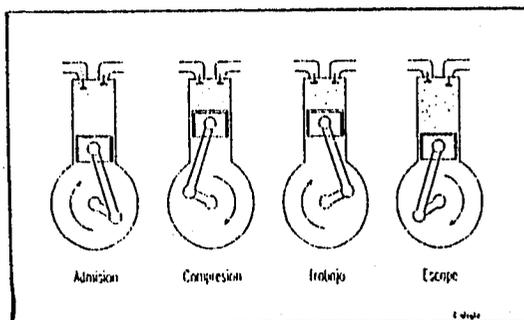
## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

Este es el parámetro más importante en un motor de este tipo, puesto que la eficiencia aumenta al incrementarse la razón de compresión. Sin embargo, el tipo de combustible empleado (o más bien su grado de octanaje) pone un límite a la máxima razón de compresión admisible antes de que ocurra la detonación. Los valores típicos de compresión varían desde 6:1 hasta 12:1.

Los motores de gasolina con desplazamientos de más de 1000 cc operan en ciclos de cuatro tiempos, que se conocen como:



**Admisión** : se abre la válvula de entrada de combustible al mismo tiempo que el pistón se aleja de la cabeza de válvulas; el vacío generado jala el combustible al interior del cilindro.

**Compresión**: con ambas válvulas cerradas el cilindro inicia su ascenso, comprimiendo la carga de aire-combustible, hasta llegar al PMS.

**Trabajo**: la chispa eléctrica enciende la carga, los gases en expansión empujan el pistón hacia el PMI.

**Escape**: se abre la válvula de escape, el pistón en su carrera hacia el PMS expulsa los productos de la combustión.

Como puede verse, en el ciclo Otto de cuatro tiempos se dan dos revoluciones por cada ciclo de trabajo, por lo cual se obtiene la mitad de la potencia que podría esperarse de un motor de similar desplazamiento que operara en ciclos de dos tiempos.

El motor de dos tiempos genera pues, mayor potencia o trabajo útil por unidad de peso, con la desventaja de que se tiene un mayor desperdicio de combustible, puesto que se admite el combustible cuando

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

el pistón se acerca al PMI, y parte de este es expulsado por la válvula de escape.

Este tipo de motor es el utilizado preferentemente en los generadores portátiles, debido a su densidad de potencia.

Se presenta a continuación información acerca de tres modelos disponibles en el mercado nacional de generadores portátiles. Se trata de conjuntos de motores Briggs & Stratton y generadores Coleman.

Capacidad	Baja	Media	Alta
Tipo de motor	4 ciclos	4 ciclos	4 ciclos
Enfriamiento	aire	aire	aire
No. de cilindros	1	1	1
Arranque	manual	manual	eléctrico
Potencia	5 HP	8 HP	16 HP
Cap. nominal	2.5 KW	4.0 KW	6.5 KW
Cap. pico	3.0 kW	4.8 KW	7.5 KW
Suministro 1 fase	120v/20.8A	120V/16A	127V/18A
Suministro 3 fases	-	240V/16A	220V/18A
Consumo	1.6 lt/h	2.7 lt/h	6.0 lt/h
Peso	34kg	58kg	128kg
Costo/Kw	0.25 USD	0.27 USD	0.37 USD
Costo inicial	1000 USD	1300 USD	2900USD

#### Ventajas:

Alto grado de portabilidad, facilidad de utilización.

Estas plantas son de fácil operación, de bajo peso, y de gran flexibilidad de ubicación puesto que no requieren de cimentación.

Debido a las altas temperaturas y a que el motor de gasolina opera en un ciclo abierto, se logran eficiencias térmicas altas (30 -38%).

El tiempo de espera para el arranque y la operación de una máquina de gasolina es corto.

La densidad (KW/Kg) es alta, su construcción rápida y su costo inicial moderado.

## **Capítulo 1**

### **Necesidades de energía en una vivienda convencional**

#### **Desventajas:**

**Contaminación:** debido a las altas presiones y temperaturas que se generan en el interior de la cámara de combustión, el nitrógeno reacciona formando óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos sin reaccionar.

**Costo de operación:** entre moderado y alto.

Por tratarse de máquinas de un pistón enfriadas por aire, tienen una vida útil corta, así como también un factor de servicio bajo.

## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

#### **Motores de combustión externa.**

##### **Ciclo Stirling**

Este tipo de motor, también llamado motor de aire caliente fue inventado en 1816 por Robert Stirling; es un motor reciprocante que puede tener uno o varios cilindros y mediante la contracción y expansión alternativa del gas de trabajo encerrado en su interior el motor realiza trabajo con el proceso de empuje de los pistones.

A continuación se explicará el funcionamiento general de cualquier motor con ciclo Stirling mediante un diagrama P-V.:

El ciclo termodinámico Stirling comienza en la figura A, en el punto 1. En la figura B, el fluido de trabajo se comprime de 1 a 2 y se enfría por radiación. En el diagrama C, el fluido se calienta de 2 a 3, y aumenta su presión y el pistón comienza a entregar trabajo mecánico. En la figura D, el fluido se expande de 3 a 4 y el desplazador lo traslada al frío. En el diagrama E se observa todo el proceso completo, donde el fluido se enfría de 4 al 1 y la presión disminuye. El área sombreada representa el trabajo W entregado en cada revolución del motor.

#### **Ventajas de un motor Stirling:**

- 1.-Es un motor de combustión externa, lo cual permite que dicha combustión se realice casi a presión atmosférica; por lo tanto no genera compuestos altamente tóxicos, como los óxidos nítricos y prácticamente puede utilizar cualquier tipo de combustible, sólido, líquido o gaseoso, mediante el quemador adecuado.
- 2.-Mantiene su interior sellado, por lo tanto no contiene válvulas de admisión o escape. Esto significa que es prácticamente un motor limpio, y con un mínimo de desgaste.
- 3.-Como no es un motor de explosión, funciona casi sin hacer ruido y no tiene válvulas que comúnmente encontramos en motores típicos, como inyector, distribuidor, etc

Lamentablemente y a pesar de su gran factibilidad, este tipo de motores, no son muy comerciales; y por si fuera poco las empresas que le dedicaron tiempo e investigación lo han dejado en el olvido sin causa alguna. Una de estas empresas que se dedicaron a la investigación de estos tipos de motores es la compañía Phillips, ya que para 1950 tenía trabajando un motor con una eficiencia del 38%, que es por supuesto muy superior a los motores de combustión interna (ciclo Otto y Diesel); pues para estos motores su eficiencia se encuentra alrededor de 20%.

## Capítulo 1

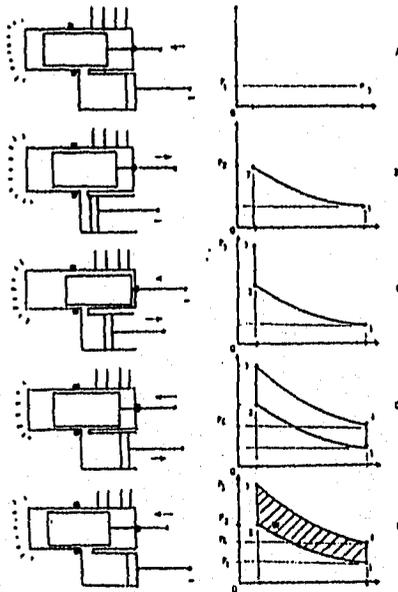
### Necesidades de energía en una vivienda convencional

---

En 1960 la General Motors, continuó las investigaciones con el fin de explotar este tipo de motor en el campo militar, espacial, y submarino, sin embargo, dicha compañía decidió suspender de manera sorpresiva su programa Stirling, dejando su proyecto en el olvido y a medio construir.

Por otro lado en 1972, Henry Ford II anunció un convenio con Phillips para producir un motor de automóvil, el cual resolvería el problema de emisiones indeseables en los motores convencionales. Para 1975 se terminó de fabricar un automóvil Torino de ciclo Stirling; este automóvil resulto ser muy prometedor, pues se comparó con un Ford Torino con motor convencional y los resultados fueron halagadores. Pero es aquí donde nos sorprendemos nuevamente, ya que todavía no existe comercialmente un automóvil con estas características.

En México este tipo de motores resolverían en gran parte muchísimos problemas, en sitios y regiones marginales donde el mantenimiento de máquinas complejas es imposible. Por ejemplo en el bombeo de agua, y en la generación de energía eléctrica de baja potencia.



## Capítulo 1

### Necesidades de energía en una vivienda convencional

#### 1.2.2 Fuentes renovables

##### Generación eólica.

Las turbinas de viento o molinos de viento convierten la energía del viento en trabajo mecánico. Para la producción de electricidad de AC, estos sistemas deben ser diseñados para operar a una velocidad angular constante dentro de un rango amplio de velocidades del viento para lograr una salida de frecuencia constante. Existen distintos tipos de máquinas eólicas, en las que se incluyen hélices y otros tipos de turbinas de flujo axial, así como también sistemas radiales montados en ejes verticales.

La potencia total en una turbina de viento es igual al producto del gasto másico por su energía cinética. Suponiendo un área constante o un flujo laminar, la ecuación de continuidad indica que el gasto másico será el producto del área normal al viento, por la densidad del mismo, por la velocidad del viento.

Esto se expresa:

$$\text{Energía total} = P_w = \frac{m w V^2}{2} = \frac{A\rho V^3}{2}$$

Puede notarse que la potencia varía con el cubo de la velocidad.

Desafortunadamente, no toda esta potencia puede ser recuperada en una turbina de viento porque la velocidad de salida no puede ser reducida a cero. De ser así, no habría flujo en la turbina.

Se puede estimar que la máxima potencia obtenible en la turbina de viento es del 59.3% de la potencia de entrada. La eficiencia real se aproxima al 47%.

El diseño y operación de generadores eólicos presenta algunos problemas. Si se desea generar corriente alterna, se requiere de una velocidad angular y de una fuerza constante. Sin embargo, la velocidad del viento tanto en magnitud como en dirección no es la misma ni es constante a lo largo de un rotor de un motor grande. Esto provoca severas cargas cíclicas en las hojas de la turbina o hélice, causando problemas de fatiga.

En ocasiones la velocidad del viento es demasiado baja como para producir una cantidad significativa de energía. Esto implica que los

## **Capítulo 1**

### **Necesidades de energía en una vivienda convencional**

---

generadores eólicos no pueden utilizarse como fuentes principales de energía, sino como sistemas de respaldo y de almacenamiento de energía.

En otro caso extremo, cuando la velocidad del viento es muy alta, se deben tener medios para desactivar el sistema, puesto que se puede llegar a destruir el mismo sistema.

Históricamente se ha visto que el daño a molinos de viento es provocado más comúnmente por un exceso de velocidad que por otras causas naturales.

#### **Aplicaciones de máquinas eólicas:**

Los molinos de viento han sido utilizados desde el siglo X para bombeo de agua, moler granos y algunas otras aplicaciones de poca potencia.

La máquina más conocida es la llamada molino americano, que desde 1890 ha tenido presencia en EUA, y que tiene las características ser autodireccional, con gobernador de velocidad y protección contra sobrevelocidad. Este molino es capaz de bombear 38 litros de agua por minuto a una altura de 30 metros, con una velocidad de viento de 6.5 m/s (15mph).

Algunos de los generadores experimentales construidos llegaron a generar hasta 2.5 MW, con diámetros de rotores de hasta 107 metros. Su costo es también muy elevado -USD \$ 1millón.

Durante la década de los 80's se construyeron en California, EUA, cerca de 6700 turbinas de viento en lo que se llamó "granjas eólicas", con una capacidad total de 630 MW. Estas son generalmente del tipo hélice. La mitad de la energía eléctrica eólica producida en el mundo proviene de esta región.

#### **Ventajas:**

- Energía limpia.
- Cero costos de combustible.
- Fuente renovable.

#### **Desventajas:**

- No es utilizable como fuente primaria (operación intermitente)
- No es aplicable a todos los lugares.
- Alto costo inicial, y de mantenimiento.
- Baja densidad de potencia.

## **Capítulo 1**

### **Necesidades de energía en una vivienda convencional**

#### **Generación solar**

La más abundante fuente de energía disponible es la solar, específicamente la radiación electromagnética proveniente del Sol.

Aún cuando actualmente la energía solar no se usa como fuente primaria de energía, se investiga y se desarrollan medios para lograr sistemas atractivos económicamente para utilizarla. La energía solar es atractiva puesto que no contamina, y es gratis.

Las principales desventajas radican en su baja densidad y en su gran dependencia de las condiciones atmosféricas y de rotación de la Tierra. Esto obliga a tener grandes áreas de colección y sistemas de almacenamiento.

La energía solar puede ser convertida directamente en otras formas mediante tres procesos.

- 1.-Procesos fotoquímicos, tales como la fotosíntesis, que es el origen de la biomasa y los combustibles fósiles.
- 2.-Procesos fototérmicos, en los que se convierte la radiación en energía térmica.
- 3.-Procesos fotoeléctricos, tales como la producción de electricidad por celdas fotovoltaicas.

El total de la radiación solar que incide sobre un área unitaria se llama insolación. Esta es la suma de la luz directa, la difusa-dispersa, y la reflejada de las áreas vecinas.

La insolación depende de la hora del día, la temporada del año, la latitud local, la nubosidad, la contaminación atmosférica, etc.

#### **Colectores solares:**

La energía solar se aplica tanto para la generación de electricidad directamente por celdas solares, como para acondicionar agua y aire. En formas indirectas de generación se suele concentrar la radiación para producir energía térmica de alta temperatura, como en los generadores de Odeillo, en Francia, y el de Barstow, en California, EUA. En este último se tiene un arreglo de espejos llamados heliostatos, que siguen al Sol y enfocan la radiación hacia un receptor colocado en una torre de 91 metros

## **Capítulo 1**

### **Necesidades de energía en una vivienda convencional**

de altura. El costo de esta planta fue de USD\$140,000,000 y produce 10 MW, lo que significa un costo de USD\$14.00/KW.

Colectores solares con motores de aire caliente:

Recientemente se han diseñado colectores solares que concentran la energía en pequeños motores Stirling, los que están conectados a generadores. De esta manera se transforma la energía solar en electricidad, aunque su eficiencia es pequeña.

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

#### **2.1 Descripción de un sistema fotovoltaico**

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser definidos como un conjunto de elementos que conectados de una manera particular, permiten obtener a partir de energía solar, energía eléctrica y formar una unidad productora de potencia útil. El elemento principal del sistema es el módulo fotovoltaico, que capta la energía solar y la transforma directamente en corriente eléctrica (DC).

Cuando la energía se requiere constantemente (día, noche y nublados) es necesario contar con un banco de almacenamiento de energía, como son las baterías, un controlador y, en los casos que se requiera corriente alterna, de un inversor.

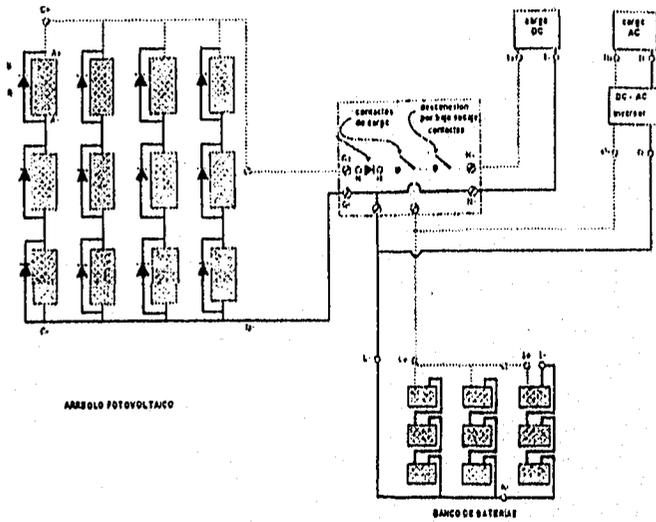
El controlador protege el banco de baterías para que éstas no sufran cargas o descargas excesivas. Además permite verificar y proteger el funcionamiento del sistema. El banco de baterías está conectado al controlador y almacena toda la energía generada durante las horas de insolación y la transmite a la carga acoplada tanto de día como de noche.

El inversor recibe la corriente continua de las baterías y las transforma en corriente alterna. Las cargas se acoplan ya sea a las baterías si son de corriente continua, o al inversor cuando son de corriente alterna.

El esquema general de bloques de cualquier tipo de instalación fotovoltaica, se muestra en la figura 2.1. En ella se observa que el suministro se realiza mediante dos líneas, una alterna acoplada a 120 volts y otra de corriente continua de 12 volts.

## Capítulo 2 Sistema fotovoltaico

---



## **2.2 Elementos básicos de un sistema fotovoltaico**

### **2.2.1. Celdas solares**

Las celdas solares son dispositivos de estado sólido que convierten la energía solar directamente en energía eléctrica ( DC ); al fenómeno en el cual se basa su funcionamiento se le conoce como "Efecto fotovoltaico". Este término se deriva de "foto" (luz) y "voltaico"(producir una corriente eléctrica).

Este fenómeno físico se descubrió en 1839, por el físico francés H. Becquerel; pero no fue sino hasta mediados del siglo XX cuando las circunstancias hicieron que tuvieran su primera aplicación práctica.

Para entender el efecto fotovoltaico, se tiene que hacer referencia al efecto fotoeléctrico; este fenómeno consiste en la emisión de electrones cuando un material es irradiado con energía luminosa. Este fenómeno se pudo explicar a principios de este siglo por A. Einsten (1905), quien propuso que la luz no es un fenómeno únicamente ondulatorio sino que la luz interactúa con la materia en forma cuantizada. La energía luminosa se transfiere a la materia en forma corpuscular (partículas), donde a cada corpúsculo con energía se le da el nombre de fotón.

### **Principio de operación**

Para entender el funcionamiento de una celda solar, iniciamos con un breve repaso de la teoría electrónica. Como ya sabemos, el modelo atómico de Borh, considera a los átomos de los elementos como un núcleo rodeado de órbitas que contienen electrones, y dicho núcleo tiene protones con carga positiva y los electrones con carga negativa. Por ejemplo un átomo de Silicio tiene 14 protones en su núcleo y 14 electrones distribuidos en sus órbitas, como se puede observar en la figura 2.2; el átomo tiene 2 electrones en su primera órbita , 8 en la segunda y 4 en la órbita exterior o de valencia. Esta órbita exterior es sumamente importante, pues cuando un átomo de silicio puro se combina con otros

Capítulo 2  
Sistema fotovoltaico

---

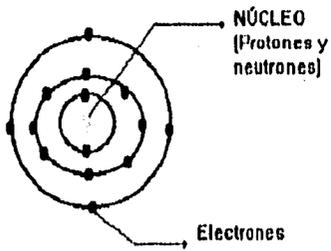


FIG 2.2.

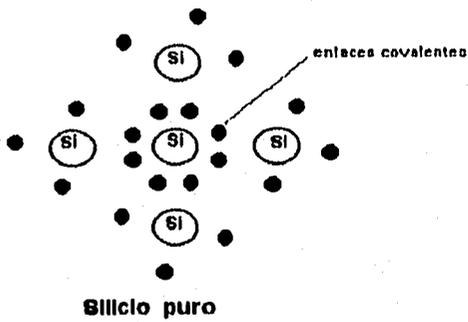


FIG 2.3.

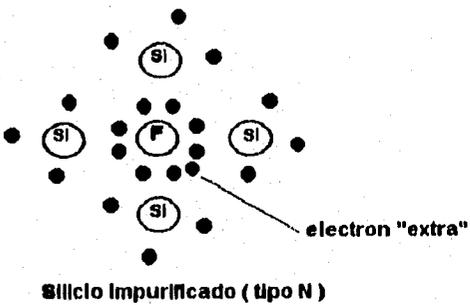


FIG 2.4.

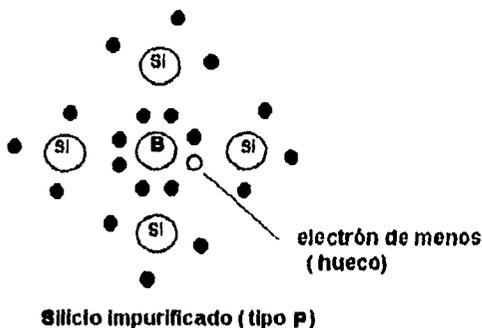


FIG 2.5

cuatro átomos contiguos de su misma clase, para formar un sólido, lo hace compartiendo estos 4 electrones de dicha órbita, dando como resultado que dicha órbita de valencia llegue a compartir 8 electrones. Es decir, cada átomo perteneciente a un par, da uno de los dos electrones que forman el enlace; estas fuerzas que logran mantener a los átomos unidos entre sí son los enlaces covalentes (comparten dos electrones), como se puede observar en la figura 2.3.

Al combinarse los átomos de Silicio siguiendo una configuración ordenada, da como resultado una estructura llamada cristal, que a su vez forma un sólido. Un cristal puro también suele llamarse semiconductor intrínseco; en la mayoría de las aplicaciones, este material no es de gran utilidad pues no hay suficientes electrones libres para producir una corriente eléctrica útil; por esta razón los materiales intrínsecos se impurifican, este proceso consiste en incorporar a una estructura cristalográfica átomos de un elemento diferente que tenga mayor o menor número de electrones de valencia que el material base. Una vez impurificado el material se le denomina semiconductor extrínseco.

Como ya se mencionó, un semiconductor de silicio tiene cuatro electrones de valencia. En un cristal estos electrones se comparten entre cuatro átomos contiguos unidos entre sí por medio de enlaces covalentes. Si se incorporan al cristal de Silicio pequeñas cantidades de átomos de impureza que contengan cinco electrones de valencia, por ejemplo el fósforo, el material tendrá mayor número de electrones libres que de huecos (ver figura 2.4). A un material al que se le agreguen impurezas pentavalentes, se le llama semiconductor tipo "N" (negativo).

**Capítulo 2**  
**Sistema fotovoltaico**

---

Si por el contrario, incorporamos al material semiconductor puro átomos de impurezas como el boro, que tiene 3 electrones de valencia, el material tendrá mayor número de huecos que de electrones (ver figura 2.5), se dice que el semiconductor es de tipo "P" (positivo).

Una vez comprendido el concepto de un semiconductor tipo P y N, cabe mencionar que cada electrón al adquirir suficiente energía puede dejar su estado original y pasar a un estado energía diferente, es decir; el electrón puede cruzar la banda prohibida y pasar a la banda de conducción, dejando un hueco en su lugar. Tanto electrones como huecos se pueden mover. Ahora bien, en un semiconductor intrínseco a baja temperatura todos los electrones se encuentran en la banda de valencia, un aumento en la temperatura hace que unos cuantos electrones pasen de dicha banda hacia la banda de conducción; esto se puede ilustrar mediante bandas de energía (ver figura 2.6).

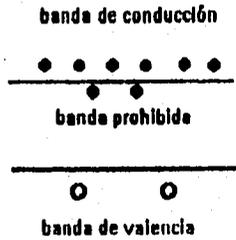


FIG 2.6 BANDA DE ENERGÍA TIPO N

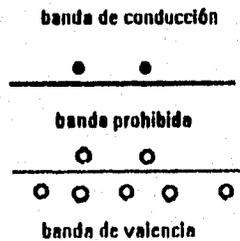


FIG 2.7 BANDA DE ENERGÍA TIPO P

Capítulo 2  
Sistema fotovoltaico

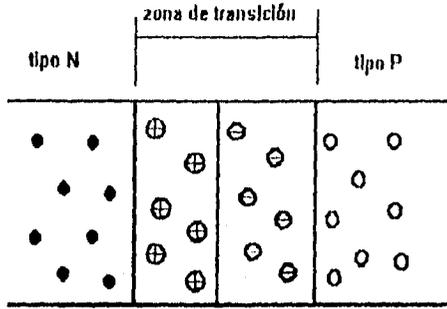


FIG.2.8

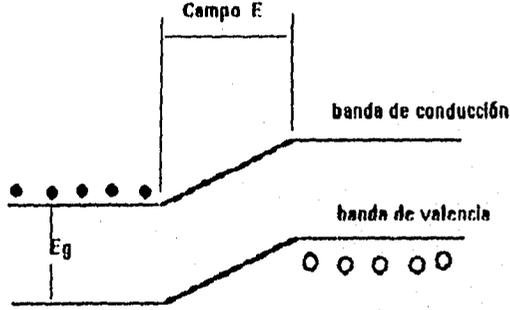


FIG. 2.9

En un semiconductor de tipo "N", los electrones de sobra o libres, al tener libertad de movimiento, tendrán energías más próximas a la banda de conducción. Análogamente, si hablamos de un material de tipo "P", los portadores mayoritarios estarán más cerca de la banda de valencia. (ver figura 2.7).

Por otro lado cuando dos cristales de tipo opuesto "N y P" se unen, los portadores mayoritarios de cada semiconductor; pueden pasar al material opuesto atravesando la unión, es decir, habrá transferencia de electrones y huecos entre los dos materiales. A este movimiento natural de las partículas se le denomina difusión; sin embargo, la transferencia de huecos y electrones se detendrá después de un corto periodo, debido a que en la interfaz entre los dos materiales la carga eléctrica ya no estará balanceada y aparecerá un campo eléctrico interno. Este campo tendrá una dirección tal que se opondrá al movimiento subsecuente de electrones de la región N hacia la P, y de huecos desde la región P hacia la N. (ver figura

## Capítulo 2 Sistema fotovoltaico

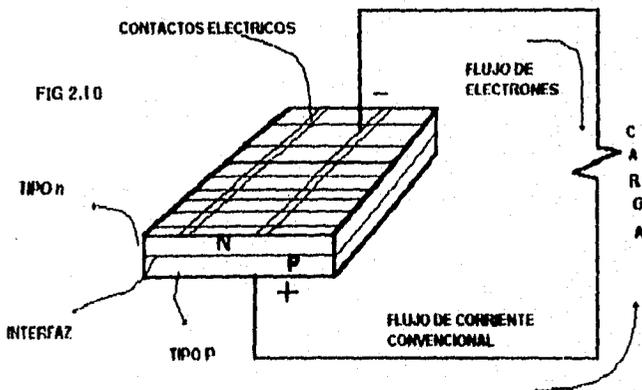
2.8). Como resultado de dicha unión se crea un dispositivo llamado diodo (dos electrodos).

Con estos antecedentes que acabamos de recordar, podemos explicar a continuación cómo una celda solar puede convertir la energía solar en energía eléctrica, pues una celda solar está constituida de una unión semiconductora N y P, como se puede apreciar en la figura 2.9.

La región N es la capa superior, pues ahí es donde penetran los rayos luminosos; la región P es la capa posterior, y como ya se mencionó la luz está constituida por fotones con energía, y si dicha energía es lo suficientemente grande como para liberar electrones de los enlaces del material, se generarán pares electron-hueco que podrán moverse en el interior del material, y es aquí donde se ve la importancia del campo eléctrico interno antes mencionado. El campo evitará el flujo de huecos desde la región P hacia la N y de electrones de la región N hacia la P, por lo que estos portadores (electrones y huecos) generados por la luz serán separados antes que se recombinen y podrán fluir a través de un circuito externo proporcionando una carga eléctrica.

Para extraer la corriente generada por la celda al ser iluminada se necesitan contactos metálicos en sus bornes superior y posterior, el contacto óptico superior tiene forma de rejilla con el fin de permitir el paso de los rayos solares a la celda. El contacto posterior cubre totalmente esta superficie de la celda, como se puede observar en la figura 2.10.

Es también importante mencionar que una celda solar sólo puede aprovechar la energía que absorbe; por lo tanto, es necesario reducir al mínimo la reflexión de la luz y así aumentar la eficiencia de conversión.



## Capítulo 2

### Sistema fotovoltaico

---

#### Materiales

El componente básico de un sistema fotovoltaico es la celda solar, que debe fabricarse de un material semiconductor. Aunque es posible en la actualidad encontrar una gran variedad de materiales, el más común es el Silicio, pues forma la cuarta parte de la corteza terrestre. A continuación se mencionan los diferentes materiales para la fabricación de celdas solares:

- Silicio amorfo,
- Silicio monocristalino.
- Silicio policristalino.
- Arsenuro de galio. ( GaAs ).
- Sulfuro de cadmio ( CdS ).
- Teluro de cadmio ( CdTe ).

Las celdas fabricadas a base de Silicio amorfo (sin cristal), se conocen también como celdas de película delgada; son muy comunes pues las encontramos en relojes de pulso, calculadoras, etc. Este tipo de material absorbe muy bien la luz solar y puede ser extremadamente delgada (un micrómetro); su desventaja es su bajo índice de eficiencia pues oscila entre 7 y 12%, bajo la luz normal.

Las celdas a base de Silicio monocristalino (un sólo cristal) y los de Silicio policristalino son las que tienen mayor comercialización. El primero ofrece una mayor eficiencia fotovoltaica, pues bajo la luz normal su eficiencia se encuentra alrededor del 23%; sin embargo su desventaja radica en que su costo es más alto comparado con la celda policristalina, debido a que deben ser un poco más gruesas. Las celdas fabricadas a base de Silicio policristalino tienen un menor índice de eficiencia, 15 al 17% con luz normal, pero como ya se mencionó su producción es más económica.

## Capítulo 2

### Sistema fotovoltaico

---

Los materiales restantes, que se desarrollan para la energía fotovoltaica, se encuentran en experimentación, pues se considera que pueden alcanzar eficiencias mayores al 23%.

Las técnicas y secuencias de fabricación de una celda solar pueden variar de una tecnología a otra. Un caso particular para la fabricación de celdas es el que se realiza en Centro de Investigación de Estudios Avanzados ( CINVESTAV ). En éste se utiliza la técnica de difusión térmica, pues es la más usada actualmente en la fabricación de dispositivos electrónicos a base de semiconductores. Esta técnica consiste en calentar el semiconductor de alta pureza (silicio ) a altas temperaturas en un tubo saturado con los átomos de impurezas que se desean introducir; al calentarse, el material se dilata y las impurezas se introducen por el fenómeno de difusión.

Con el objeto de tener un panorama más amplio de las etapas para fabricar una celda se menciona a continuación el método de obtención del silicio.

#### Obtención del silicio

El método de Czochralski es el que más se utiliza para la obtención del silicio para celdas solares; consiste en la inmersión de una pequeña muestra de silicio cristalino ( semilla ), en un recipiente en el cual se ha fundido silicio metalúrgico de alta pureza; la semilla se jala lentamente hacia afuera (tiramiento) y se rota alrededor de un eje que coincide con la dirección del tiramiento, de tal modo que el fundido se cristaliza alrededor de la semilla. El resultado es una barra de sección transversal aproximadamente circular, llamada lingote. Las dimensiones ( largo y diámetro ) del lingote dependen de las condiciones del proceso y del equipo utilizado.

El tipo de semiconductor resultante dependerá del tipo de impureza que se le haya agregado al silicio fundido; en el caso de un material de tipo N sus impurezas serán de fósforo y para el semiconductor tipo P sus impurezas serán de boro ( ver figura 2.11).

Una vez obtenido el lingote se realiza una rectificación mecánica, con el fin de formar un cilindro de sección uniforme, que después se cortara en laminas de sección transversal circular llamadas "obleas".

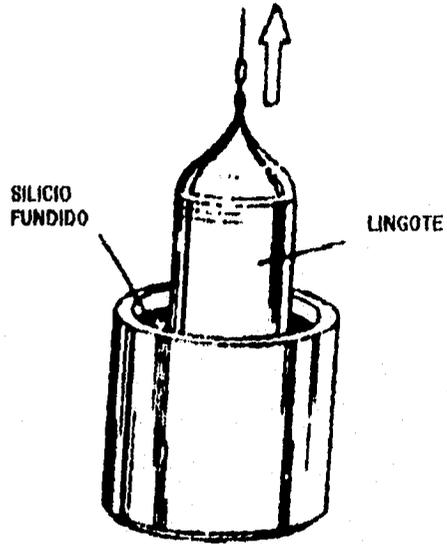


FIG. 2.11

## Capítulo 2

### Sistema fotovoltaico

---

#### Etapas de fabricación de una celda solar

Después de obtener la oblea circular, se realiza el proceso de fabricación que a continuación se describe, en el cual se considera que el material de partida es el silicio monocristalino tipo "P", cuya dimensión es de 3 pulgadas de diámetro.

#### 1.- Limpieza y pulido químico.

Este proceso se realiza mediante sustancias químicas para eliminar las grasas en la superficie de la oblea y eliminar los daños mecánicos producidos por el corte del material.

#### 2.- Difusión térmica del fósforo.

Es la formación del emisor tipo "N" (superficie superior), se realiza mediante la difusión térmica de fósforo a una temperatura de 900 °C; para difundir en el silicio impurezas de fósforo, obteniendo un espesor del emisor de 0.000050 cm (0.5 micras), es decir, es la profundidad a la que penetran los átomos del fósforo en un tiempo de 30 minutos.

#### 3.- Aplicación de la capa antirreflejante ( SnO<sub>2</sub> ).

Esta película o capa es de bióxido de estaño, que se deposita sobre la superficie del emisor ( material negativo o región difundida ) por roclo químico. La técnica consiste en calentar la pieza entre ( 300°C y 400°C ) y rociarla con cloruro de estaño diluido con alcohol; la película resultante es de color azul marino y tiene un espesor aproximadamente de 8 Armstrongs ( 1A= 0.00000010cm).

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

#### **4.- Formación de contactos.**

Una vez realizada la difusión, se adicionan los contactos eléctricos en un equipo de alto vacío en el que se funde titanio y plata, depositándolos en la superficie de la oblea, en la terminal del emisor (material N) en forma de enrejado y en forma continua para la superficie posterior (material P).

#### **5.- Engrosamiento de contactos.**

El espesor de los contactos eléctricos formados es muy pequeño, aproximadamente de 2500 Å, por lo tanto, es necesario un depósito adicional de soldadura de plomo-estaño (Pb-Sn). Ésta se lleva a cabo por inmersión de la muestra en soldadura plomo-estaño previamente fundida.

#### **6.- Eliminación de cortos circuitos.**

Durante el proceso de fabricación, los polos positivo y negativo de una celda quedan conectados a través del borde, entonces estas conexiones se eliminan mediante un decapado mecánico. (ver figura 2.12)

## Capítulo 2

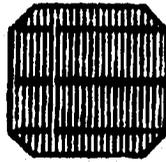
### Sistema fotovoltaico

---

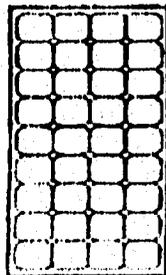
#### Características eléctricas de una celda solar

Considerando que una celda solar es un dispositivo generador de energía eléctrica de baja potencia, es necesario hacer interconexiones de estas mismas para obtener una fuente de potencia útil. Esto se realiza interconectando celdas unitarias en una estructura metálica de acuerdo a las necesidades del usuario; comúnmente esta estructura es la que encontramos comercialmente y se llama módulo fotovoltaico. Por obvias razones el fabricante especifica sus características eléctricas nominales como son, voltaje nominal, corriente nominal, y potencia.

A su vez estos módulos se pueden interconectar entre ellos para formar un "panel" y así incrementar la capacidad de generación eléctrica; como se observa en la figura 2.13.

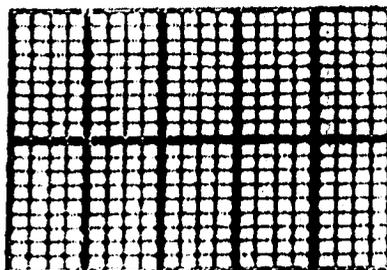


CELDA



MÓDULO

FIG 2.13



PANEL

FIG. 2.13

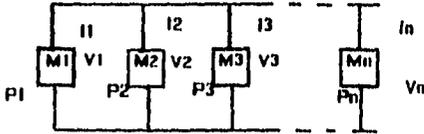
El diseño de un sistema fotovoltaico responde a las necesidades de potencia, voltaje, corriente y carga que demanda el sistema, por tal motivo es necesario conectar los módulos fotovoltaicos ya sea en paralelo o serie.

La conexiones en paralelo generalmente se realizan para incrementar la intensidad de corriente, mientras que el voltaje permanecerá constante y la potencia total del arreglo será la suma de todas las potencia individuales de cada módulo.

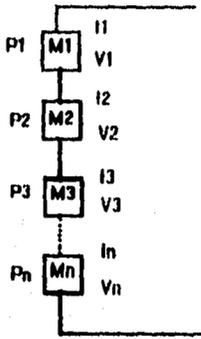
La conexión en serie permite como en el caso anterior modificar las capacidades de operación, pero con la diferencia que el voltaje total es la suma de cada módulo individual, mientras la intensidad de corriente permanecerá constante en todo el arreglo. La potencia resultante del arreglo es el producto de la corriente y voltaje total del sistema ( $P=VI$ ). ver figura 2.14.

El funcionamiento de una celda solar tiene un comportamiento similar al de un diodo común, pero la diferencia radica en que una celda es una unidad productora o generadora de corriente eléctrica. A continuación se muestra las curvas características de funcionamiento de una celda solar bajo iluminación y en la obscuridad figura 2.15.

**Capítulo 2**  
**Sistema fotovoltaico**

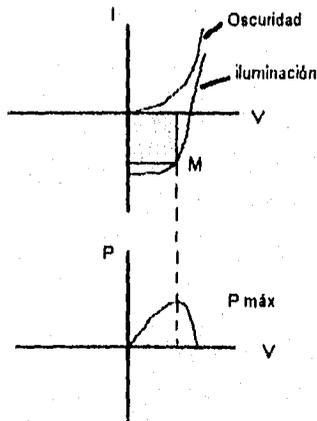


**CONEXION EN PARALELO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO**



**CONEXION SERIE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO**

**FIG 2.14.**



**FIG. 2.15.**

## Capítulo 2

### Sistema fotovoltaico

---

Observando estas curvas, se deduce que únicamente el dispositivo en este caso la celda solar, puede entregar potencia en donde el producto  $V \times I$  es negativo, lo que significa que el dispositivo se comporta como un generador de corriente eléctrica.

Una celda solar puede ser representada mediante un circuito equivalente, en el cual se deben de tomar dos condiciones muy importantes. Una de ellas es la condición de corto circuito y la otra condición es de circuito abierto.

Para esto sabemos que una celda solar se comporta como un diodo fotogenerador de corriente y que esta corriente es directamente proporcional a la intensidad de luz incidente a la superficie iluminada. El voltaje generado varía logarítmicamente con el nivel de insolación, siendo máximo en condición de circuito abierto  $V_{ca}$  ( voltaje de circuito abierto).

La celda solar se puede esquematizar, mediante un diodo y una fuente de corriente llamada  $I_{cc}$  (figura 2.16); entonces la condición de corto circuito se presenta cuando las terminales de la celda están unidas, obteniendo la máxima corriente. Esta corriente se obtiene al hacer la resistencia de carga igual a cero ( $R=0$ ), por lo que el voltaje será cero volts. Ahora, si analizamos la condición de circuito abierto, se presenta con las terminales abiertas; el voltaje ( $V_{ca}$ ) se obtiene al hacer la resistencia de carga infinita ( $R=\infty$ ), por consecuencia la corriente será cero; obteniendo así el máximo voltaje. (ver figura 2.17).

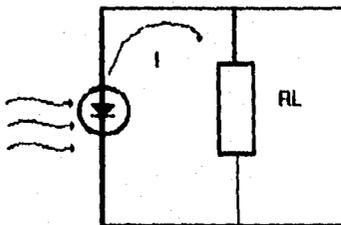


FIG 2.16.

## Capítulo 2

### Sistema fotovoltaico

---

Observando estas curvas, se deduce que únicamente el dispositivo en este caso la celda solar, puede entregar potencia en donde el producto  $V \times I$  es negativo, lo que significa que el dispositivo se comporta como un generador de corriente eléctrica.

Una celda solar puede ser representada mediante un circuito equivalente, en el cual se deben de tomar dos condiciones muy importantes. Una de ellas es la condición de corto circuito y la otra condición es de circuito abierto.

Para esto sabemos que una celda solar se comporta como un diodo fotogenerador de corriente y que esta corriente es directamente proporcional a la intensidad de luz incidente a la superficie iluminada. El voltaje generado varía logarítmicamente con el nivel de insolación, siendo máximo en condición de circuito abierto  $V_{ca}$  ( voltaje de circuito abierto).

La celda solar se puede esquematizar, mediante un diodo y una fuente de corriente llamada  $I_{cc}$  (figura 2.16); entonces la condición de corto circuito se presenta cuando las terminales de la celda están unidas, obteniendo la máxima corriente. Esta corriente se obtiene al hacer la resistencia de carga igual a cero ( $R=0$ ), por lo que el voltaje será cero volts. Ahora, si analizamos la condición de circuito abierto, se presenta con las terminales abiertas; el voltaje ( $V_{ca}$ ) se obtiene al hacer la resistencia de carga infinita ( $R=\infty$ ), por consecuencia la corriente será cero; obteniendo así el máximo voltaje. (ver figura 2.17).

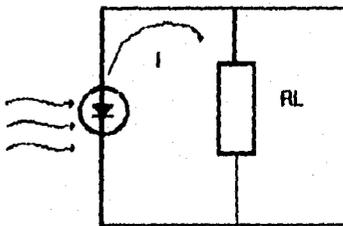


FIG 2.16.

## Capítulo 2

### Sistema fotovoltaico

---

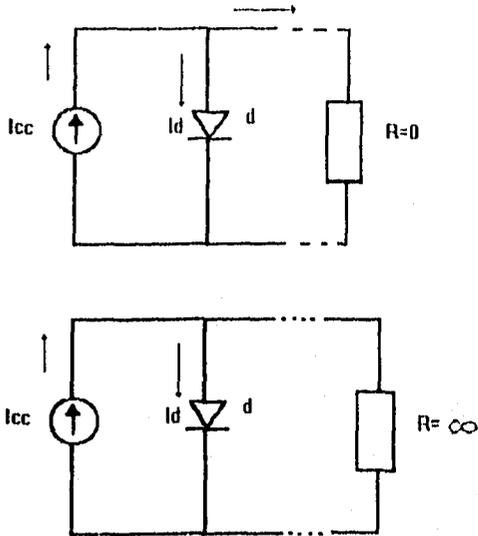


FIG 2.17.

Por otra parte, la celda solar presenta efectos de resistencia; esto es debido a que los semiconductores presentan una resistencia eléctrica al paso de la corriente. Podemos hablar de dos tipos de resistencia eléctrica de una celda:

- a) Resistencia de fuga ( $R_f$ ).
- b) Resistencia serie ( $R_s$ ).

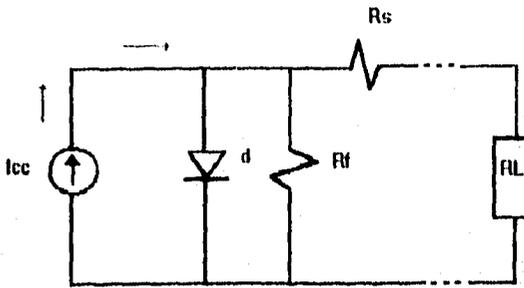
En el primer caso la resistencia se debe a la conductividad superficial, es decir; su origen puede deberse a fugas de corriente por la superficie de los bornes de la celda, originado por el depósito de partículas de titanio y plata durante el proceso de adición de contactos eléctricos.

La resistencia en serie ( $R_s$ ), es debido a la resistividad de los semiconductores y a la resistencia de los contactos metálicos en la superficie de la oblea. Por lo tanto, al considerar estos dos factores de

**Capítulo 2**  
**Sistema fotovoltaico**

---

resistividad, se obtiene un circuito equivalente a una celda solar (ver figura 2.18).



**FIG 2.18** CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA CELDA SOLAR

### 2.2.2 Controladores de Carga

Los módulos fotovoltaicos permiten transformar la energía solar en electricidad, esta energía eléctrica que generan los módulos fotovoltaicos se vería desaprovechada si no se cuenta con un sistema de control adecuado.

Un controlador es un dispositivo electrónico cuya función principal es proteger al sistema fotovoltaico contra sobrecargas y descargas excesivas, proporcionando así una mayor confiabilidad a todo el sistema, permitiendo una eficiente conducción y control de la energía generada.

Los controladores generalmente están alojados en un gabinete de aluminio laqueado en cuyo frente se encuentran los indicadores luminosos, interruptor, fusible y tira de conexión para cables hasta calibre No 8.

Los controladores se pueden encontrar con diferentes funciones de control y en una amplia variedad de capacidades, así como voltajes de operación. De tal forma; para efectos de diseño, el amperaje es tal vez el factor más delicado para la elección del controlador, por esta razón el fabricante debe proporcionar su capacidad en amperes. El controlador seleccionado deberá soportar la máxima corriente producida por el sistema, de tal modo que entre mayor sea el voltaje en el sistema, se tendrá un valor menor de corriente ( de acuerdo a la ecuación  $P=VI$  ). De esta forma el controlador requerido será uno de menor capacidad de amperes, en comparación con el voltaje de operación.

A continuación se describen algunas de las características generales de operación con las que cuentan los controladores:

a) Desconexión por alto voltaje.

Quando tenemos un voltaje arriba de su valor nominal, el controlador permite desactivar el flujo de corriente en todo el sistema, y así protegerlo de sobrecargas excesivas. Por ejemplo, un controlador de carga desactivará el sistema cuando detecta 2.3 volts por celda para baterías de 2 volts, o 14.2 volts en baterías cuando su valor nominal es de 12 volts, previniendo de esta manera al sistema e incrementando la vida útil de la batería.

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

b) Desconexión por bajo voltaje.

En este caso sucede a la inversa, ya que se recomienda para todos los sistemas fotovoltaicos prevenir a sus baterías de descargas excesivas, efectuando una desconexión temporal de la carga.

c) Protección contra polaridad invertida.

En el caso de invertirse la polaridad por el mal manejo de equipo o de alguna conexión protege al sistema de algún daño.

d) Medidor de voltaje.

Establece el estado de carga actual de la batería; es decir, indica si la batería está operando a su voltaje nominal, ya que puede descargarse y dañar el sistema y a la batería misma.

e) Protección contra retorno de corriente.

Se evita el retorno de la energía de la batería hacia la celda durante la noche, eliminando de este modo el diodo de bloqueo.

### **2.2.3. Baterías**

Una batería o acumulador es un dispositivo que emplea energía química almacenada para producir energía eléctrica útil. Una batería puede construirse físicamente a partir de una celda única o muchas celdas interconectadas.

La gran variedad de dispositivos alimentados por baterías refleja el uso común y la conveniencia de estos elementos, por lo tanto existe una producción comercial de una gran variedad de tamaños, tipos de baterías, y la continua aparición de nuevos modelos y formas.

Las baterías se clasifican de la siguiente manera:

- 1.-Baterías primarias.
- 2.-Baterías secundarias.
- 3.-Baterías de reserva.

Las baterías primarias son aquellas que han sido diseñadas para una sola descarga, es decir; no se pueden recargar. Las baterías secundarias son las que se pueden recargar o se destinan a cargas y descargas sucesivas. Las baterías de reserva constituyen la tercera categoría, tienen como fin ser químicamente estables durante largos periodos de almacenamiento y se activan inmediatamente antes de su uso, mediante la adición de agua o electrolito.

El principio de funcionamiento de las baterías es por lo general el siguiente: Esencialmente las baterías constan de dos celdas en un electrolito común. Una celda a su vez consiste en un electrodo sólido sumergido en una solución electrolítica, esta puede ser líquida o sólida, contiene por lo menos una sustancia química capaz de reaccionar en el electrodo ya sea para liberar o absorber electrones mientras que la otra debe liberarlos. Al estar las celdas sumergidas en un electrolito común y conectadas mediante un alambre a través de un circuito externo, la carga en cada electrodo se neutraliza y se puede realizar una reacción química, fluyendo así corriente a través del circuito externo, esta corriente puede realizar trabajo y representa la energía útil liberada por la batería.

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

Hay diferentes tipos de baterías primarias y secundarias comerciales:

Baterías primarias ( baterías secas ).

- Carbono-Zinc.
- Alcalinos-Magnesio
- Mercurio-Zinc
- Plata-Zinc.
- Zinc-Aire.

Baterías secundarias.

- Sistema Plomo-Ácido
- Sistema Níquel-Hierro.
- Sistema Níquel-Cadmio.
- Sistema Níquel-Zinc.
- Sistema Plata-Zinc.

En la mayoría de las aplicaciones de los generadores fotovoltaicos es imprescindible la utilización de algún sistema de acumulación de energía eléctrica. Las funciones de un acumulador se resumen como sigue:

- a) Suministro de energía en horas de no insolación o en épocas de menor insolación.
- b) Garantizar una autonomía en días nublados.
- c) Garantizar, en conjunción con el controlador, una tensión de voltaje constante de funcionamiento.

Los acumuladores convencionales no son suficientemente adecuados para cubrir las exigencias de la generación fotovoltaica; ante la falta de tal acumulador, el usuario, no siempre bien aconsejado, instala lo que encuentra en el mercado. Para la elección del acumulador de un sistema fotovoltaico deben tomarse en cuenta las siguientes características.

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

- Alto rendimiento en procesos de carga y descarga para diferentes estados de carga del acumulador.
- Cuando el acumulador esta en circuito abierto debe tener baja autodescarga.
- Alta capacidad para hacer más lenta su descarga.
- No sufrir deterioros irreversibles por permanencia prolongada en estado de baja carga.
- Resistir ciclos diarios de cierta profundidad de descarga.
- Permitir alcanzar un bajo estado descarga mínimo en el ciclo anual.
- Larga vida y mínimo costo.
- Mínimo mantenimiento.

Existen varias alternativas para la elección del acumulador de acuerdo a la función que deba cumplir en la instalación fotovoltaica; según sea esa misión el acumulador a utilizar se puede definir como:

- 1.-Baterías de ciclo diario superficial.
- 2.-Baterías de ciclo anual.
- 3.-Baterías de ciclo diario profundo.

#### **Baterías de ciclo diario superficial.**

Esta forma de operar de una batería es la más común, ya que sólo abastece el consumo diario en horas de no insolación. El acumulador debe cargarse totalmente antes de la puesta del sol y mantener este comportamiento a lo largo de todo el año. Únicamente en los días nublados el acumulador se descarga hasta un límite que debe ser indicado por el fabricante de baterías, para después cargarse totalmente en unos pocos días tras el periodo nublado. En estas circunstancias el panel suministrará a lo largo del año mucha más energía que la exigida por la demanda de consumo.

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

#### **Baterías de ciclo anual.**

El acumulador debe abastecer el consumo diario durante la noche, y en los meses de menor insolación, dando origen a una evolución cíclica anual del estado de carga. Además el acumulador debe garantizar días de autonomía en los cuales su capacidad final no debe ser inferior a un valor prefijado por el fabricante.

En la presente forma de operar, el número de celdas solares necesarias es menor que el caso anterior para las mismas condiciones de instalación. La capacidad de aprovechamiento de la energía es mayor que la de ciclo diario, es decir, tiene un mejor aprovechamiento la energía suministrada por el panel fotovoltaico que el conseguido por el caso anterior.

#### **Baterías de ciclo diario profundo.**

Este modo de funcionamiento implica abastecer energía en las horas nocturnas y no es capaz de garantizar, como en los casos anteriores, los días de autonomía. El funcionamiento del sistema fotovoltaico no depende, como en los dos casos anteriores, del acumulador, sino de otra fuente auxiliar de energía; este sistema implica que la energía que suministra el panel es aprovechada al máximo, al contrario de los casos anteriores.

### 2.2.4 Inversores.

Un inversor es aquel dispositivo eléctrico o electrónico que puede convertir corriente continua en alterna. La mayoría de los inversores siguen el principio de acoplamiento de un generador y un motor de DC; sin embargo, con el surgimiento de componentes electrónicos de estado sólido capaces de operar de una fuente de corriente continua, se han podido diseñar inversores totalmente electrónicos, llamados inversores estáticos.

En el consumo de la energía solar fotovoltaica para casas unifamiliares, existe el inconveniente de la generación de corriente continua, por lo tanto, es aquí donde el inversor juega un papel importante, puesto que es más barato ( a largo plazo ) y práctico conseguir un inversor, que cambiar todos los electrodomésticos para que puedan operar con corriente continua. Esto se debe a que en el mercado encontramos todos los electrodomésticos diseñados para trabajar con corriente alterna. Por lo tanto para no tener este problema se debe de disponer de un inversor a la salida de la batería, un inversor estático para producir una salida alterna de 120 volts a 60 hz. (ver figura 2.19).

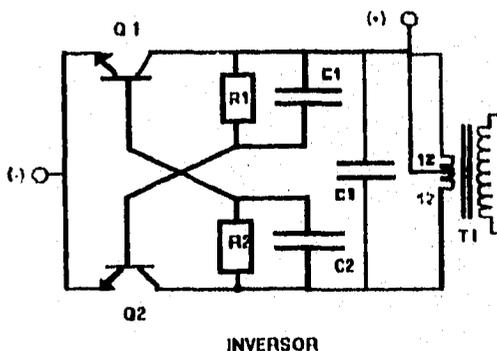


FIG 2.19.

## **Capítulo 2**

### **Sistema fotovoltaico**

---

La figura anterior nos muestra un sistema fotovoltaico con distribución en corriente alterna. El inversor debe reunir las siguientes cualidades:

- Elevado rendimiento para aprovechar la mayor energía captada por las baterías.
- Elevada confiabilidad.
- Características de estabilidad y distorsión de salida adecuada

Las especificaciones principales del inversor, dadas por el fabricante son las siguientes: Tensión de entrada nominal, tensión y frecuencia de salida y potencia de salida nominal.

Hay que observar que en la instalación para una vivienda unifamiliar alimentada por energía solar, se deben minimizar los consumos, eligiendo los aparatos y usándolos adecuadamente para su cálculo y elección de los dispositivos utilizados.

**2.3 Mantenimiento de un sistema fotovoltaico.**

Los sistemas fotovoltaicos requieren un mínimo de mantenimiento. A continuación se mencionarán las precauciones que se necesitan para un buen mantenimiento.

a) Revisar las baterías por lo menos cada 3 meses de la siguiente forma.

1.-Apagar el interruptor general del controlador.

2.-Para cada celda de la batería.

-Quitar el tapón.

-Revisar el nivel de ácido; éste debe estar a un centímetro arriba de las placas.

-Si es necesario, agregar agua destilada para llenar la celda.

-Poner de vuelta el tapón.

3.-Revisar las terminales positivo y negativo, si están muy sucias, limpiarlas y agregar un poco de grasa.

b) Revisar el estado de los módulos solares, si es necesario se puede limpiar con un trapo seco.

## **Capítulo 3**

### **Diseño e implementación del prototipo**

---

### **3. Diseño e implementación del equipo**

#### **3.1 Equipo dedicado**

Como ya se dijo, cuando se menciona la manera de aprovechar la energía solar fotovoltaica para fines domésticos, se tiene siempre el inconveniente de que la mayoría de los aparatos caseros funcionan con corriente alterna creando ciertos problemas para utilizarse; debido a que uno de los objetivos de la presente tesis es proporcionar opciones para implementar un sistema que suministre energía eléctrica, es conveniente mencionar que existen dos factores importantes que hay que considerar:

1) Que es posible utilizar únicamente la corriente directa proporcionada por los paneles solares con arreglos de baterías.

2) El utilizar un inversor para proporcionar un voltaje de 117 VAC y 60 Hz.

Para cualquiera de estas dos opciones, se deberá seleccionar material y equipo especial y comercial, por lo que a continuación, se enlistará tanto el equipo que se comercializa para la instalación generadora de electricidad, como los aparatos susceptibles de utilizarse.

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

#### Equipo para la instalación

##### -Módulos fotovoltaicos.

Es posible encontrarlos para distinta capacidad y voltaje nominal, así como de distintas formas de fabricación.

##### \*De silicio semicristalino.

<i>Capacidad [Watt]</i>	<i>Voltaje nominal [VCD]</i>
83	12/6
77	12/6
64	12/6
60	12/6
56	12/6
53	12/6
50	12/6
40	12/6
32	12/6
30	12/6
18	12
10	12

##### \*De silicio amorfo

<i>Capacidad [Watt]</i>	<i>Voltaje nominal [VCD]</i>
10	12
5	12
2	12

##### \*De silicio monocristalino

<i>Capacidad [Watt]</i>	<i>Voltaje nominal [VCD]</i>
53	12
48	12
40	12
37	12
10	12
5	12

**Capítulo 3**  
**Diseño e implementación del prototipo**

---

**\*De silicio policristalino**

<i>Capacidad [Watt]</i>	<i>Voltaje nominal [VCD]</i>
51	12
45.3	12
33.9	12

**-Controladores de carga**

<i>Capacidad [A]</i>	<i>Voltaje nominal [V]</i>
16(20)	12
10	12
16	12
20	12
30	12
30	12/24
90	24
90	48

**-Inversores de voltaje**

<i>Entrada [V]</i>	<i>Salida [VAC]</i>	<i>Salida [Watt]</i>	<i>Tipo de onda</i>
12	115	3000	senoidal
12	115	6000	senoidal
12	115	400	senoidal
12	115	500	senoidal
12	115	2800	senoidal
12	117	800	senoidal
12	117	2500	senoidal
24	115	3000	senoidal
24	115	1800	senoidal
48	115	3000	senoidal

**\*Con opción de U.P.S.**

<i>Entrada [V]</i>	<i>Salida [VAC]</i>	<i>Salida [Watt]</i>	<i>Tipo de onda</i>
12	115	400	senoidal
12	115	800	senoidal
12	115	1000	senoidal
12	115	2000	senoidal
12	115	2500	senoidal
12	115	2600	senoidal

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

##### -Acumuladores para uso fotovoltaico

<i>Tipo</i>	<i>Capacidad (A-H)</i>	<i>Voltaje Nomina (V)</i>
Híbrido,baja demanda de energía	50	12
Híbrido,baja demanda de energía	60	12
Híbrido,demanda media de energía	135	12
Híbrido,demanda media de energía	195	12
Tipo Plomo-calcio	105	12
Híbrida,demanda media de energía	120	6
Estacionaria,gran demanda de energía	1195	2
Estacionaria,gran demanda de energía	2390	2

##### -Bombeo de agua

Descripción	Capacidad	Voltaje nominal(v)
Bomba solar sumergible dúplex	1200 lpd a 70m.	12 a 45
Controlador de bomba solar	10 (A)	12 a 24
Bomba solar sumergible cuadrúplex	1200 lpd a 70m.	12 a 24
Booster de voltaje para bomba	3700 lpd a 30m.	12 a 24
Accesorios para bombas dúplex ó cuadrúplex		

**Capítulo 3**  
**Diseño e implementación del prototipo**

---

**-Iluminación**

Descripción	Capacidad(Watt)	Voltaje nominal(v)
Luminaria centinela con lámpara	36	12
Luminaria centinela con lámpara	24	12
Luminaria centinela con lámpara	13	12
Lámpara fluorescente electrónica	18	120 CA
Lámpara fluorescente con reflector	18	120 CA
Lámpara fluorescente compacta	13	12
Lámpara fluorescente compacta	9	120 CA
Lámpara fluorescente tubular	20	12
Lámpara fluorescente tubular	39	12
Interruptor de pared de sobreponer	10 (A)	120 CA
Lámpara fluorescente compacta	9	12
Lámpara fluorescente electrónica	17	120 CA

**-Refrigeradores**

**+Refrigerador de gas, 8 pies, enfriamiento por absorción, deshielo cíclico.**

### **Capítulo 3**

#### **Diseño e implementación del prototipo**

---

##### **-Aparatos electrodomésticos comerciales**

Focos incandescentes.

Licuadaora.

Radiograbadora.

Equipo modular.

Ventilador.

Televisión de 12", 14" ó 20".

Videograbadora.

Plancha.

Batidora.

Taladro.

Secadores de cabello.

Refrigeradores de bajo consumo.

Frigobares.

### **3.2 Selección del diseño**

El sistema fotovoltaico se diseña de tal manera que se pueda asegurar que a lo largo de un año, la energía generada por los módulos solares es mayor que la energía consumida por los equipos alimentados; para lograrlo es necesario utilizar tablas de insolación, en donde se muestra la insolación global (difusa + directa) para el plano horizontal en distintos meses del año. Esto nos va a servir para poder almacenar la energía extra de los meses con buena insolación y utilizarla en los meses con insolación menor. En el siguiente mapa, se muestra la cantidad de insolación en distintas partes de la República Mexicana, así como las horas-pico solares, que corresponden al periodo en el que el Sol debería haber estado al máximo para acumular la energía en un día dado. Las horas-pico solares son un concepto de equivalencia, y no significan que el Sol vaya a salir tal número de horas.

Dado que la radiación solar es una forma de energía, las unidades de medición también serán de energía.

El valor instantáneo se mide en  $Kw / m^2$ .

El valor acumulado se mide en  $Kw-h / m^2$ .

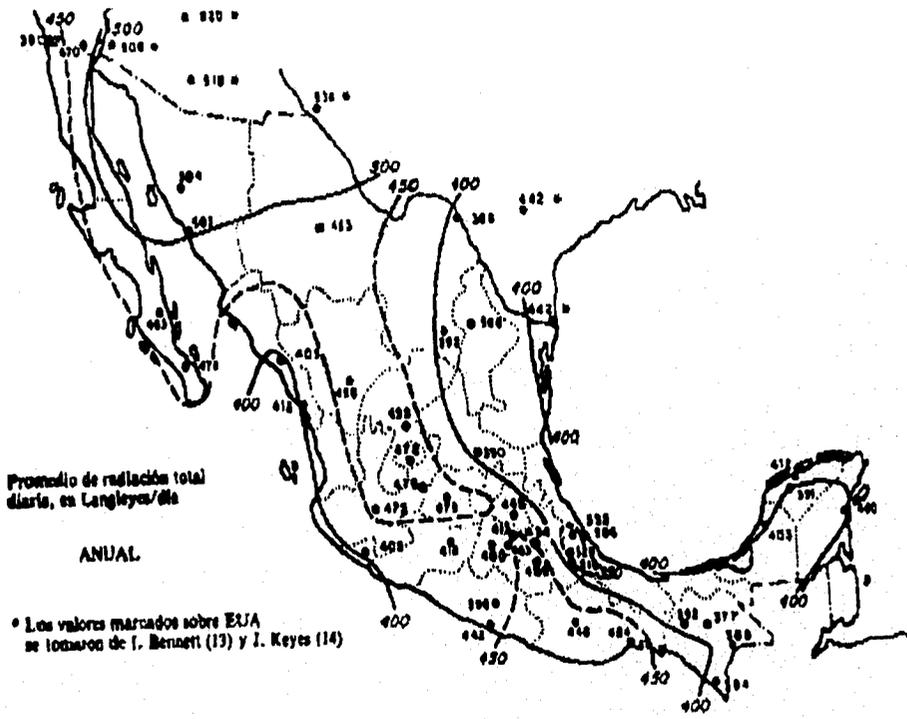
Generalmente se reporta el valor acumulado durante un día dado en  $Kw-h / m^2$  día

Otra forma de expresar el valor acumulado es en  $cal / cm^2$ -día que se denominan Langleys:

$$1 \text{ Langley} = 1 \text{ cal} / \text{cm}^2 = 0.0116 \text{ Kw-h} / \text{m}^2.$$

Generalmente, casi todos los sistemas solares fotovoltaicos a baterías se diseñan con la insolación del mes más desfavorable del año. Para el resto del año el sistema está sobrado, entonces en este caso, se limita la corriente por medio del controlador de carga, para evitar que las baterías se sobrecarguen.

Capítulo 3  
Diseño e Implementación del prototipo

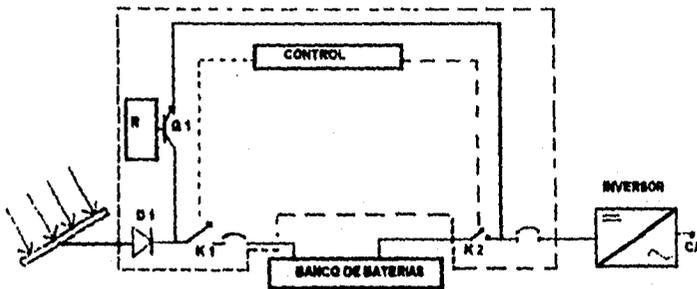


### Capítulo 3 Diseño e implementación del prototipo

---

#### Funcionamiento básico de un sistema solar fotovoltaico a baterías

El siguiente diagrama a bloques muestra los componentes principales y el principio de operación del sistema solar fotovoltaico a baterías



Los equipos se alimentan siempre del inversor que a su vez está conectado al banco de baterías que son cargadas por el arreglo de módulos solares, teniendo como intermediario al controlador de carga.

#### Operación diurna

Al amanecer, el voltaje de los módulos solares se incrementa rápidamente hasta exceder al voltaje del banco de baterías, polarizando en directa el diodo D1 e iniciando poco a poco la inyección de corriente al sistema.

El arreglo de módulos solares genera durante el periodo diurno de un día considerado normal suficiente corriente tanto para alimentar al inversor y a los equipos, como para recuperar la descarga sufrida por el banco de baterías durante la noche anterior. En general, la corriente del arreglo solar durante el día, a carga plena es mucho mayor que el consumo de los equipos alimentados, teniéndose entonces una entrada neta de corriente a las baterías.

Cuando se llega a un nivel de voltaje de 2.46 volts por celda de la batería, los módulos solares se desconectan, es decir, del diagrama a

### **Capítulo 3**

#### **Diseño e implementación del prototipo**

---

bloques se abre K1 del control de carga, pues se espera que la batería ya esté totalmente cargada.

En ese momento, la corriente proporcionada por el arreglo fotovoltaico fluye únicamente por el circuito de flotación, en el diagrama formado por el regulador R y el transistor Q1, que mantiene una corriente limitada a un voltaje constante de 2.33 volts por celda. Bajo esta condición, el arreglo de módulos solares proporciona sólo la corriente necesaria para mantener el suministro al inversor y la corriente de mantenimiento del banco de baterías. El modo de operación a flotación se mantendrá durante el resto del día mientras hay suficiente insolación para que los módulos solares generen la corriente antes mencionada.

Al atardecer o cuando ocurre un nublado, el circuito de flotación no puede mantener un voltaje constante, por lo que el voltaje de la batería empieza a descender. Al llegar a 2.15 (V) por celda, el relevador K1 se cierra y fluye libremente la corriente que puedan generar los módulos en ese momento.

#### **Operación nocturna**

Al oscurecer, el banco de baterías alimenta por sí solo las cargas y estará descargándose ya que deja de recibir corriente de los módulos solares.

Al amanecer, los módulos solares reinician el ciclo de carga y suministran la corriente al inversor en su totalidad además de recargar las baterías, repitiéndose el ciclo descrito anteriormente.

#### **Días nublados**

Cuando hay nublados, la corriente proporcionada por el arreglo solar disminuye bastante y es insuficiente para alimentar a las cargas conectadas, por lo que la corriente es tomada directamente de las baterías.

Mientras persista la condición de nublados el banco de baterías estará descargándose, por lo que los sistemas fotovoltaicos son diseñados para soportar desde dos días hasta diez días esta condición, dependiendo de las condiciones de la localidad. Este período de respaldo es denominado autonomía del banco de baterías. Si la condición de nublados persistiera más allá de estos periodos, el control de carga automáticamente desconecta la alimentación al inversor y por tanto a los aparatos, abriendo el relevador K2 en el diagrama para proteger a las baterías de un daño

### Capítulo 3

#### Diseño e Implementación del prototipo

irreversible. La alimentación es restablecida automáticamente cuando las baterías recuperan su carga.

Para realizar el dimensionado del sistema fotovoltaico fué necesario considerar lo siguiente:

- a) la potencia consumida por la vivienda,
- b) la potencia que deben proporcionar los módulos fotovoltaicos,
- d) la insolación del lugar en donde se instalará,
- e) el tiempo de operación del sistema.

También es importante conocer las pérdidas de energía de cada uno de los componentes auxiliares del sistema que en general son la de las baterías, del inversor y del controlador de carga así como el cableado para la interconexión del sistema.

Para calcular el diseño del sistema, se emplea el balance energético, que no es más que igualar la energía generada en promedio diariamente por los módulos solares en el mes menos favorable, con la energía diaria consumida por los equipos a alimentar, entonces se tiene:

$$\text{Energía generada} = \text{Energía consumida}$$

$$E_g = E_c$$

La energía consumida se calculó como el resultado de la potencia de consumo por el tiempo de operación de la carga de cada componente y la energía generada se calcula por el producto de la potencia generada y el tiempo de insolación obtenido de tablas.

$$E_c = P_c \times T_{op}$$

$$E_g = P_g \times T_{in}$$

donde:

$E_c$ : Energía consumida

$E_g$ : Energía generada

### Capítulo 3 Diseño e implementación del prototipo

---

Pc: Potencia consumida  
Pg: Potencia generada  
Top: Tiempo de operación  
Tin: Tiempo de insolación diaria

#### Requerimientos de energía eléctrica

Para obtener la energía consumida fue necesario determinar las áreas en las cuales se iba a ocupar la energía eléctrica; para hacerlo tenemos las siguientes características: una casa-habitación con dos recámaras, sala, comedor, cocina, baño y una lámpara por fuera de la casa y los requerimientos que se van a tener son los siguientes:

<u>Equipo</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Consumo(Watts)</u>	<u>Hrs de uso</u>
-Focos incandescentes	3	60	10
-Lámparas fluorescentes	4	30	12
-Licuadora	1	350	0.4
-TV Color 12"	1	65	4
-Videocassettera	1	25	2
-Plancha	1	800	0.4
-Refrigerador	1	160	7
-Lavadora	1	350	1
-Radio grabadora	1	20	2
-Equipo modular	1	50	1

De lo expuesto anteriormente, la energía consumida se calculó mediante la ecuación:

$$E_c = P_c \times T_{op}$$

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

Pc: Potencia consumida

Pg: Potencia generada

Top: Tiempo de operación

Tin: Tiempo de insolación diaria

#### Requerimientos de energía eléctrica

Para obtener la energía consumida fue necesario determinar las áreas en las cuales se iba a ocupar la energía eléctrica; para hacerlo tenemos las siguientes características: una casa-habitación con dos recámaras, sala, comedor, cocina, baño y una lámpara por fuera de la casa y los requerimientos que se van a tener son los siguientes:

<u>Equipo</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Consumo(Watts)</u>	<u>Hrs de uso</u>
-Focos incandescentes	3	60	10
-Lámparas fluorescentes	4	30	12
-Licuadora	1	350	0.4
-TV Color 12"	1	65	4
-Videocasettera	1	25	2
-Plancha	1	800	0.4
-Refrigerador	1	160	7
-Lavadora	1	350	1
-Radio grabadora	1	20	2
-Equipo modular	1	50	1

De lo expuesto anteriormente, la energía consumida se calculó mediante la ecuación

$$E_c = P_c \times T_{op}$$

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

$$E_c = (60)(10) + (30)(12) + (350)(0.4) + (65)(4) + (25)(2) + (800)(0.4) + (160)(7) + (350)(1) + (20)(2) + (50)(1)$$

$$E_c = 3290 \text{ Watts-hora por día}$$

Es decir, para poder cubrir los requerimientos de energía eléctrica, el sistema fotovoltaico se diseñó para que la energía generada en promedio diariamente por los módulos solares, en el mes más desfavorable sea igual a la energía diaria consumida por los equipos a alimentar, entonces

$$E_g = M \times E_{gm} \times N_{sist} \times T_{in}$$

donde:

M: Número de módulos solares.

$E_{gm}$ : Energía generada por cada módulo diariamente.

$N_{sist}$ : Eficiencia combinada de cada componente del sistema.  
entre los módulos y los equipos alimentados.

$E_g$ : Energía generada por todas las cargas alimentadas.

$T_{in}$ : Tiempo de máxima insolación diaria.

### 3.3 Selección del equipo

La eficiencia del sistema es el resultado de multiplicar la eficiencia de cada uno de los componentes del mismo: baterías, control de carga, inversores y las pérdidas en el cableado.

La eficiencia de las baterías queda determinada por el fabricante, es decir, existen diversas tecnologías de fabricación de la batería de plomo-ácido (que es la que proponemos para el dimensionado), para diferentes aplicaciones, con diferentes compromisos entre su costo, su operación y su vida útil. De esta manera se tiene que, una celda electroquímica tiene pérdidas inherentes a su operación, por lo tanto, no toda la energía eléctrica que recibe durante la carga la puede entregar durante la descarga, debido principalmente a que no todos los electrones que entran al momento de cargarse, contribuyen a las reacciones químicas. El porcentaje de electrones útiles varía entre el 92% y el 98%, este porcentaje es conocido como eficiencia Coulombica.

Otro factor importante es que se debe tener un mayor voltaje de carga que el que se obtendrá a la descarga, el voltaje de carga promedio de la batería en un sistema fotovoltaico es de 2.33(V) por celda, mientras que

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

el voltaje promedio a la descarga es de 2.05(V), es decir, se tiene una eficiencia de 88%.

Si se consideran ambos factores combinados (corriente y voltaje), tendremos que la eficiencia global de la batería como unidad de almacenamiento es de aproximadamente 84%.

Para poder determinar la eficiencia del controlador de carga fue necesario consultar el dato al fabricante o por medio de las especificaciones descritas en el mismo dispositivo, en este caso se utilizó un controlador de carga con un voltaje nominal de 12(V) y con una eficiencia del 90%(dato proporcionado por el fabricante).

En el caso del inversor, el dato de la eficiencia es proporcionado por el fabricante o por la hoja de especificaciones al momento de la adquisición, en este caso resulta del 95%.

Por último, para el cableado se consideró el tamaño de la casa, así como la cantidad de cable a emplear para cada habitación, en este caso la eficiencia fue de aproximadamente 98%.

De esta manera, para determinar la eficiencia del sistema tenemos:

$$N_{sist} = N_{bat} \times N_{inv} \times N_{cc} \times N_{cab}$$

donde:

$N_{sist}$ : Es la eficiencia total del sistema.

$N_{bat}$ : Es la eficiencia de carga de la batería.

$N_{inv}$ : Es la eficiencia del inversor CD/CA.

$N_{cc}$ : Es la eficiencia del controlador de carga.

$N_{cab}$ : Es la eficiencia del cableado para interconexión del sistema.

$$N_{sist} = 84\% \times 90\% \times 95\% \times 98\%$$

$$N_{sist} = 70.38\%$$

#### **Cálculo de los módulos solares.**

Tomando en cuenta los datos anteriores, para el cálculo de los módulos solares a utilizar, primero se seleccionó el tipo de módulo solar, en este caso, consideramos que con la finalidad de ocupar menor espacio

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

de arreglo de módulos solares fueron necesarios los de silicio policristalino de 77(W) de potencia con un voltaje nominal de 12(V).

También se tomó en cuenta el número de horas diarias de máxima insolación, para obtener este dato tuvimos que recurrir a tablas obtenidas de mapas de insolación como la vista anteriormente.

De acuerdo al mapa, se consideró que la insolación para una zona rural tiene como mínimo 4 horas-pico, por lo que el cálculo de la cantidad de módulos a utilizar queda expresada de la siguiente manera:

$$M = (Eg \times Fs) / (Egm \times Nsist \times Tin)$$

donde:

M: Número de módulos solares.

Eg: Energía generada diariamente por las cargas alimentadas.

Fs: Factor de sobredimensionamiento del sistema 10% más.

Egm: Energía generada por cada módulo diariamente.

Nsist: Eficiencia total del sistema.

Tin: Tiempo de insolación máxima diaria.

Sustituyendo

$$M = (3290 \times 1.1) / (77 \times 70.38 \times 4)$$

$$M = 16.69 \text{ módulos}$$

Es decir, se ocuparon 17 módulos solares conectados en paralelo.

#### Dimensionado del banco de baterías

En la práctica, existen dos tipos de celdas electroquímicas empleadas en un sistema fotovoltaico: las de plomo-ácido y las de níquel-cadmio.

Una batería de plomo-ácido está constituida por celdas que forman placas verticales positivas y negativas, las placas positivas están compuestas por rejillas de plomo recubiertas de peróxido de plomo ( $Pb_2O_2$ ) y las placas negativas rejillas de plomo recubiertas de plomo

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

esponjoso (Pb); las dos celdas están conectadas a sus respectivas terminales positiva y negativa y sumergidas en una solución de ácido sulfúrico como electrolito y la jarra o vaso que contiene la celda.

Las baterías de níquel-cadmio (NiCad) están constituidas de níquel para el electrodo positivo, cadmio para el negativo y como electrolito hidróxido de potasio.

En nuestro caso, a pesar de que las baterías de níquel-cadmio presentan características de construcción y operación ventajosas respecto a las de plomo-ácido: más larga vida, menor mantenimiento, mejor resistencia a temperaturas extremas, menor corrosión, y algunas otras, su costo es tan alto que son poco usadas en sistemas fotovoltaicos, excepto en aquellos lugares inaccesibles y de clima extremo (las regiones polares, por ejemplo); por lo tanto, nuestra elección se dirige hacia las baterías de plomo-ácido y entre ellas existen diversas tecnologías de fabricación, para diferentes aplicaciones, con diferentes compromisos entre su costo, su operación y vida útil.

Las baterías en sistemas fotovoltaicos están sujetas a ciertas condiciones de operación que deben revisarse para determinar lo que se espera de un modelo o tipo específico de batería.

De lo anterior, lo primero que se calcula es la capacidad del banco de baterías, donde sus unidades de medición son los ampere-hora, y a partir de este parámetro seleccionaremos la batería a emplear y la cantidad que se ocupará de estas últimas, por lo tanto se tiene la ecuación siguiente.

$$Cb = \frac{Au \times Ec}{Vb \times fu \times Fi \times Ninv}$$

donde:

Cb: Capacidad del banco de baterías (ampere-horas)

Ec: Energía consumida diariamente por los equipos alimentados (watts-hora)

Au: Autonomía deseada en el banco de baterías.

Vb: Voltaje nominal al cual trabaja el banco de baterías.

fu: Fracción de la capacidad total de la batería.

fu = 0.5 para baterías de placa delgada (automotrices).

fu = 0.8 para baterías de placa gruesa (estacionarias).

Fi: Fracción de incremento de la capacidad de la batería.

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

$F_i = 1.1$  para baterías de placa delgada.

$F_i = 1.35$  para baterías de placa gruesa de tipo tubular.

$N_{inv}$ : Eficiencia del inversor CD/CA

Sustituyendo términos se tiene que:

$A_u = 6$  días de autonomía

$E_c = 3290$  Watts-hora / día

$V_b = 12$  Volts

$f_u = 0.5$

$F_i = 1.1$

$N_{inv} = 0.95$

entonces:

$$C_b = \frac{6 \times 3290}{12 \times 0.5 \times 1.1 \times 0.95}$$

$$C_b = \frac{19740}{6.27}$$

$$C_b = 3148 \text{ (amperes-hora)}$$

Para determinar la cantidad de baterías a utilizar, se seleccionaron baterías de tipo híbrido para demanda media de energía, con una capacidad de 195 amperes-hora cada una y un voltaje nominal de 12 volts, entonces la cantidad de baterías a ocupar es la razón de dividir la capacidad de las baterías a emplear entre la capacidad de cada batería, es decir

$$\text{Bat} = \frac{3148}{195}$$

$$\text{Bat} = 16.14$$

así la cantidad de baterías a emplear será de 17 conectadas en paralelo.

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

#### Etapa de control

#### Controlador de carga

Para poder tener un control sobre el estado de las baterías y del arreglo solar, hay que utilizar un circuito que cumpla esa función, de tal manera que hay que utilizar un controlador de carga.

El controlador de carga es un circuito de protección que nos muestra continuamente el nivel de carga de la batería a través del voltaje, de forma que al alcanzar un nivel de voltaje previamente fijado, desconecta el arreglo fotovoltaico de la batería, o bien desconecta las cargas de la batería con el objeto de no descargar más de lo permitido a la batería, además de que sólo permite la carga de ésta a través del arreglo fotovoltaico.

En el caso de nuestro diseño, utilizamos un controlador de carga que nos permite soportar hasta 30 (A) de carga, proporcionando de forma eficiente la protección y señalización adecuada para sistemas fotovoltaicos que operan con baterías, tanto para los aparatos conectados como para las baterías y para los usuarios mismos. De la hoja de especificaciones del fabricante se tienen las siguientes características:

Voltaje nominal: 12 ó 24 (V).

Corriente máxima de módulos solares 30 (A).

Corriente máxima a las cargas alimentadas 30 (A).

Niveles de voltaje de operación:

Desconexión de módulos (batería cargada):  $14.6 \pm 0.3$  (V).

Reconexión de módulos:  $12.8 \pm 0.3$  (V).

Desconexión de cargas por bajo voltaje de batería:  $11.6 \pm 0.2$  (V).

Reconexión de cargas (automática):  $13.2 \pm 0.2$  (V).

Interruptor para seleccionar la desconexión automática por bajo voltaje o uso de emergencia.

Protección contra transitorios de voltaje.

Medidor de voltaje con escala expandida.

Precisión 5% de la escala.

Codificación de colores.

ROJO: batería con menos del 25% de carga.

AMARILLO: batería entre el 25% y el 50% de carga.

VERDE: batería con más del 50% de carga.

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

Este controlador funciona de la siguiente manera: al amanecer el arreglo fotovoltaico carga a las baterías para poder recuperar lo gastado durante la noche. Cuando llega a 14.6 (V), la batería está completamente cargada desconectándose los módulos, en este preciso instante, el voltaje baja a 13.6 (V) para estabilidad del circuito, manteniendo una corriente pequeña cargando a la batería, esta corriente se conoce como corriente de fuga. En cuanto el voltaje de la batería baja a 12.8 (V) los módulos se reconectan hasta que alcance otra vez el voltaje a plena carga.

Si por exceso de uso o días nublados consecutivos, la batería baja a menos de 11.6 (V), los aparatos alimentados serán desconectados de las baterías, para evitar que las baterías se dañen por exceso de carga.

Cuando las baterías se recuperan llegando a 13.2 (V), los aparatos se reconectan automáticamente.

Si por alguna razón es necesario utilizar algún aparato aún por debajo del nivel de 11.3 (V) existe un selector del controlador que no desconecta las cargas permitiendo un tiempo adicional de uso del sistema.

#### **Inversor CD/CA**

El inversor de voltaje alimenta los equipos en C.A. convirtiendo el voltaje de una fuente de 12 V (en este caso del banco de baterías) a 117 V C.A.

Las características del inversor de voltaje que se ocupó son las siguientes:

Voltaje de entrada: De 10.8 (V) a 15.6 (V) mantiene regulada la salida de voltaje.

De 8.8 (V) a 10.8 (V) no regula la salida de voltaje.

Mayor a 15.6 (V) y menor a 8.8 (V) el inversor no funciona procediéndose un autoreset.

Voltaje de salida: 117 VAC

Frecuencia: 60 Hz  $\pm$  0.4%

Potencia máxima: 3500 Watts continuos.

Potencia nominal: 2500 Watts continuos.

Eficiencia: 95%.

Forma de onda: senoidal modificada, con corrección para cargas inductivas.

Características ambientales

Temperatura de operación: 0 C a + 60 C.

Altura de operación: hasta 450 m.

Altura de no operación: a 1,500 m.

### **Capítulo 3**

#### **Diseño e implementación del prototipo**

---

#### **Cables**

Uno de los factores importantes en toda instalación es el uso adecuado de cables, estos pueden venir en distintos calibres y para distinto uso. La correcta selección y tipo de calibre de los conductores aumentará el rendimiento y confiabilidad del sistema; todas las conexiones deben de hacerse para que duren más de veinte años.

Algunos tipos de conductores de uso común son los siguientes:

UF.- Se usa para interconectar módulos y paneles del sistema fotovoltaico, resistente a la luz, con revestimiento integrado al aislamiento y resistente a la humedad y a la corrosión.

SO.- Se utiliza para interconexiones del sistema fotovoltaico pero no se recomienda su uso directamente a la luz solar.

TC.- Para conexiones del conjunto fotovoltaico armado con dos o más conductores en un revestimiento no metálico.

USE.- Para conectar componentes de un sistema fotovoltaico pero no tiene revestimiento de combustión lenta.

TW / THHW.- Revestimiento de combustión lenta, termo-plástico y resistente al calor, debe instalarse en un ducto, ya sea enterrado o en la superficie.

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

En la siguiente tabla se muestra la capacidad en amperes de conductores de cobre, para los siguientes tipos de uso común:

AWG	T.TW.VF:	RHW, THW XHHW, THWN
14	15	15
12	20	20
10	30	30
8	40	50
6	55	65
4	70	85
3	85	100
2	95	115
1	110	130
1/0	125	150
2/0	145	175
3/0	165	200
4/0	195	230

TABLA A

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**Capítulo 3**  
**Diseño e implementación del prototipo**

---

En la siguiente tabla se muestra la capacidad en amperes de conductores de cobre, para los siguientes tipos de uso común:

AWG	T.TW.VF:	RHW,THW XHHW,THWN
14	15	15
12	20	20
10	30	30
8	40	50
6	55	65
4	70	85
3	85	100
2	95	115
1	110	130
1/0	125	150
2/0	145	175
3/0	165	200
4/0	195	230

TABLA A

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

**Capítulo 3**  
**Diseño e implementación del prototipo**

		DISTANCIA MÁXIMA DE UN CONDUCTOR (m.) DIÁMETRO DEL CALIBRE AWG (12 V. CAÍDA DE TENSIÓN 3%)													
		14	12	10	8	6	4	3	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	
AMPS	WATTS														
0.5	6	34	54	85	138	215	342	432	546	686	884	1088	1377	1753	
1	12	17	27	43	68	108	171	216	273	343	432	543	686	876	
2	24	8	13	21	34	54	85	108	136	171	216	272	344	438	
4	48	4	7	11	17	27	43	54	68	86	108	136	172	219	
6	72	3	4	7	11	18	28	36	46	57	72	91	115	146	
8	96	2	3	5	8	13	21	27	34	43	54	68	86	110	
10	120	2	3	4	7	11	17	22	27	34	43	54	69	88	
12	144	1	2	4	6	9	14	18	23	29	36	45	57	73	
14	168	1	2	3	5	8	12	15	20	25	31	39	49	63	
16	192		2	3	4	7	11	14	17	21	27	34	43	55	
18	216		1	2	4	6	10	12	15	19	24	30	38	49	
20	240		1	2	3	5	9	11	14	17	22	27	34	44	
25	300			2	3	4	7	9	11	14	17	22	28	35	
30	360			1	2	4	6	7	9	11	14	18	23	29	
35	420				2	3	5	8	10	12	16	20	25		
40	480				2	3	4	5	7	9	11	14	17	22	
45	540					2	4	5	6	8	10	12	15	19	
50	600					2	3	4	5	7	9	11	14	18	
60	720						3	4	5	6	7	9	11	15	
70	840						2	3	4	5	6	8	10	13	
80	960							3	3	4	5	7	9	11	
90	1080								3	4	5	6	8	10	
100	1200									3	4	5	7	9	
110	1320									3	4	5	6	8	
120	1440										4	5	6	7	
130	1560											4	5	7	
140	1680											4	5	6	
150	1800												5	6	
160	1920												4	5	
170	2040													5	

**TABLA B**

Capítulo 3  
Diseño e implementación del prototipo

		DISTANCIA MÁXIMA DE UN CONDUCTOR (m) DIÁMETRO DEL CALIBRE AWG (120 V. CAÍDA DE TENSIÓN 3%)													
AMPS	WATTS	14	12	10	8	6	4	3	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	
0.5	60	337	535	851	1358	2152	3418	4320	5459	6858	8840	-----	-----	-----	
1	120	168	268	425	678	984	1709	2160	2730	3429	4320	5432	6884	8764	
2	240	84	134	213	359	538	855	1080	1365	1715	2160	2716	3442	4382	
4	480	42	67	106	170	259	427	540	682	857	1080	1358	1721	2191	
6	720	28	45	71	113	179	285	360	455	572	720	905	1147	1461	
8	960	21	33	53	85	134	214	270	341	429	540	679	860	1096	
10	1200	17	27	43	68	108	171	216	273	343	432	543	688	876	
12	1440	14	22	35	57	90	142	180	227	286	360	453	574	730	
14	1680	12	19	30	48	77	122	154	195	245	309	388	492	626	
16	1920		17	27	42	67	107	135	171	214	270	340	430	548	
18	2160		15	24	36	60	95	120	152	191	240	302	382	487	
20	2400		13	21	34	54	85	108	138	171	216	272	344	438	
25	3000			17	27	43	68	86	109	137	173	217	276	351	
30	3600			14	23	38	57	72	91	114	148	181	229	292	
35	4200				19	31	49	62	78	98	123	155	197	250	
40	4800				17	27	43	54	68	86	18	136	172	219	
45	5400					24	36	48	61	76	96	121	153	195	
50	6000					22	34	43	55	69	86	91	138	175	
60	7200						28	36	46	57	72	78	115	146	
70	8400						24	31	39	49	62	68	98	126	
80	9600							27	34	43	54	60	86	110	
90	10800								30	38	48	54	76	97	
100	12000									34	43	49	69	88	
110	13200										31	39	45	63	
120	14400											36	42	57	
130	15600												40	53	
140	16800													49	
150	18000													46	
160	19200													43	
170	20400													52	

TABLA C

### **Capítulo 3**

#### **Diseño e Implementación del prototipo**

---

Para realizar el cálculo de los conductores a utilizar, se debe considerar que el circuito del sistema consta de positivos y negativos, por lo que es necesario considerar el doble de longitud.

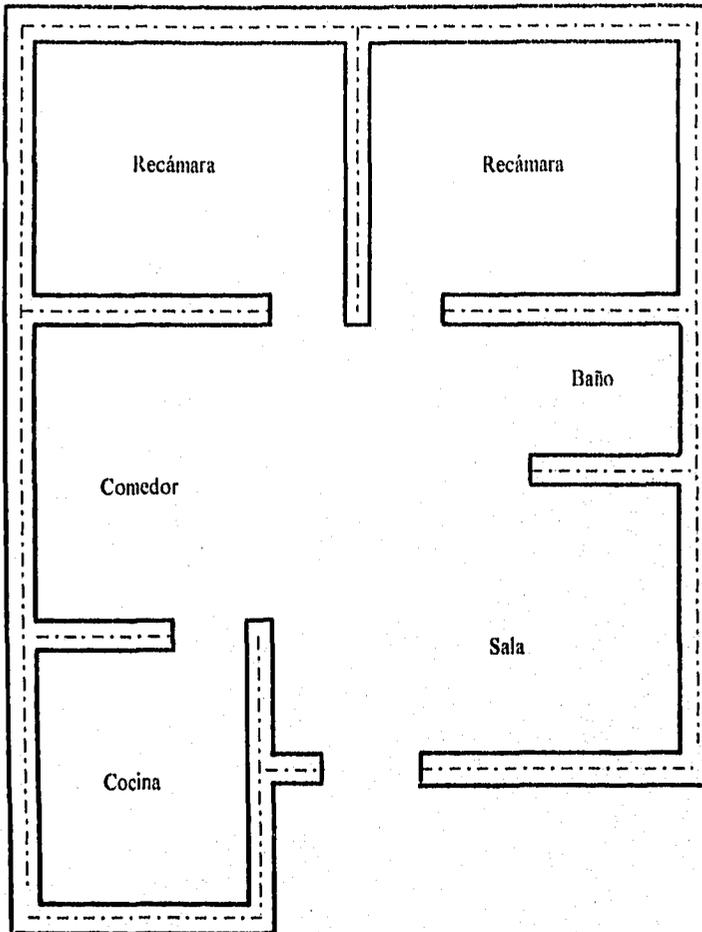
Las tablas B y C muestran la distancia máxima que se utiliza para cada conductor y el calibre comercial AWG con un 3% de caída de tensión para circuitos que operen a 12 y 120 (V), como es el caso de nuestro sistema.

De la tabla B podemos seleccionar conductores de uso rudo para circuitos de 12 V. que es la tensión nominal del sistema fotovoltaico y que soporten una corriente de hasta 30 A. que es lo permisible del sistema, es decir, utilizamos cable AWG 2\*30 para interconectar los módulos con el controlador de carga, considerando una distancia de 8 m. de longitud, también se utiliza cable AWG 2\*30 para interconectar la batería con el controlador de carga y se considera una distancia de 3 m. de longitud.

De la tabla C seleccionamos conductores de uso rudo para la parte correspondiente a 120 V. De tal manera, se selecciona cable THW AWG 12 para el circuito derivado de carga para la instalación eléctrica.

**Capítulo 3**  
**Diseño e implementación del prototipo**

---



## Capítulo 3

### Diseño e implementación del prototipo

---

#### 3.4 Realización del prototipo

Para la realización del prototipo, se tuvieron las siguientes consideraciones:

Datos de la aplicación:

-Voltaje nominal: 117 V AC

-Cargas conectadas: un foco de 60 Watts, una radiograbadora de 25 Watts y una lámpara incandescente de 30 Watts.

#### Cálculo de la energía consumida

Debido a que las celdas solares fotovoltaicas fueron prestadas por UNIVERSUM Museo de las Ciencias y debido a su alto costo, el prototipo quedó restringido a la energía que nos podían entregar dichas celdas, entonces los datos que se tienen son los siguientes:

Voltaje a circuito abierto de cada celda: 15 V.

Voltaje a circuito cerrado de cada celda: 12 V.

Corriente a máxima insolación: 340 mA.

Potencia máxima suministrada: 5 Watts.

Cantidad de celdas solares cedidas por el museo: 7 celdas.

Potencia máxima suministrada por las 7 celdas: 35 Watts.

Ahora utilizando la ecuación que nos permite calcular la cantidad de módulos solares a utilizar y modificándola de acuerdo a nuestras necesidades, es decir, que nos sirva para calcular la cantidad de energía que se puede generar diariamente, se tiene lo siguiente:

$$M = (Eg \times Fs) / (Egm \times Nsist \times Tin) \dots\dots(\text{Ecuación original})$$

$$Eg = (M \times Nsist \times Tin \times Egm) / Fs \dots\dots(\text{Ecuación modificada})$$

donde la eficiencia del sistema ( $Nsist$ ) es proporcionada por un inversor que proporciona 400 Watts como máximo a la salida, opera a 12 V, tiene una eficiencia a plena carga del 75% y ofrece a la salida una señal cuadrada, con un voltaje de 117 VAC.

Por otra parte también se utilizó un controlador de carga que opera a 12 V, soporta una corriente de entrada de 15 A y a la salida mantiene los

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

12 V con una corriente de hasta 20 A, y una eficiencia del 95%. De lo anterior, se concluye que la eficiencia del sistema es de:

$$N_{sist} = N_{bat} \times N_{ce}$$

$$N_{sist} = 75\% \times 95\%$$

$$N_{sist} = 71.25\%$$

En cuanto al tiempo de insolación máxima se considera de 5 horas.

Sustituyendo para saber la cantidad de energía que se genera diariamente:

$$E_g = (7 \times 0.7125 \times 5 \times 5) / 1.1$$

$$E_g = 113.35 \text{ Watts hora por día}$$

Para conocer el intervalo de tiempo que se pueden utilizar cada uno de los aparatos del prototipo, basta con hacer el cálculo de la energía consumida teniendo en cuenta que no es posible sobrepasar los 113.35 Watts hora por día de consumo.

Se propone lo siguiente:

<u>Aparato</u>	<u>Consumo</u>	<u>Hrs. de uso</u>
Lámpara fluorescente	30 W	1
Lámpara incandescente	60 W	1
Radiograbadora	25 W	0.9

Con esta propuesta se tiene que la energía consumida es de:

$$E_c = P_c \times T_{op}$$

$$E_c = (30 \times 1) + (60 \times 1) + (25 \times 0.9)$$

$$E_c = 112.5 \text{ Watts hora por día.}$$

### Capítulo 3

#### Diseño e implementación del prototipo

---

Por otro lado, se supone una autonomía de 6 días y se emplearán baterías de plomo-ácido de 12 (V) 195 (A-H) , placa delgada. Entonces, para calcular el banco de baterías a emplear se hace lo siguiente:

$$Cb = (Au \times Ec) / (Vb \times fu \times Fi \times Ninv)$$

$$Cb = (6 \times 112.5) / (12 \times 0.5 \times 1.1 \times 0.75)$$

$$Cb = 136.36 \text{ (A-H)}$$

Entonces resulta lógico utilizar únicamente una batería.

En el caso del cable, se utilizó cable 12\*10 AWG para las conexiones de los módulos al controlador y del controlador a la batería, para la conexión del consumo de 120 V. se utilizó cable 14 AWG.

De esta manera, haciendo un prototipo podemos observar que la utilización de celdas solares en el diseño de un equipo completo para una casa-habitación, no está sujeto a que se adquiera el sistema con todo el material propuesto, sino que se puede realizar modularmente e ir adquiriendo los componentes en partes sin que sea una gran carga económica y de acuerdo a las necesidades de cada persona.

## **Capítulo 4**

### **Estudio Económico**

---

#### **4.1 Estudio económico**

La conversión fotovoltaica como sistema generador de energía eléctrica casi no se había tenido en cuenta hasta ahora, debido a que los sistemas fotovoltaicos son sumamente caros, con grandes valores de inversión, grandes elementos de acumulación de energía y a las incertidumbres de una tecnología avanzada que le haga frente en cuanto a su competitividad con respecto a los sistemas convencionales por red.

Debido a las condiciones económicas de los sistemas convencionales, a la demanda de energía y a los avances tecnológicos, se está favoreciendo el desarrollo de la conversión de energía solar a energía eléctrica; la opción fotovoltaica como suministro de energía eléctrica representa una alternativa técnica y económica viable para las zonas rurales que no cuentan con las redes de suministro eléctrico convencional.

La finalidad del presente capítulo es analizar la competitividad, por medio de la rentabilidad y economía, que ofrece el sistema fotovoltaico propuesto, frente al sistema convencional por red, al aplicarse a viviendas en zonas rurales.

#### **4.1.2 Análisis de costos**

##### **Rentabilidad y economía de los sistemas de energía eléctrica por red y fotovoltaico.**

La rentabilidad compara los costos por unidad de producto, es decir, costos del KW-h suministrado.

La economía compara los costos globales, todos aquéllos que se generan a lo largo de la vida de la instalación, independientemente de los KW-h producidos.

Para establecer la rentabilidad y economía de los sistemas de energía eléctrica por red y fotovoltaico, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- 1) En el suministro de energía eléctrica convencional por red, se realiza un costo de contratación que depende de la inversión de línea donde se incluye material, mano de obra y acometida; también se paga una factura bimestral por concepto de consumo, mantenimiento, alumbrado público, etc.

## **Capítulo 4**

### **Estudio Económico**

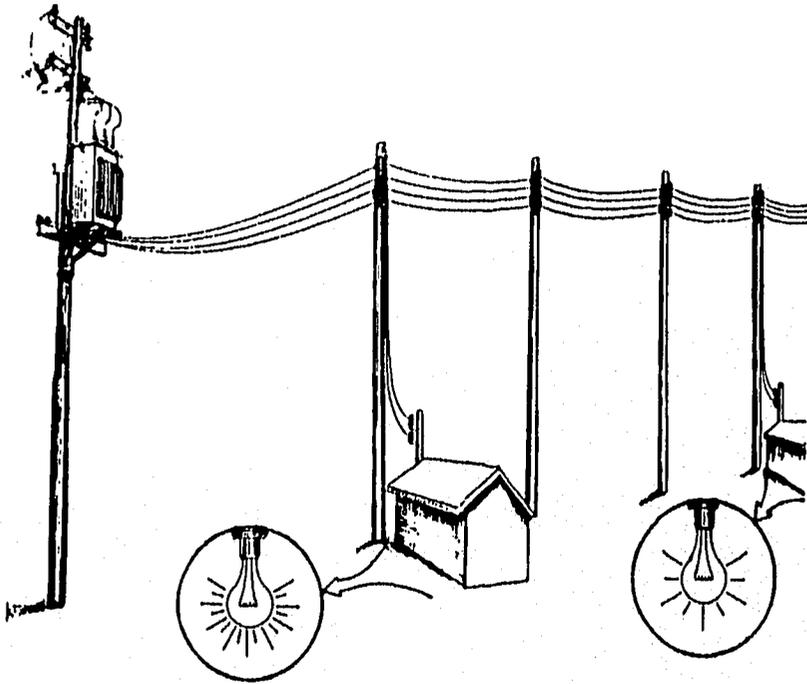
---

- 2) En el suministro fotovoltaico se realiza una inversión inicial y al cabo de unos años se deben realizar unos gastos de reposición debido a que la vida de las baterías es inferior a la instalación.
- 3) Los servicios energéticos ofrecidos por ambos sistemas son diferentes.
- 4) Al comparar los costos de KW-h suministrado determinaremos cuál de los dos sistemas es más rentable y al comparar los costos globales sabremos cuál es el más económico.

#### **Inversión inicial o costo de contratación para el suministro de energía por red.**

Empecemos a calcular el costo de contratación, que varía dependiendo de la distancia que hay de la vivienda de la zona rural a la subestación de energía eléctrica. Conforme aumenta la distancia se requiere más material y mano de obra, por lo tanto una mayor inversión de línea eléctrica, así el costo de contratación que demanda la Comisión Federal de Electricidad aumenta en relación directa a la distancia.

Calculemos la inversión inicial para las distancias de 150 mts., 1 km., 2 km., 3 km., 5 km. y 10 km de la red de energía eléctrica. Primero nombraremos el material y mano de obra necesarios para instalar la línea eléctrica a una distancia de 150mts.



**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

Material del Departamento de líneas aéreas y alumbrado público para la instalación de la luz para una casa habitacional

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
4	Abrazadera 9u	12.03	48.12
2	Abrazadera 8u	11.99	23.98
4	Abrazadera 7u	11.70	23.40
3	Abrazadera 6u	11.32	45.28
3	Aislador Krtv	2.44	7.32
18	Aislador A56-2	54.00	972.00
10	Alambre Ald-4	0.41	4.10
18	Alfiler 234	15.81	284.58
315mts	Cable Acsr2	2.32	730.80
2mts	Cable Guía Largo	52.40	104.80
2mts	Cable Guía Corto	92.40	184.80
3mts	Cable Galva. M 516	2.44	7.32
1	Conector Tuou	30.70	30.70
1	Conector E02AL	5.20	5.20
1	Cruceta 40	51.26	51.26
4	Crucetas 43dr	61.26	245.04
2	Crucetas 43	50.06	100.04
6	Dados 4	22.50	135.00
3	Dados 68	19.56	58.68
1	Dado 47	18.60	18.60
1	Fusible Eslabón K3	7.98	7.98
3	Corta Fusibles 23112	241.98	241.98
1m <sup>3</sup>	Piedra brasa	45.00	45.00
1	Poste Cr12c	1050.88	1050.88
2	Postes Cr12	653.75	1307.50
1	Transformador 45kva	18,760.00	18,760.00
2	Tornillos K6x51	11.89	23.78
12	Tornillos 5/8x16	7.66	91.92
2	Tornillos 5/8x14	5.26	10.52
1	Plataforma	252.72	252.72
1	Tierra	35.59	35.59
3	Apartarrayos D-23	267.37	802.11
1	Rollo H	1.59	1.59
6	Remates	9.00	54.00
	Preformados		

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

El costo total del material, para la instalación de alta tensión en una casa habitación que se encuentra a 150 mts de la subestación de energía es de \$26,250.55

El costo de la mano de obra para la instalación de alta tensión es la siguiente:

Cantidad	Material P/Instalar	Precio Unitario	Precio Total
3	Postes	797.00	2,391.00
3	Tramos de línea 23kva 3 Hilos A/T	736.00	2,208.00
1	Transformador 45kva	1593.00	1,593.00
1	Juego de Apartarrayos	1593.00	1,593.00
1	Conexión Bt3	552.00	552.00
2	Remate 23-D	736.00	736.00
2	Pasos 23	552.00	552.00

El costo de la mano de obra para la instalación de alta tensión es de \$9,625.00. El costo de material y mano de obra de la misma, es de \$35,875.55.

El material para la instalación de baja tensión es el siguiente:

Cantidad	Material	Costo unitario	Costo total
410mts	Alambre Cud4	2.06	844.6
4	Abrazaderas 7bc	8.83	35.32
2	Bastidor 84	33.09	66.18
1	Poste Cr9	692.37	692.37
25mts	Cable Cc-10	3.32	83.00
1	Caja Cm-11	16.68	16.68
2	Remates preformados Cc-10	1.70	3.4
1	Soporte Cm-1	1.89	1.89
1	Wattorímetro Monofásico	124.81	124.81
Costo total			\$1,868.25

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

---

La mano de obra para la instalación de baja tensión es la siguiente:

Cantidad	Material	Precio unitario	Precio Total
1	Poste Cr9	797.00	797.00
2	Remates de Línea Bt 4 Hilos	368.00	736.00
2	Remates Bt3	276.00	552.00
1	Acometida Cce10	272.00	272.00
1	Medición		
	<b>Total</b>		<b>\$ 2,357.00</b>

El costo total de la mano de obra y material para la instalación de baja tensión es de \$4,225.25.

El costo de contratación o inversión de línea que demanda la Compañía de Luz y Fuerza para poner el servicio de la luz, a una casa que se encuentra a 150 mts de la subestación de energía es de \$ 40,100.80.

Ahora calculemos el costo de contratación para una inversión de línea de un kilómetro de distancia.

El material y mano de obra que se requiere para la instalación de línea de un kilómetro de distancia es la siguiente:

El material y mano de obra para la postería de 1 km de distancia es:

Material	Precio unitario	Total
4 Postes Cr	1050.88	4,203.52
16 Postes Cr 12	653.75	10,460.00
2 Postes Cr 9	692.37	1,384.74
7 Mts De Piedra Braza	45.00	315.00
6 Postes Cr 6	324.96	1,949.76
<b>Costo total</b>		<b>\$ 18,313.02</b>

Mano de obra 797 X 28 = 22,316.00

Total del material y mano de obra de la postería \$ 40,629.02

---

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

El material y mano de obra para el herraje en alta tensión es:

Material	Precio unitario	Total
16 Crucetas 43	50.02	800.32
8 Crucetas 43dr	61.26	490.08
24 Dados 46	22.50	540.00
32 Abrazaderas 7u	11.70	374.40
Costo total		\$ 2,204.80

Mano de obra 552 X 24 = 13,248.00

Costo de material y mano de obra del herraje en alta tensión \$ 15,452.80

El material y mano de obra para el herraje del transformador es:

Material	Precio unitario	Total
1 Cruceta 40	51.26	51.26
1 Plataforma 2	252.72	252.72
1 Dado 47	18.60	18.60
4 Dados 68	19.56	78.24
Costo total		\$ 400.82

Equipo del transformador

Material	Precio unitario	Total
1 Transformador 45kva	18,760.00	18,760.00
1 Tierra 1	35.59	35.59
4 Conectores Cu(12)	12.50	50.00
1 Conector T-1(12)	20.70	20.70
3 Cortacircuitos	241.98	725.94
3 Apartarrayos	267.37	802.11
1 Cruceta 40	51.26	51.26
1 Dado 47	18.60	18.60
2 Abrazaderas 6u	9.55	19.10
Costo total		\$ 20,483.30

Mano de obra \$1,593.00

Costo de material, mano de obra, equipo y herraje del transformador  
 \$22,477.12

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

Herraje en baja tensión:

Material	Precio unitario	Total
4 Bastidores 84	33.09	132.36
4 Abrazaderas 7va	11.70	93.60
Costo total		\$ 225.96

Mano de obra  $552.00 \times 4 = \$ 2,208.00$

Costo de material y mano de obra del herraje en baja tensión \$2,433.96

Línea de Alta tensión y baja tensión

Material	Precio unitario	Total
3 Km. Cable Acsr #2	2.32 m.	6,960.00
300 Mts. Cable Cud1/0	5.20 m.	1,560.00
500 Mts. Alambre Cud4(2)	2.05 m.	1,025.00
150 Mts. Alambre Ald4	0.41 m.	61.50
Costo total		\$9,606.50

Mano de obra de 20 tramos de alta tensión y 4 tramos de baja tensión,  
 $24 \times 736 = \$17,664.00$

Costo de mano de obra, material para la línea de alta y baja tensión  
\$27,270.50

Costos totales de mano de obra y material de 1 Km de distancia

Material	Costo del material	Mano de obra	Total
Postería	18,313.02	22,316.00	40,629.02
Herraje en alta tensión	2,204.80	13,248.00	15,452.80
Herraje del transformador y equipo	20,884.12	1,593.00	22,477.12
Herraje en baja tensión	225.96	2,208.00	2,433.96
Línea de alta tensión y baja tensión	9,606.50	17,664.00	27,270.50

#### Capítulo 4 Estudio Económico

---

El costo de contratación de 1 km de distancia de la vivienda a la red de energía eléctrica es de \$108,263.40.

A continuación vamos a calcular el costo de contratación para una inversión de línea de 2 km, 3 km, 5 km y 10 km de distancia, nombrando solamente la inversión que se requiere en cada parte de la instalación de la línea.

#### Costos de contratación para las distancias de 2 Km, 3 Km, 5km y 10 Km\*

<b>Distancia</b>	<b>2 Km</b>	<b>3 Km</b>	<b>5 Km</b>	<b>10 Km</b>
Posterioria	81,258.04	121,887.06	203,145.10	406,290.20
Herraje En A.T.	30,905.60	46,358.40	77,264.00	154,528.00
Herraje del transformador y equipo	22,477.12	22,477.12	22,477.12	22,477.12
Herraje En B.T.	2433.96	2433.96	2433.96	2433.96
Línea A.T. Y B.T.	54,541.00	81,811.50	136,352.50	272,705.00
Costo de contratación	191,615.72	274,968.04	441,672.68	858,434.28

\* Incluye costos del material y mano de obra.

#### **Inversión inicial del sistema de energía eléctrico fotovoltaico propuesto.**

Para la instalación de un suministro de energía fotovoltaico para una casa habitacional con una capacidad de 3300 W-h al día y 1960 Ampers-hora, con cinco días de autonomía, se requieren módulos solares, baterías, inversores, controladores y soportes como ya lo mencionamos anteriormente.

#### **4.2 Disponibilidad de equipo.**

Presentaremos varias opciones en cuanto a la capacidad y el precio de cada elemento necesario para la instalación del sistema fotovoltaico, eligiendo aquel que cumpla con nuestras necesidades, con un precio bajo para que nuestra inversión sea la más óptima, viable y económica.

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

A continuación, se presentan varios tipos de módulos solares con diferentes capacidades y precios. La cantidad de módulos que se requieren depende de su capacidad.

**Tipos De Módulos Solares**

<b>Compañía LTH</b>	<b>Capacidad W</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total</b>
VLX 53	53	3,550.05	24	82,201.2
MSX83	83	5,644.361	16	90,309.77
MSX 77	77	5,236.31	17	83,781.08
MSX 64	64	4,352.20	20	87,044.19
MSX 60	60	4,080.23	22	89,765.15
MSX 56	56	3,808.25	23	87,589.96
<b>Compañía Condumex</b>	<b>Capacidad W</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total</b>
M-55	53	4,323.25	24	103,758.06
MSX-77	77	5,434.15	17	92,380.59
K-51	52	3,952.95	25	98,823.81
VLX-53	53	3,925.18	24	94,204.32
PC-4LF	75	5,304.54	17	90,177.30

De los diferentes módulos solares que nos presenta LTH y CONDUMEX el más barato y óptimo de acuerdo a nuestras necesidades sería el de LTH, el modelo MSX-77 con capacidad de 77 W con un precio unitario de \$5,236.31 y se requieren 17 módulos con un costo total de \$83,781.08 (estos precios incluyen el 15% de IVA).

**Baterías**

<b>Compañía LTH Modelo</b>	<b>Capacidad A-H</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo total</b>
23E	135	14	716.70	10,033.84
27C	195	10	891.46	8,914.68
FP31	105	18	650.39	11,707.18
<b>Roberto Diener Modelo</b>	<b>Capacidad A-H</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Costo total</b>
Tacotan	150	13	667.00	8,671.00
Ixtapatongo	195	10	874.00	8,740.00
Delco	115	16	916.55	14,664.00

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

---

La batería de bajo costo es la de Ixtapatongo de Roberto Diener con una capacidad de 195 A-h con un precio unitario de \$874.00 (incluido el IVA) y se requieren 15 baterías para cubrir nuestras necesidades, con un costo total de \$13,110.

**Inversores**

Compañía LTH	Cantidad	Capacidad Max W	Capacidad continua	Precio unitario	Costo total
VP61300	2	6000	1300	7,824.60	15,649.20
2512	2	6000	1600	12,082.62	24,165.25
PV1200FC	2	2400	1200	4,422.70	8,845.41
25125B	1	8000	2500	14,171.22	14,171.22
Compañía Condumex	Cantidad	Capacidad Max W	Capacidad continua	Precio unitario	Costo total
25125B	1	8000	2500	12,241.83	12,241.83

El inversor más barato es el que ofrece LTH con el modelo PV1200FC con una capacidad de 2400 W, una capacidad continua de 1200 W con un precio unitario de \$4,422.70; se requieren dos con un costo total de \$8,845.41.

**Controladores**

Compañía LTH	Capacidad A	Cantidad	Precio unitario	Costo total
ASC12/16	16	2	645.52	1,291.05
CTI 20	220	2	547.72	1,095.44
CTI 20LVA	20	2	697.69	1,395.38
PLC-7	16/20	2	912.87	1,825.74
PCL-IP	16/20	2	912.87	1,825.74
PCL-IT	16/20	2	1,043.28	2,086.56
CTI-38LVD	30	1	730.29	730.29
Compañía Condumex	Capacidad A	Cantidad	Precio unitario	Costo total
12/30/30F	16/20	1	1,053.40	1,053.40

#### Capítulo 4 Estudio Económico

El controlador de bajo costo que nos ofrecen los diseñadores y cumple con nuestros requerimientos es el de LTH, el modelo CTT-30LVD con un costo total de \$730.20.

#### Soportes Para Módulos Fotovoltaicos.

Compañía LTH	Descripción	Capacidad	Precio Unitario	Cant.	Costo Total
SM-2	Perfil de acero galvanizado para piso o techo	2 módulos	318.09	9	2,862.81
SM-6	Perfil de acero galvanizado para piso o techo	6 módulos	815.27	3	2,445.81
SM-1	Perfil de acero galvanizado para piso o techo	4 módulos	610.09	4	2,440.36
SM-1	Perfil de acero galvanizado para piso o techo	1 módulo	126.78	17	2,155.26

El soporte más barato es el modelo SM-1 con capacidad de 1 módulo, teniendo un costo unitario de \$126.78, y se requieren 17 soportes con un costo total de \$2,155.26.

Elementos del sistema fotovoltaico	Costo Total
Módulos solares	83,781.08
Baterías	13,110.00
Inversores	8,845.41
Controladores	730.29
Soportes	2,155.26
Costo Global	108,622.04

#### 4.3 Recuperación económica

La inversión total que se requiere para el suministro de energía por conversión fotovoltaica, con una capacidad de 3300 W-h al día y 1960 A-h, con 4 horas de sol al día y con una autonomía de 5 días es de \$108,622.04.

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

---

Una vez calculada la inversión inicial que se requiere para la instalación de ambos, suministro de energía eléctrica por red y fotovoltaica, de acuerdo con los parámetros expuestos anteriormente, calculemos su costo kw-h y el costo global para analizar la rentabilidad y economía de éstos.

En seguida nombraremos las fórmulas para la obtención del costo de kw-h y costo global de los sistemas de energía por red y fotovoltaico.

a) Se define como costo de KW-h:

$$C(KW-h) = \frac{B+E}{n \text{ KW-h año}}$$

siendo:

B = cuota de amortización anual de la instalación (a precios constantes debido a que se tiene en cuenta la inflación). Puede obtenerse de la siguiente ecuación:

$$B = I \cdot \frac{(1+r)^n}{(1+p)(1+r)^{n-1} + \dots + (1+p)^{n-1} + (1+r) + (1+p)^n}$$

con:

n= años de amortización de la instalación.

r= rédito bancario.

P=índice general de inflación.

I=inversión (en el caso de suministro por red éste es el costo de contratación).

E= costo anual por mantenimiento (a precios constantes). En el caso de suministro por red, el valor de E se transforma en la "factura anual". (Se paga bimestral).

B) Se define como costo global de la instalación:

$$CG = I_i + CAR + CAE$$

siendo:

- $I_i$  = inversión inicial.  
 $CAR$  = sumatoria de los costos actualizados de reposición (por concepto de baterías para el caso de suministro fotovoltaico)  
 $CAE$  = sumatoria de los costos actualizados de mantenimiento.

$$CAE = E \cdot \frac{(1+p)}{(1+r)} + \dots + E \cdot \frac{(1+p)^n}{(1+r)^n}$$

**Datos económicos (Septiembre de 1995).**

- El índice general de inflación :** 45%  
**Rédito bancario :** 39%  
**Amortización de la instalación :** 10 años  
**Costo anual por mantenimiento :** \$270.00

El costo anual por mantenimiento es de \$270.00 debido a que una vivienda que consume 3.3 Kw-h al día, utiliza bimestralmente 200.7 Kw-h, se paga en el D.F. y zona Metropolitana aproximadamente \$45.00 cada dos meses, por concepto de consumo, mantenimiento, alumbrado público, IVA, etc. (Cuota establecida por la Comisión Federal de Electricidad, en el Diario Oficial del 31 de marzo de 1995).

**Inversión :** depende del costo de contratación en el caso de suministro por red, como se demuestra en las siguientes tablas.

**Producción de Kw-h anual :** 1,204.5

**Capítulo 4**  
**Estudio Económico**

**Producción de Kw-h anual : 1,204.5**

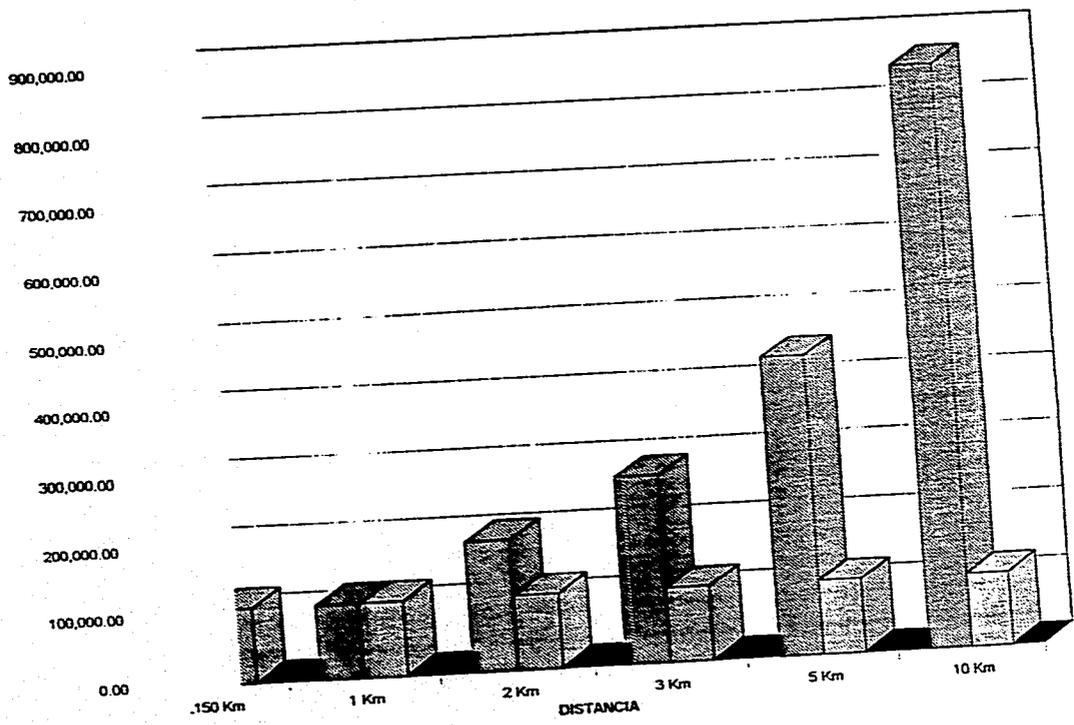
Aplicando los datos económicos y costos a las fórmulas anteriores obtenemos los siguientes resultados:

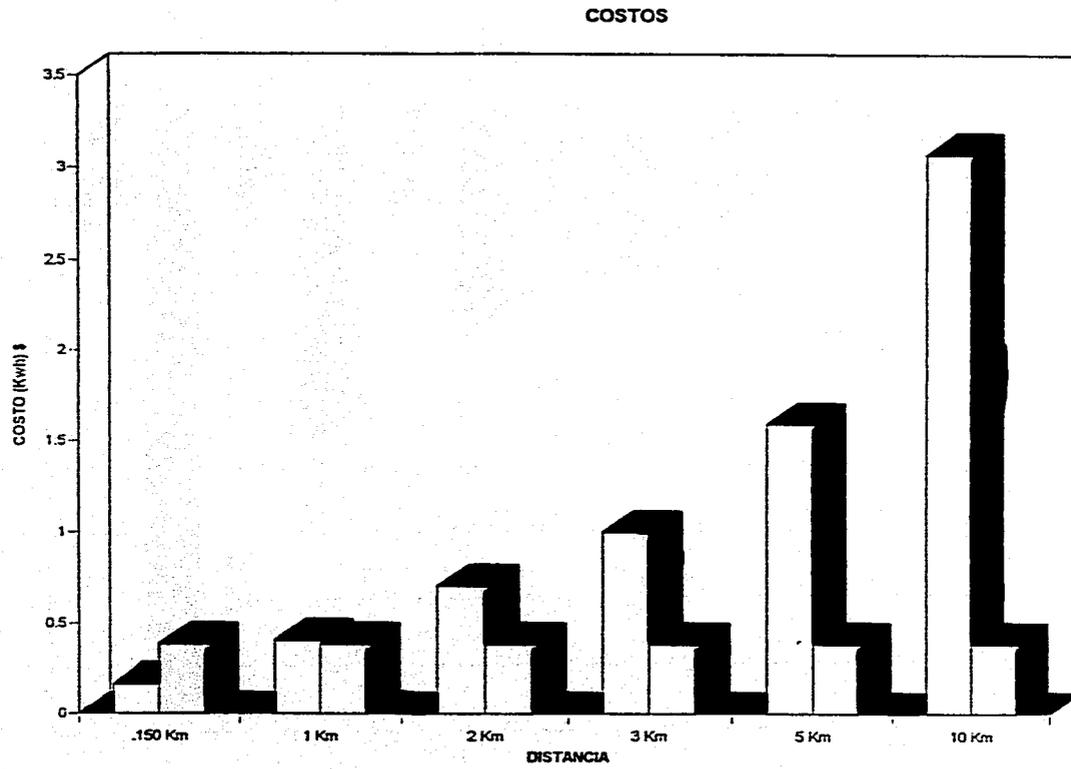
Sistema Convencional Por Red Distancia Km	Inversión \$	Cuota De Amortización Anual De Instalación (B) \$	C(Kwh) \$	Costo Anual Por Mantenimiento (E) \$	Costo Global (Cg) \$
.150	40,100.8	1,717.43	0.165	6,304.30	46,405.10
1	108,263.40	4,636.69	0.407	6,304.30	114,567.70
2	191,615.72	8,206.49	0.703	6,304.30	197,920.02
3	274,968.04	11,776.29	1.00	6,304.30	281,272.34
5	441,672.68	18,915.90	1.59	6,304.30	447,976.98
10	858,434.28	36,764.92	3.074	6,304.30	864,738.58

Sistema	Inversión \$	Cuota De Amortización Anual De Instalación (B) \$	C(Kwh) \$	Reinversión De Baterías En 10 Años	Costo Global (Cg) \$
FOTOVOL-TAICO	108,622.04	4,652.05	0.386	26,220.00	134,842.04

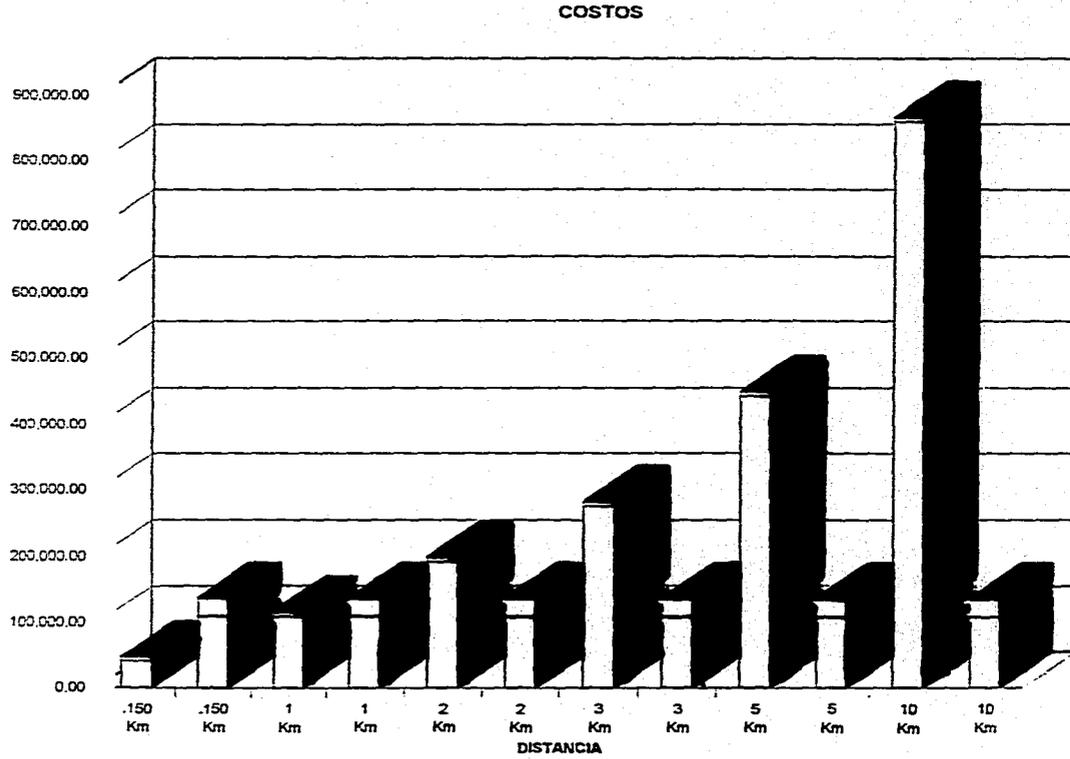
En el suministro fotovoltaico, al cabo de unos años, se deben realizar gastos de reposición (o reinversión) debido a que la vida de las baterías es inferior a la considerada en la instalación (10 años), tomando aproximadamente una vida media de batería de tres y medio años, se tendrá que cambiar dos veces después de su instalación, gastando \$26,220.00 (precios del mes de enero a marzo de 1995).

COSTOS





COSTO DE CONTRATACIÓN Gráfico 4



## Capítulo 4

### Estudio Económico

---

El sistema fotovoltaico no tiene gastos de mantenimiento a diferencia del sistema convencional por red, que tiene gastos de operación, mantenimiento y reposición de equipo, debido al desgaste y daños que sufren éstos en el transcurso del tiempo.

Analizando los costos que se generan a lo largo de la vida (costo global) de ambos sistemas energéticos por medio de la tabla anterior: a partir de 2 km de distancia entre la vivienda y la red de energía eléctrica, el sistema fotovoltaico es más económico que el convencional por red, conforme aumente la distancia se incrementa la inversión del sistema energético por red, haciendo más económica y viable la instalación del sistema fotovoltaico para viviendas en zonas rurales.

Aclarando que los precios, así como los gastos de inversión, están sujetos a constantes fluctuaciones debido a la situación económica del país (paridad del peso frente al dólar).

#### **Rentabilidad frente al suministro convencional por red.**

El estudio de la rentabilidad del sistema fotovoltaico propuesto para zonas rurales, frente al suministro convencional por red depende del costo de contratación. Sabemos que existe una relación casi directa entre el incremento de la inversión y la distancia en que se encuentra la red de distribución de energía. Por eso nuestro sistema fotovoltaico propuesto no es rentable frente a la inversión que se requiere para una casa rural que se encuentra a 150 mts y a 1 km de la subestación de energía debido que en el sistema fotovoltaico son sumamente caros, con grandes valores de inversión (inversión acrecentada por la devaluación del peso con respecto al dólar), los elementos de acumulación de energía que se requieren. Sin embargo, conforme aumenta la distancia de la red, aumenta su costo de contratación y se va haciendo más rentable como lo demuestra la tabla anterior, al ir comparando los costos de kw-h de ambos suministro de energía eléctrica.

A continuación presentaremos gráficas de distancia contra costo de contratación, distancia contra costo de Kw-h y distancia contra costo global. Todas ellas de ambos sistemas, el fotovoltaico y el convencional por red, mediante las gráficas sabemos que a mayor distancia de la red eléctrica se va haciendo más rentable el sistema fotovoltaico.

En segundo lugar, hay que desmitificar el hecho del ahorro de la factura bimestral, ya que es reducida. En este sentido, el suministro por red es muy rentable y, por eso, el costo de contratación que demanda la Compañía debe ser suficientemente elevado para que su repercusión sobre el costo real de KW-h deje de ser competitivo.

Se concluye que en la actualidad el suministro fotovoltaico no es rentable para aplicaciones en viviendas de zona rural, donde el suministro por red no suponga una inversión en instalación de línea a una distancia considerable de la red de alta tensión o de la estación transformadora de distribución de energía eléctrica, como se observó en la gráfica anterior.

Sabemos que los servicios energéticos ofrecidos por ambos sistemas son diferentes, en el suministro de energía por el sistema fotovoltaico se debe racionalizar el consumo, tener una instalación interior adecuada, para evitar el derroche de energía que repercutiría gravemente en su inversión. La principal desventaja de utilizar la conversión fotovoltaica es que se requiere una alta inversión inicial, aunque al amortizarse durante la vida útil del equipo solar, resulta más rentable que otros sistemas de generación convencional, los cuales tienen gastos de operación, mantenimiento y reposición de equipo. Los avances obtenidos tanto en eficiencia, costo y durabilidad en las celdas solares, han renovado las expectativas de aplicar la conversión fotovoltaica a nivel masivo, además presenta ciertas ventajas respecto a otros sistemas convencionales de producción de energía.

Dada la simplicidad de montaje de los paneles fotovoltaicos y de sus conexiones, se tiene flexibilidad para satisfacer mayores necesidades de energía, gracias a su modularidad, es decir, se puede empezar con un sistema que genere la capacidad justa a las necesidades e ir agregando módulos conforme se requiera. Los elementos que lo componen son ligeros, fáciles de transportar y de instalar: requieren de poco mantenimiento (revisar el electrolito de las baterías y limpiar los módulos de polvo y partículas).

Uno de los aspectos más importantes de los sistemas fotovoltaicos es que no contaminan, ni se desgastan, ya que no tienen partes móviles; el proceso de transformación energético es directo de luz a electricidad, no produce ruido, el energético primario es gratuito, inagotable y se encuentra disponible en abundancia.

## Capítulo 4

### Estudio Económico

---

En México, el potencial energético solar es abundante (del Orden de 5.5 KW-h / mts(2) al día o, bien, de 2 MW-h / mts(2) al año) por lo que se puede esperar que la energía solar será de gran importancia en las próximas décadas en nuestro país. Por ejemplo, podría contribuir en mejorar la calidad de "vida" de más de 10 millones de pobladores distribuidos en 87,438 comunidades, y de las cuales el 79% tienen menos de 100 habitantes"(1). Los sistemas fotovoltaicos representa una alternativa técnica y económica viable para las zonas rurales que no cuentan con las redes de suministro eléctrico convencional y donde no ha sido costeable instalar líneas de energía eléctrica.

En el lado comercial, las aplicaciones actuales en México son principalmente en telecomunicaciones y para servicios eléctricos básicos en casa habitación del medio rural.

#### **Desarrollo de la rentabilidad fotovoltaica frente al suministro convencional por red.**

Para que el sistema fotovoltaico aumente su rentabilidad con respecto al convencional debe haber una reducción en sus costos. Se está logrando una reducción en el costo de los módulos solares y una mayor eficiencia en las celdas, existe no obstante el problema de las baterías, que no reducen su costo, limitando así la rentabilidad del sistema fotovoltaico para zonas rurales, por lo tanto, se requiere una mejor tecnología en el diseño de las baterías para poder permitir un avance importante.

La meta económica de rentabilidad en el precio del KW-h de origen fotovoltaico, no está muy lejana, sólo hay que abaratar entre 3 y 5 veces el KW-h para llegar a índices más competitivos.

Para lograr un marco real de comparación del sistema fotovoltaico frente al convencional hay que evitar errores al evaluar los precios reales de los energéticos., por ejemplo:

- 1) El costo actual de algunos energéticos, no integra el costo en la restauración del daño ecológico: aspecto importante que en las próximas décadas tendrá que corregirse.
- 2) El precio subsidiado de la energía eléctrica.
- 3) El fotovoltaico no tiene gastos grandes de operación, mantenimiento y reposición de equipo como el convencional.
- 4) Energético primario inagotable; todo esto hace más rentable la conversión fotovoltaica.

## Conclusiones

### Conclusiones

La energía eléctrica ha sido de gran importancia para el ser humano ya que le ha permitido alcanzar un progreso constante, le provee de servicios, comodidades y sobre todo, la oportunidad de ahorrar tiempo en la ejecución de determinados trabajos.

Conforme se ha desarrollado la sociedad, ha provocado que el consumo de energía esté aumentando cada vez más, por lo tanto, el costo y la demanda que actualmente se requiere nos obliga a estudiar todos los posibles medios para obtener el recurso energético.

Actualmente se está dando el empleo de fuentes de energía renovable como la eólica y la solar, esta última generada mediante celdas solares y siendo, hasta este momento, la más indicada para sustituir a la convencional debido a que tiene un alto grado de autonomía y por su existencia abundante ya que la proporciona el mismo Sol.

Las posibilidades de utilizar la conversión de energía solar a eléctrica, en nuestro país, son inmensas porque México es un país que se encuentra geográficamente en una de las zonas que más recibe el Sol durante todo el año; esto permite que el Sol sea considerado como un recurso natural que debe explotarse como recurso energético. Uno de los medios con el cual se convierte el recurso natural del Sol en un recurso energético es el sistema fotovoltaico.

La conversión fotovoltaica representa una alternativa técnica y económica viable, para suministrar la energía eléctrica principalmente en zonas rurales, debido a que en muchos casos no se cuenta con las redes de suministro eléctrico convencional y así mismo, no ha sido costeable instalar líneas de energía eléctrica. Con los sistemas fotovoltaicos se contribuiría a mejorar la calidad de vida de la gente en poblaciones alejadas de las redes eléctricas.

Algunas de las razones que nos permiten considerar los sistemas fotovoltaicos como una alternativa técnica y económica viable para suministrar energía eléctrica a zonas rurales son las siguientes:

## Conclusiones

Por cada kilómetro de línea eléctrica por red se paga el costo de un sistema fotovoltaico con capacidad de 3 Kw-h/día aproximadamente; su costo es menor que operar un equipo electrógeno (diesel o gasolina). Aun cuando la inversión inicial de un sistema fotovoltaico pueda ser más alta que un generador diesel o gasolina, el ahorro en el combustible, gastos de operación, reposición de equipo y en el mantenimiento, hace más rentable al sistema fotovoltaico en aquellas aplicaciones donde la carga eléctrica es menor a 10 Kw-h/día.

Algunas ventajas de los sistemas fotovoltaicos son las siguientes:

1. No requieren combustible.
2. No contaminan porque producen emisiones muy bajas al medio ambiente, aspecto importante en la actualidad.
3. No causan ruido.
4. Escaso o nulo mantenimiento ya que no tienen partes en movimiento sujetas a desgaste.
5. Vida útil elevada, ya que los elementos y materiales de que están fabricados los módulos solares, prácticamente no sufren procesos internos de desgaste.
6. La vida útil permite amortizar la inversión a largo plazo, resultando más rentable que el suministro de energía por red, debido a que no tienen gastos de operación, combustible y mantenimiento, en poblados apartados de la red eléctrica.
7. Pueden ir aumentando su capacidad de acuerdo a las necesidades del usuario.
8. El sistema es relativamente fácil de transportar porque se ensambla en el sitio siendo más rápida su instalación, que puede ser de una semana; mientras que en la instalación de una línea eléctrica por red tarda meses.

Como todo sistema creado por el ser humano, la conversión fotovoltaica presenta ciertas desventajas, la principal es el elevado costo de la inversión inicial ya que depende de los costos de los módulos solares y de los elementos de almacenamiento y, también el hecho de que tiene una limitada capacidad de sobrecarga. Sin embargo, se está logrando disminuir los costos de las celdas fotovoltaicas, gracias a los avances tecnológicos en su elaboración, donde no se ha llegado al nivel de saturación tecnológica, sino todo lo contrario, se encuentra en su fase de transición más interesante; todo esto hace pensar que los sistemas

## **Conclusiones**

---

fotovoltaicos en el aspecto económico, tecnológico y científico tienen un brillante futuro.

Por último mencionaremos que la primera fuente de energía de la humanidad, a través del tiempo, es y será el Sol. En nuestros días sólo se han aprovechado subproductos de este energético primario como son los hidrocarburos (petróleo), los cuales se van agotando; debido a ello necesitamos explotar nuestro recurso más abundante que es la energía solar.

## **Bibliografía**

---

- Celdas Solares: Descripción y Estado Actual de Desarrollo  
Manuel Martínez  
Instituto de Investigaciones en Materiales. UNAM  
Abril, 1981.
  
- Costos para administradores y dirigentes  
Cristóbal del Río Sánchez, Raymundo del Río Sánchez  
Primera edición ECASA.
  
- Curso de introducción de los sistemas solares fotovoltaicos  
División energías alternas  
CONDUMEX.
  
- Energía  
Colección científica de TIME-LIFE  
Editorial TIME-LIFE
  
- Energy. A global system analysis  
Wolf Ha Fele  
Bollinger Publishius Company.
  
- Electricidad Solar. Estudio económico de la energía solar.  
Wolfant Palz  
Editorial Blome  
UNESCO, 1980.
  
- Energía Solar. Aplicaciones prácticas  
Hans Rau  
Editorial Marcombo Boixareu Editores  
Barcelona-México 1984.
  
- Energía solar fotovoltaica  
Varios autores  
Serie mundo electrónico  
Editorial Marcombo Boixareu Editores  
Barcelona-México, 1983.
  
- Energía solar fundamentos y aplicaciones fatotérmicas  
A. Manrique José  
Editorial Harla, 1984.

## **Bibliografía**

---

- Energía solar para viviendas  
Juan de Cusa  
Ediciones CEAC,S.A.  
España, abril 1991.
  
- Ingeniería de la energía solar  
Rafael Almanza Salgado, Felipe Muñoz Gutiérrez  
El Colegio Nacional  
México, 1994.
  
- La energía solar, todo lo que siempre quiso saber  
Solarex  
Acumuladores Mexicanos S.A. de C.V.
  
- La energía solar y las bombas de calor  
Raymond Bacq  
Editorial Lidian.
  
- Manual de CONDUMEX  
Publicación mayo 1986.
  
- Manual para ingenieros y técnicos en electrónica  
Milton Kaufman  
Editorial Mc Graw Hill.
  
- México: Atlas de radiación solar  
Ignacio Galindo Estrada, Mauro Valdés Barrón  
Instituto de Geofísica  
UNAM, 1991.
  
- Plantas eléctricas  
Raúl González Apideza  
Editorial Trillas.