

57



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

CAMPUS ARAGÓN

**DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS BASADOS EN
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
(ÁREA ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA)

P R E S E N T A :
CARLOS ALBERTO HERNÁNDEZ DÁVILA

ASESOR:
ING. ADRIÁN PAREDES ROMERO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria

A mis Padres:

Sin ellos no hubiera sido posible, esta meta , gracias a la insistencia de ambos no lo hubiera logrado este éxito es de ellos también .

Gracias por soportarme tal y como soy este es solo un principio de muchas metas mas. Sin ustedes este sueño no sería realidad.

Mil gracias por todo , los quiero mucho.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis Hermanos :

Miriam:

Gracias por ayudarme a lograr este sueño, me ayudaste demasiado eres una niña única con muchas cualidades esta tesis también es tuya. Sin ti esto no se hubiera concluido .

Mil gracias y eternamente agradecido.

Javier:

Hermano esta tesis no hubiera estado completa sin tu ayuda , me ayudaste demasiado , en elaborar algunos formatos que me fueron complicados darle a algunos aspectos de esta tesis , eres muy inteligente y muy dedicado gracias por ayudarme y el facilitar la impresión .

Mil gracias y eternamente agradecido.

Los quiero mucho.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A los sinodales:

*Gracias por apoyarme y a revisar esta tesis,
Gracias a su esfuerzo y dedicación a su profesión.
Es que muchos alumnos pueden llegar a la titulación.*

Gracias ingenieros.

A mi asesor:

*Gracias Ingeniero Adrián usted es la persona que mas ayudo
a que esta tesis fuera posible llevarla a la realidad, gracias
a su sabiduría e inteligencia fue que se concreto esto
que para mi era muy difícil.
Le estoy eternamente agradecido , a usted le debo
todo esto.*

Mil gracias Ingeniero

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

JUSTIFICACIÓN:

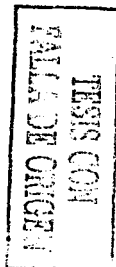
La energía, en cualquiera de sus formas, es parte de los problemas actuales en el mundo, pero también es parte de la solución de los mismos, se requiere energía para producir alimentos, textiles y la mayoría de los materiales que usamos cotidianamente, así como para transportarnos, para lograr un mayor confort climático, para telecomunicarnos e incluso para mantener nuestro avance cultural y científico.

Entonces, es necesario hacer viables las fuentes de energía puesto que la energía basada en combustibles fósiles contamina fuertemente en nuestra atmósfera, y los costos de dicha polución son cada vez mayores para la humanidad entera, recordemos además, que tienen una existencia limitada en el tiempo.

De ahí la importancia de la energía solar en todas sus manifestaciones: las directas como la fotovoltaica y fototérmica o las indirectas, como la energía eólica y maremotriz. Todas esas fuentes de energía no contaminan en nuestro ambiente; además de que inducen su consumo de manera racional, ya no basta con sustituir cuantitativamente una fuente de energía por otra, si no que acordes con la modernidad, también es necesario mejorar la calidad de la misma.

Es importante hacer notar algunas de las ventajas de un sistema fotovoltaico como fuente de energía eléctrica:

- a) La conversión de energía solar a eléctrica se hace de forma directa e instantánea sin que se requiera de procesos intermedios, siendo una forma de energía limpia pues no hay generación de gases o desechos como ocurre con las fuentes convencionales de energía.



- b) La energía fotovoltaica es modular, es decir, se puede usar para un reloj, un auto, un satélite, una casa o una central de gran potencia, por ello es posible generar energía en donde esta se necesite y en la cantidad apropiada, sobre todo en lugares muy aislados con baja densidad de población
- c) La instalación es muy sencilla y se requiere de poco mantenimiento pues casi no se tienen partes móviles que se desgastan. Típicamente basta con proporcionar agua a las baterías, y ocasionalmente limpiar el polvo que se pueda acumular en los módulos.
- d) En la medida que se ha avanzado en el desarrollo de los módulos fotovoltaicos, se ha logrado alcanzar tiempos de vida del orden de 20 a 25 años, los cuales son largos comparados con las de otras formas alternas de energía.

Otro aspecto importante es que la energía generada por medio del diseño de sistemas eléctricos basados en sistemas fotovoltaicos corresponde lo que se llama corriente directa, es decir, con polaridad constante, a diferencia de la que recibimos a través de la línea que nos proporciona la compañía de luz que es corriente alterna o sea sin polaridad fija, por eso en algunos casos dependiendo de la aplicación, será necesario convertir la corriente directa a corriente alterna. Al convertidor de este tipo de corriente se le llama inversor.

Desafortunadamente en México (como ocurre en toda Latinoamérica) no se cuenta con información confiable sobre la radiación solar, pero al menos se tienen valores promedios mensuales en los estados de la república, que podrán auxiliarnos para hacer los cálculos en forma aproximada, lo cual es suficiente para pequeños diseños de sistemas eléctricos basados en sistemas fotovoltaicos, a

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

futuro esperamos que la radiación solar sea medida con mayor exactitud, precisión y confiabilidad a lo largo de nuestro país, con lo cual se lograrán mejores diseños. Se espera que la presente investigación pueda ser utilizada por ingenieros y técnicos instaladores de los sistemas fotovoltaicos; por lo tanto algunas secciones de los temas se profundizan e incluso se apoyan en un programa desarrollado por la CONAE (Comisión Nacional de Ahorro de Energía), para diseñar sistemas fotovoltaicos y de acuerdo con lo expuesto anteriormente es necesario hacer viable las fuentes alternas de energía, por lo cual es importante la energía solar en todas sus manifestaciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVO PARTICULAR:

Elaborar una labor de divulgación e información para las personas interesadas en el diseño de sistemas eléctricos basados en sistemas fotovoltaicos; apoyados en el programa desarrollado por la CONAE (Comisión Nacional de Ahorro de Energía).

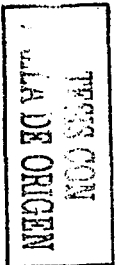
OBJETIVO GENERAL:

Mostrar la necesidad de conocer las fuentes alternas de energía y la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar; además de obtener conocimiento de los componentes básicos de un sistema (fotovoltaico) generador de electricidad solar y las perspectivas de esta fuente alterna de energía.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

CAPITULO 1	Energía Solar	
1.1	Historia.....	1
1.2	Un Siglo de Energía Solar.....	3
1.3	La electricidad solar en México y en Latinoamérica.....	6
1.4	Conformación de celdas solares y estructura.....	7
	1.4.1 El efecto fotoeléctrico	
	1.4.2 Magia o Ingenio	
1.5	Tecnología de Celda Discreta Cristal sencillo de silicio:.....	12
	1.5.1 Silicio Multicristalino	
	1.5.2 Tela dentritica	
	1.5.3 Arsenurio de Galio (GaAs).	
	1.5.4 Silicio Amorfo (a-Si)	
	1.5.5 Telenurio de Cadmio (CdTe)	
1.6	¿ y que tan grande es el mercado fotovoltaico y que tan rápido esta creciendo?.....	14
	1.6.1 Pronósticos de crecimiento de la aplicación	
	1.6.2 Industrial:	
	1.6.3 Conectado al tendido eléctrico	
	1.6.4 Consumidores / En Casa	
CAPITULO 2	¿Qué es un sistema fotovoltaico?	
	Introducción.....	18
2.1	Componentes básicos y características.....	20
	2.1.1 Arreglo fotovoltaico	
	2.1.2 Batería	
	2.1.3 Controlador de carga	
	2.1.4 Centro de distribución de carga	
	2.1.5 Convertidor de voltaje CD/CD	
	2.1.6 Inversor	
2.2	Agrupamiento de celdas solares.....	33
CAPITULO 3	Sistemas fotovoltaicos para la generación de energía.	
3.1	Introducción.....	35
3.2	Procedimiento para elegir la cantidad de radiación solar el cual se basara el calculo principal.....	38
3.3	Medición de la radiación solar mediante instrumentos.....	42
3.4	Estimación de la radiación mensual.....	46
3.5	Puntos básicos para un diseño optimo.....	47

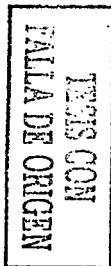


CAPITULO 4 Colectores de energía.

4.1	Introducción.....	50
4.2	Orientación con respecto al sol.....	52
4.3	Sistema de colector analógico.....	56
4.4	Sistema de colector digital.....	58
	4.4.1	Sistemas de seguimiento del sol
	4.4.2	El seguimiento del sol
	4.4.3	Cálculo de la posición del sol
	4.4.4	Seguimiento del sol

CAPITULO 5 Programa de un diseño fotovoltaico. (fv2.0)

5.1	Programa ConaeFV2.0.....	67
	5.1.1	Sistemas fotovoltaicos aislados
	5.1.2	Descripción del programa
	5.1.3	Estructura
	5.1.4	Metodología de cálculo
	5.1.5	Alcances de la herramienta
5.2.	Obtención, operación e instalación de ConaeFV2.....	73
	5.2.1	Requisitos para obtener el programa
	5.2.2	Equipo de cómputo requerido
	5.2.3	Instalación y arranque del programa
5.3.	Ejecutar ConaeFV2.0.....	75
	5.3.1	Contraseña
	5.3.2	Introducir la Ciudad
	5.3.3	Inventario de aplicaciones
5.4	Diseño manual del sistema.....	82
	5.4.1	Radiación solar
	5.4.2	Módulos fotovoltaicos
	5.4.3	Tipo de batería
	5.4.4	Salir de diseño manual y de ConaeFV2.0
5.5	Hoja de resultados.....	91
	5.5.1	Estructura de la hoja de resultados.
	5.5.1.1	Arreglo fotovoltaico
	5.5.1.2	Batería
	5.5.1.3	Controlador de carga
	5.5.1.4	Inversor
	5.5.2	Ingreso a otros módulos de ConaeFV2.0.
	5.5.2.1	Ver inventario de aplicaciones
	5.5.2.2	Ver gráfica de radiación
	5.5.2.3	Ver análisis económico
	5.5.2.4	Ver resumen
Conclusiones.....		101
Glosario.....		103
Bibliografía.....		108



CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Historia

Muchas esperanzas están centradas en el desarrollo de celdas solares de bajo costos para facilitar nuestros problemas de energía, y la industria fotovoltaica terrestre total tiene solamente cerca de 25 años de existencia. La primera práctica con celdas solares fue hecha hace menos de 10 años atrás y la preparación teórica para la comprensión del fenómeno fotovoltaico fue trazada a principio de este siglo.

A principio del final del siglo XIX, el fenómeno del brillo de la luz en una celda líquida produciendo corriente eléctrica fue notado, pero no había ninguna explicación disponible. Después del inicio del siglo XX fue cuando entonces Albert Einstein ofreció una explicación para un fenómeno similar, el "efecto fotoeléctrico" por el que recibió el Premio Nóbel en Física. Esto trazó las bases para el entendimiento de por qué llamamos el efecto fotovoltaico".

Para observar el efecto fotoeléctrico, se enfocó una luz en la superficie del metal y se detectó corriente eléctrica saliendo del metal.

Einstein explicó el fenómeno observado capitalizando en la idea de la reciente introducida idea de niveles de energía cuántica " y describió la luz en si, como hecha de un flujo de fotones" o partículas de la energía de la luz. Cuando los fotones afectan al metal, algunos electrones golpean desde los átomos del metal, casi como una bola de billar saca afuera a otra bola cuando estas chocan.

Más aplicaciones del concepto cuántico durante la década de los años 30 permitieron el desarrollo de una nueva forma de tratar con la materia y la energía;

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ésta se llama Mecánica Cuántica. Esta Ciencia fue usada para desarrollar la nueva tecnología de estado sólido que aún perdura en nuestras vidas.

Descubrimientos significativos hechos en los laboratorios de Investigaciones de Teléfonos Bell a mediados de la década de los 50 dieron paso al transistor ya la primera celda solar de estado sólido.

La carrera espacial de finales de los años 50 y 60 estimuló mejoras al diseño y eficiencia de las celdas solares. Las celdas fueron fuentes perfectas de energía eléctrica porque fueron robustas, livianas y pudieron cumplir con los requerimientos de poca pero segura energía. Sin embargo, el empuje para fabricar celdas solares con estándares, espaciales, eficientes y livianas, y, elevaron los costos haciéndolas poco económicas para utilizarse en la tierra, en dónde los precios bajos es la principal preocupación.

Unos cuantos módulos pequeños fueron hechos usando celdas espaciales que no reunían los requisitos, pero esto no fue un esfuerzo real de fabricación.

Entonces el principio de los años 70 vio un empuje mundial para una alternativa de fuente renovable de energía y los fotovoltaicos fueron vistos como una posible solución realista.⁽¹⁾

Algunos de los primeros usos para los primeros módulos fotovoltaicos fueron, por ejemplo, sistemas de alertas en boyas colocadas en alta mar que requieren poca energía. Sin embargo, estos primeros módulos terrestres no fueron producidos en masas porque eran fabricados totalmente a mano.

⁽¹⁾ <http://www.siemensolar.com/spanish/html/historia.html>

A finales de la década de los setenta, la industria fotovoltaica atrajo el interés de grandes compañías del área de la energía ya agencias del gobierno. Con sus inversiones de capital, una tremenda aceleración tomó lugar en el desarrollo de los módulos.

En la actualidad existen líneas completas de productos que están disponibles con módulos diseñados para resistir por décadas el desgaste producido por el medio ambiente.

Debido a la automatización, mejores diseños y mejoras en la técnica de la fabricación han sido aplicadas a los fotovoltaicos, los precios han bajado significativa mente. Durante el programa espacial, los precios llegaban a \$200/vatio, a diferencia de hoy en que los precios han bajado a menos de \$5/vatios. ⁽¹⁾

1.2 Un Siglo de Energía Solar

El uso de la energía solar no es nuevo, de hecho el desarrollo de la energía solar data de fechas de más de cien años atrás, a mediados de la Revolución Industrial.

Muchas plantas pioneras de energía solar fueron construidas para producir vapor del calor del sol, el cual fue utilizado para manejar la maquinaria de ese tiempo. Al mismo tiempo, Henri Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico que es la producción de energía directamente del sol.

La energía fotovoltaica permaneció como una curiosidad por muchos años, porque era muy poco eficiente para convertir la luz solar en electricidad. Las

⁽¹⁾ <http://www.siemenssolar.com/spanish/html/historia.html>

primeras aplicaciones fotovoltaicas estuvieron orientadas a sentir y medir la luz (como el medidor de luz de una cámara) que a la producción de energía.

Con el desarrollo del transistor y la tecnología de semiconductores que lo acompañó, la eficiencia de la energía fotovoltaica se incrementó dramáticamente y llega a ser más práctica. A través de los años, muchas compañías, incluyendo SIEMENS Solar, han trabajado para incrementar la eficiencia de la energía fotovoltaica. Hoy es común encontrar paneles solares con el 12% de eficiencia, lo cual es cuatro veces más que hace pocos años atrás.

En la actualidad la energía solar todavía se utiliza en dos formas básicas: solar térmica, en donde el calor del sol es usado para calentar agua o en el empleo de otros fluidos, los cuales manejan turbinas o maquinarias para crear electricidad; y fotovoltaica, en donde la electricidad es producida directamente del sol sin partes que se muevan.

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedora de energía renovable en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, tales como el carbón, gasolina, petróleo y la energía nuclear, las ventajas son claras: es totalmente no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere de mucho mantenimiento.

Una característica muy importante de la generación de energía solar es que ésta no requiere de una extensa instalación para operar, a diferencia de las estaciones de generación de energía convencional.

Los generadores de energía pueden ser instalados en una forma distribuida, en la cual la casa, negocio o escuela usa un área que ya está construida y permiten que usuarios individuales generen su propia energía de forma segura y silenciosa. La energía del tejado puede ser añadida a medida que se construyen casas y negocios en la comunidad, así se permite la generación de energía para mantenerse a un paso de las crecientes necesidades sin tener que sobre construir capacidad de generación, como es el caso a menudo con los enormes sistemas de energía convencional.

Aún cuando la energía fotovoltaica es comparada con otras fuentes de energía renovables, tales como la energía producida por el viento, la energía del agua e incluso la energía solar termal, hay algunas ventajas obvias.

Primero, la energía producida por el viento y el agua dependen de turbinas para lograr que los generadores produzcan electricidad.

Las turbinas y generadores tienen partes móviles que se pueden dañar, que requieren mantenimiento y que son ruidosas.

La energía solar termal necesita una turbina u otro dispositivo mecánico para que el generador produzca energía eléctrica.

En contraste, la energía fotovoltaica es generada directamente del sol. Los sistemas FV no tienen partes que se muevan, en realidad no requieren mantenimiento y tienen celdas que duran por décadas. ⁽¹⁾

1.3 LA ELECTRICIDAD SOLAR EN MEXICO y EN LA TINOAMERICA

En México, al igual que en muchos países latinoamericanos, existen condiciones geográficas y sociales que hacen muy factible el uso de los sistemas fotovoltaicos, pues incluso ahora resultan más económicos que otras alternativas para diversas aplicaciones. Sobre todo por que son países que están en regiones con gran insolación anual, aunque, por otro lado, existen muchas comunidades rurales aisladas con menos de 10,000 habitantes; y en esas comunidades no se cuenta con escuelas o servicios médicos mínimos. En tal caso, la energía solar se puede utilizar para operar televisores con propósitos educativos (apoyados en tecnologías de comunicación modernas); puede usarse además para iluminar salas de operación y refrigerar medicamentos en clínicas rurales. Otra aplicación importante es el bombeo de agua para el riego en zonas semidesérticas.

Esto permitirá un mejor aprovechamiento de los desiertos para la agricultura y la ganadería. Por otro lado, las compañías de teléfonos de México, de Colombia y de Brasil han podido ampliar su red rural gracias a la existencia de sistemas fotovoltaicos que permiten alimentar pequeños radioteléfonos. Las compañías de petróleo en México y Venezuela han tenido que recurrir a la energía fotovoltaica para proporcionar electricidad a equipos de monitoreo que operan en plataformas alejadas de la costa.

Vemos entonces, que es grande la lista de aplicaciones para los sistemas de energía fotovoltaica. Y seguirá creciendo en la medida en que se reduzcan los precios actuales.

⁽¹⁾ <http://www.siemenssolar.com/spanish.html.historia.html>

Y por eso, como hemos mencionado, el trabajo de los científicos tecnólogos e ingenieros dedicados al trabajo en este campo será el de aplicar sus conocimientos e ingenio para lograr celdas más eficientes.

En Latinoamérica, México ha sido pionero (después han seguido Brasil, Colombia, Cuba y Argentina) en la investigación y desarrollo de celdas solares desde hace más de 25 años, periodo en el cual se pudo fabricar tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos en el ámbito de planta piloto para su aplicación a celdas, tales como silicio amorfo, telurio de cadmio y otros. Los módulos fabricados por este grupo de investigación fueron los primeros que se instalaron en la región, por dependencias gubernamentales, para proporcionar electricidad a sistemas de educación por televisión, y para iluminar albergues rurales.

En la actualidad, México, Colombia, Cuba y Brasil (en este último ya se cuenta incluso con una fábrica de celdas solares) son los países latinoamericanos con el mayor crecimiento en la instalación de sistemas de energía solar.⁽²⁾

1.4 CONFORMACION DE CELDAS SOLARES Y ESTRUCTURA

1.4.1 El efecto fotoeléctrico

Luego, a finales del siglo pasado, se descubrió un fenómeno muy extraño hasta entonces, y que ahora conocemos como efecto fotoeléctrico el cual permite convertir a la radiación solar en energía eléctrica.

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La Electricidad que viene del sol, Editorial Iberoamericana

En la figura A se muestra un arreglo típico para poder observar el efecto fotoeléctrico. Esta está constituido por un tubo del cual se ha extraído el aire, que contiene dos electrodos llamados cátodo y ánodo. El cátodo se conecta al borne negativo de una batería, y el ánodo al borne positivo de la misma. Por otro lado se cuenta con una fuente de luz de un solo color o monocromática que se enfoca hacia el cátodo del tubo. Entre la batería y el tubo se conecta un medidor (amperímetro) que permite detectar el flujo de cualquier corriente eléctrica. ⁽²⁾

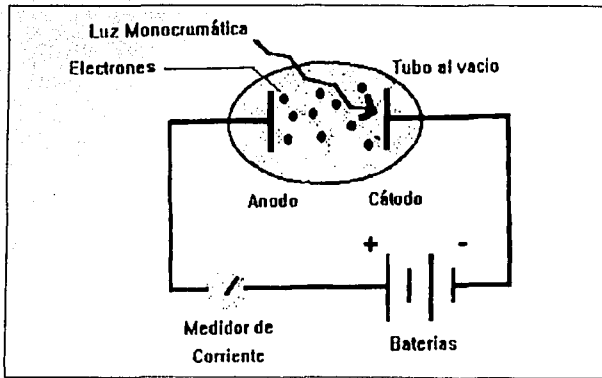


Figura A. Diodo al vacío, polarizado directamente, el cual se observa el efecto fotoeléctrico. Al iluminar el cátodo metálico, este emite electrones que son colectados por el ánodo, fluyendo así una corriente por el circuito externo. Cuando el diodo se polariza negativa o inversamente, la corriente deja pasar a través del circuito para cierto valor negativo.

Debido a que no hay alguna conexión interna entre el ánodo y el cátodo, cuando el tubo está en obscuridad no existe corriente eléctrica a través del circuito. Sin embargo, al poner la fuente luminosa se observa una corriente muy pequeña, que crece al aumentar la intensidad de la luz incidente.

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La Electricidad que viene del sol, P 15, Editorial Iberoamericana

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Así se podrá notar que al variar el voltaje desde un valor positivo hasta uno negativo la corriente dejara de fluir nueva mente y que al cambiar el color de la luz incidente, el valor del voltaje negativo para que esto ultimo suceda será diferente.

Todo lo anterior era inexplicable en ese entonces, ya que para que fluyera una corriente instantánea era necesario que la iluminarse el cátodo, se desprendieran inmediatamente electrones desde este y que fueran atraídos hacia el ánodo para moverse después a través del circuito externo. Pero para poder extraer los electrones del cátodo, la energía debería ser transferida a los mismos en forma inmediata, lo que de acuerdo con las teorías de la época, no era posible partir de las ondas luminosas.

En otras palabras, la radiación luminosa, al interactuar con la materia, se puede visualizar como un conjunto de partículas, que Einstein llama fotones que se mueven a la velocidad de la luz y con energía suficiente para que al chocar con los electrones estos puedan absorberla (en cantidades discretas o cuantizadas) y desligarse de los átomos de material. Esto permitirá que en el tubo fotoeléctrico, los electrones "arrancados" del cátodo sean atraídos por el ánodo y que fluyan a través de los conductores conectados el tubo, observándose así una corriente eléctrica. **⁽²⁾

1.4.2 Magia o Ingenio

Si el avance que ha dado en el conocimiento sobre la dualidad onda-materia, los fotones y las propiedades de los materiales con base en sus bandas de energía, los fenómenos como el fotoeléctrico y el fotovoltaico podrían parecernos solo actos de magia.

** Ver glosario

Es difícil creer qué poniendo un material bajo iluminación y conectándole un conductor en sus extremos podamos extraer energía y hacer funcionar algún aparato eléctrico. Qué, luego al quitar la luz, él aparato deje de operar, y que al iluminar el material nuevamente, el aparato funcione otra vez.⁽²⁾ La concentración de la luz solar se puede lograr mediante lentes de plástico de bajo costo, idealmente, la corriente crecerá linealmente con el nivel de concentración, pero en la medida en qué crezca el flujo de corriente, las resistencias internas causaran el calentamiento de las celdas, lo cual podría destruirlas si no se diseñan los sistemas de disipación de calor apropiados. Por ello, la concentración máxima qué es factible para celdas de silicio es del orden de cientos de soles.^(*)

Por otro lado podemos ilustrar algunos problemas qué se pueden tener con celdas bajo radiación luminosa concentrada. Para motivos de ilustración supongamos qué el área de la celda es de un centímetro cuadrado. Bajo un solo sol, la corriente de corto circuito máxima en silicio es de 0.60 volts. Supongamos ahora qué concentramos 100 veces la radiación solar sobre la celda, lo cual causara incrementos en la corriente hasta 4 amperes y en el voltaje hasta 0.72 volts, siempre y cuando se pueda mantener operando a temperatura ambiente (26°C).

Si El factor de forma se pudiera conservar en los valores típicos de una buena celda, la eficiencia crecería desde aproximadamente 19% hasta 23%. Es decir, la potencia qué podríamos extraer de la celda, en estas condiciones, sería del orden de 2.3 wats.

Por otro lado, en varios laboratorios se están estudiando estructuras fotovoltaicas qué permitan obtener altas eficiencias, y qué al mismo tiempo impliquen menos pasos para su fabricación.

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La Electricidad que viene del sol, P 45, Editorial Iberoamericana

^(*) Para mayor información consultar el libro de Morales Acevedo, Arturo; La Electricidad que viene del sol

Los pasos de fabricación, a partir de obleas de silicio cristalino, los cuales pueden compararse con los que se requieren para una celda convencional, son los siguientes:

1. Texturización de la superficie para reducir la reflexión.
2. Difusión de fósforo en pequeñas concentraciones.
3. Oxidación de la superficie del silicio.
4. Generación de surcos por medio de rayos láser.
5. Ataque químico de los surcos.
6. Segunda difusión con altas concentraciones de fósforo.
7. Evaporación y recocido de aluminio en cara posterior.
8. Plateado (sin electrodos) de Ni/Cu en ambas caras.

La difusión en el segundo paso se realiza de modo que se tengan condiciones para lograr altas eficiencias en la celda, o sea, baja concentración superficial de impurezas y profundidad de unión no muy grande.

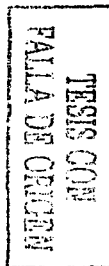
El proceso de oxidación sirve para varios propósitos simultáneamente: pasivar y enmascarar la superficie para que la segunda difusión, el ataque químico y el plateado se efectúen solo en la región de los surcos, el óxido, inclusive, con un espesor adecuado se pueden usar como capa antirreflejante. La segunda difusión (paso 6) permite tener contactos con muy baja resistencia ohmica. La evaporación y el recocido de aluminio provocan la aparición de un campo eléctrico en la parte posterior, que ayuda a la colección de los portadores generados por la luz.

Así es posible lograr celdas con eficiencias mayores que 20% con un mínimo de procesos comparados con los que se requieren en celdas convencionales de eficiencia similar.

La energía fotovoltaica se puede producir de muchas maneras, con una variedad en niveles de eficiencia y de costos. Se pueden dividir en dos grupos básicos: tecnología de celda discreta y tecnología de capa delgada.

1.5 Tecnología de Celda Discreta Cristal sencillo de silicio:

Cortado de bolas de cristal de silicio crecido sencillo, estas obleas/celdas ahora se cortan tan delgadas como 200 micrones. Las investigaciones acerca de celdas han alcanzado una eficiencia de cerca del 24 por ciento, con módulos comerciales de celdas de cristal sencillo que exceden el 15 por ciento.



1.5.1 Silicio Multicristalino:

Cortado de bloques de silicio moldeado, estas obleas/celdas son menos costosas para fabricar y menos eficientes que las celdas de cristal de silicio sencillo. Las

celdas de las investigaciones muestran una eficiencia que se acerca al 18 por ciento y la eficiencia de los módulos comerciales se acerca al 14 por ciento.

Cintas definidas por su borde

Las tiras de cristal de silicio sencillo fundido, sacadas mediante una acción capilar de un tinte grafito.

1.5.2 Tela dentrítica

Una tira de cristal de silicio extraída de un silicio frágil, como una burbuja de jabón, entre dos capas de cristal.

1.5.3 Arsenurio de Galio (GaAs).

Un material semiconductor III-V^(**) del cual se hacen celdas fotovoltaica de alta eficiencia y frecuentemente utilizadas en sistemas concentradores y en sistemas de energía espacial. Las celdas de las investigaciones muestran una eficiencia de más del 25% bajo condiciones de un sol, y de cerca del 28 por ciento bajo luz solar concentrada. Las celdas unidas basadas en GaAs y mezclas de III-V han excedido el 30 por ciento de eficiencia.

Tecnología Integrada de Capa Delgada Diseleniuro de Cobre Indio / Copper Indium Diselenide (CuInSe₂ o CIS)

Un material policristalino de capa delgada el cual ha alcanzado una eficiencia de 17.7 por ciento en las investigaciones, muestra la eficiencia más alta de los módulos completos con una alta capacidad de energía, alcanzando más del 11 por ciento.

1.5.4 Silicio Amorfo (a-Si)

^(**) Ver tabla de elementos químicos

Usado mayormente en productos de consumo como relojes de pulsera solares y calculadoras, la tecnología de a-Si es usada también en sistemas de construcción integrada reemplazando el vidrio polarizado teñido por módulos semi-transparentes. El aspecto primordial con una tecnología a-Si sigue siendo la baja eficiencia y la gran cantidad de espacio requerido, así como los costos y un mayor peso una vez instalados.

1.5.5 Telenurio de Cadmio (CdTe)

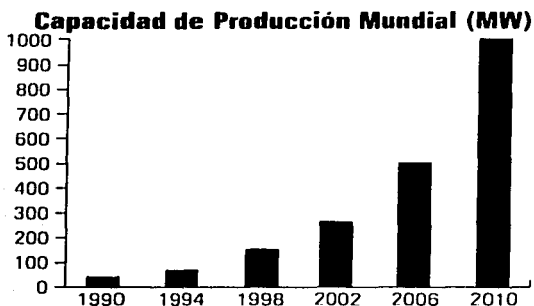
Un material policristalino de capa delgada, depositado con electrodscarga, rociado y con un alto grado de evaporación. Pequeños dispositivos de laboratorio tienen una eficiencia aproximada del 16 por ciento, con módulos de tamaño comercial (7200-cm²) medidos a 8.34 por ciento (medida total del área NREL), la eficiencia en los módulos para producción es aproximadamente del 7 por ciento.⁽¹⁾

1.6 ¿ y que tan grande es el mercado fotovoltaico y que tan rapido esta creciendo?

Los estimados actuales de la producción mundial de celdas y módulos solares fotovoltaicos para 1998 son de aproximadamente 120 megavatios (MW), aumenta uniforme y dramáticamente desde solamente 40 MW en 1990. Las ventas mundiales han estado aumentando a una tasa promedio de aproximadamente 15% cada año durante la última década, a pesar de que la tasa de crecimiento ha estado más lenta en algunos mercados y regiones pero más rápida en otras. Nosotros creemos que hay una posibilidad realista de que el mercado continuará creciendo a una tasa de alrededor del 15% en la próxima década. A esta tasa, la capacidad de producción mundial sería de 1000 MW para el año 2010, y la fotovoltaica podría ser una industria de \$5 billones de dolares. Estos son puntos

⁽¹⁾ <http://www.siemenssolar.com/spanish/html/historia.html>

de partida realistas, y muestran que el negocio solar será una oportunidad de mercado muy excitante a corto plazo. ⁽¹⁾



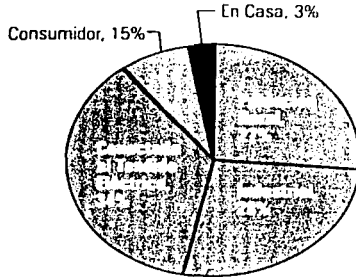
1.6.1 Pronósticos de crecimiento de la aplicación.

Nosotros dirigimos nuestra atención de los pronósticos de mercado general hacia áreas de aplicaciones específicas para ver como la energía fotovoltaica es usada alrededor del mundo. Los grupos de aplicación de energía fotovoltaica pueden ser divididos en cinco amplios grupos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

⁽¹⁾ <http://www.siemenssolar.com/spanish/html/historia.html>

Segmentos de Mercado Mundial (1997)



1.6.2 Industrial:

Ésta ha sido el área de mayor aplicación por 30 años, incluyendo telecomunicaciones, protección catódica, telemetría, sistemas de navegación y otras instalaciones no manejadas por el hombre en sitios remotos inhóspitos.

Población Rural: Este segmento incluye aplicaciones que están típicamente habitadas, tales como cabañas, casas, aldeas, clínicas, escuelas, granjas, como también luces alimentadas individualmente y pequeños aparatos. Las demandas de carga en este segmento no están bien definidas, y son más flexibles. ⁽¹⁾

1.6.3 Conectado al tendido eléctrico:

Estos sistemas son típicamente sistemas en la escala de multikilovatios o megavatios que están conectados directamente a una red en rejilla existente de energía. La energía eléctrica es generada sólo durante horas diurnas, y es consumida ya sea en el sitio de generación (como en los edificios comerciales) o

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

⁽¹⁾ http://www.siemenssolar.com/spanish/html/mercado_potencial.html

alimentada dentro del sistema de red de utilidad general y consumida como una parte del sistema normal de energía. Pequeños sistemas montados en techos de 15 kilovatios pueden ser puestos arriba de casas individuales, mientras sistemas más grandes pueden estar asociados con edificios comerciales o industriales para balancear sus cargas de luces diarias o de aire acondicionado. Sistemas grandes de 100500 kilovatios pueden ser instalados a lo largo de alimentadores de la compañía eléctrica cerca de su capacidad total para mejorar la calidad de la energía y posponer el realambrado o la instalación de nuevos transformadores más grandes.

1.6.4 Consumidores / En Casa:

Estos productos usan celdas fotovoltaicas para proveer la pequeña cantidad de energía necesitada para pequeños dispositivos electrónicos tales como relojes y calculadoras, como también luces de jardín alimentadas individualmente, pequeños módulos para computadoras portátiles y radios, y otras aplicaciones.

CAPITULO 2

QUE ES UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

INTRODUCCION

Debemos notar, antes que nada, que las celdas solares son dispositivos que convierten la radiación solar en energía eléctrica y que, por lo tanto, solo operaran durante los periodos en los que hay luz solar, es decir, durante el día. Por tal razón, es común (aunque no en todos los casos) que se necesite usar algún sistema de almacenamiento, de manera que las cargas que requieran la energía no interrumpan su funcionamiento durante la noche.

Hay diversas formas para almacenar energía eléctrica, algunas aun bajo estudio, como es la producción de hidrogeno a partir de la electrólisis del agua y su posterior utilización en celdas de combustible, así como el uso de superconductores (con altas temperaturas críticas) para el almacenamiento de energía en campos magnéticos. En relación lo ultimo, se espera que pronto se pueda tener materiales que sean superconductores incluso a temperatura ambiente.

Actualmente, uno de los métodos más común de almacenamiento de energía eléctrica es a través de las baterías que usamos en los automóviles, y en los aparatos electrónicos portátiles.

En todo sistema, en donde se usen baterías como medio para almacenar energía, será necesario contar con un dispositivo adicional llamado regulador de carga. Este controlador tiene la función de evitar que las baterías se dañen como consecuencia de que en cierta época se haya usado poca o nada de la energía almacenada, o sea que las baterías estén suficientemente cargadas, y que la energía generada durante el día por los módulos sea proporcionada a dichas baterías. Esto podría dañarlas permanentemente, o al menos reducir su tiempo de vida útil.⁽²⁾

⁽²⁾ Morales Acevedo , Arturo, La electricidad que viene del sol , P 93 – P 94

Otro aspecto importante es que la energía generada por medio de sistemas fotovoltaicos corresponde a lo que se llama corriente directa; es decir, con polaridad constante, a diferencia de la que recibimos a través de la línea que nos proporciona la compañía de luz, que es corriente alterna, o sea sin una polaridad fija; por eso, en algunos casos, dependiendo de la aplicación, será necesario convertir la corriente directa a corriente alterna. Al convertidor del tipo de corriente se le llama inversor.

Otro aspecto muy importante es que normalmente la radiación solar se mide sobre un plano horizontal, pero la intensidad luminosa cambia si el plano de medición se coloca en posición perpendicular a la dirección de los rayos. Como el ángulo de incidencia de los rayos varía a lo largo del año, se requerirá de tener seguimiento del sol para lograr la mayor cantidad de energía captada. Sin embargo, esto generalmente implica un costo adicional, y por lo tanto se acostumbra poner el plano de captación a un ángulo (respecto a la horizontal) que optimice la cantidad de energía para determinada estación del año. ⁽²⁾

⁽²⁾ Morales Acevedo , Arturo, La electricidad que viene del sol , P 93 – P 94

2.1 COMPONENTES BASICOS Y CARACTERISTICAS

Para un sistema fotovoltaico se requieren diversos componentes los cuales se ilustran en la figura siguiente y más adelante se detallan a fondo, para el diseño de Sistemas eléctricos basados en sistemas fotovoltaicos son muy necesarios estos componentes.

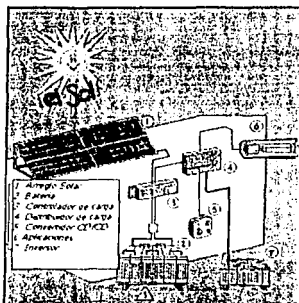


Fig. 1.1. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado de baja potencia.

Arreglo fotovoltaico

Batería

Controlador de carga

Centro de distribución de carga

Convertidor de voltaje CD/CD

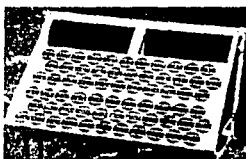
Inversor, si el sistema proporciona corriente alterna (CA)

Aquí daremos las principales características de los componentes de los sistemas fotovoltaicos aislados, asimismo se muestran los criterios de cálculo para la integración de los sistemas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.1 Arreglo fotovoltaico

Celdas de Silicio Mono y Policristalino. Las celdas de silicio monocristalino representan el estado de la tecnología fotovoltaica comercial. Para fabricarlas el silicio es purificado, fundido y cristalizado ya sea en lingotes o en láminas delgadas; posteriormente el silicio es rebanado en obleas delgadas para formar las celdas individuales, las obleas se pulen por ambas caras. Una vez pulidas las obleas se introduce, por difusión a alta temperatura, un material dopante, típicamente boro y fósforo, así se convierte la oblea en un semiconductor tipo "p" si se le añadió boro, o tipo "n" si se añadió fósforo. La mayoría de las celdas fotovoltaicas producen un voltaje de aproximadamente 0.5 V, independientemente del área superficial de la celda, sin embargo, mientras mayor sea la superficie de la celda mayor será la corriente que entregará.



Arreglo fotovoltaico

Para la mayoría de las aplicaciones resulta insuficiente la diferencia de potencial de 0.5 V generada por una celda fotovoltaica, de esta manera las celdas tienen que ser colocadas en serie para que, en conjunto, proporcionen el voltaje adecuado. De la misma manera varias series pueden ser colocadas en paralelo para incrementar la corriente.

Posteriormente las celdas interconectadas en serie y sus conexiones eléctricas se encapsulan y se colocan entre dos placas que pueden ser de vidrio, o bien una de vidrio superior y una posterior plástica o metálica. Para absorber esfuerzos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

mecánicos y con propósitos de montaje se añade un marco metálico. La unidad resultante recibe el nombre de módulo o panel fotovoltaico, el módulo es típicamente la unidad básica de los sistemas fotovoltaicos. Los módulos pueden interconectarse en serie y/o paralelo para formar un arreglo.

Los módulos comerciales se presentan, en su mayoría, en configuraciones de 12 V nominales con voltajes a la carga de 15 a 17 V; esto es, para cargar una batería de 12 V un módulo establece, bajo la acción de la luz solar, una tensión de 15 a 17 V desde la que fluye la corriente hacia la batería. Las corrientes típicas de estos tipos de módulos van de los 2 a los 5 A, dependiendo de la potencia del módulo. Una forma sencilla de estimar el número de módulos de un arreglo fotovoltaico, consiste en multiplicar los amperios a la carga por el número de horas de uso de la misma. Así por ejemplo si se requiere alimentar una carga de 15 A durante 3 horas-día (hr-día) a una tensión nominal de 12 V, se requieren:

$$15 \text{ A} * 3 \text{ hr-día} = 45 \text{ Ah-día [=] } 45 \text{ A-hr-día a } 12 \text{ V}$$

Si durante el proceso de conducción y de almacenamiento de energía en el sistema fotovoltaico existen pérdidas del orden del 15 por ciento y si para la localidad en cuestión se tienen 5 horas equivalentes de sol máximo, entonces el arreglo tendrá que aportar:

$$\text{Corriente del Arreglo} = 45 \text{ Ah-día} / (0.85 * 5 \text{ h-día}) = 10.58 \text{ A}$$

Tres módulos de 3.53 A, a la carga, colocados en paralelo serán suficientes para este propósito.

2.1.2 Batería

La batería almacena la energía eléctrica generada por los módulos durante los periodos de sol. Normalmente, las baterías se utilizan durante las noches o periodos nublados, el intervalo que incluye un periodo de carga y uno de descarga, recibe el nombre de ciclo. Idealmente las baterías se recargan al 100 por ciento de su capacidad, durante el periodo de carga de cada ciclo. Si existe un controlador, las baterías no se descargarán totalmente durante el ciclo, de igual manera no corren el peligro de sobrecargarse durante periodos de poco uso.



Batería

Capacidad. La capacidad en Amperios-hora (A-h) es simplemente el número de A que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga.

Capacidad de régimen. En teoría una batería de 200 A-h podría entregar 200 A durante una hora, 100 A durante dos horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente. Sin embargo, en realidad este no es el caso ya que en las baterías siempre se debe especificar el régimen en horas. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada en el régimen, la capacidad en A-h puede variar. Generalmente, si la batería se descarga a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor. Por ejemplo una batería que está diseñada con una capacidad de 100 A-h a un régimen de 8 horas puede descargar 12,5 A durante 8 horas ($C = 12,5 \times 8 = 100$ A-h), mientras que si la misma batería

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

se descarga a un régimen de 20 horas podría proporcionar 5.8 A durante 20 horas ($C' = 5.8 \times 20 = 116 \text{ A-h}$)

Profundidad de descarga. Este parámetro describe la fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería. Como regla general, mientras menor sea la cantidad de energía que se extrae de la batería durante cada ciclo, mayor será la vida útil de la misma. Esta descripción da origen a la clasificación de las baterías en dos grandes grupos: ciclo ligero o automotriz y ciclo profundo. En el ciclo ligero o automotriz, como se mencionó anteriormente, las baterías se diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas de arranque, se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20 por ciento. De manera opuesta las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos periodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo tanto éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética. Su profundidad de descarga puede ser hasta el de su capacidad.

Dimensionamiento de la batería.

Una batería se dimensiona en función de:

- a) la energía que debe abastecer diariamente.
 - b) la autonomía que debe proporcionar durante periodos nublados.
 - c) la profundidad de descarga.
-

Ejemplo: Una batería capaz de abastecer 80 A-h por día con una autonomía de tres días debe tener una capacidad de:

Si la batería es de ciclo ligero: $C = (80 \times 3) / 0.2 = 1,200 \text{ A-h}$

Si la batería es de ciclo profundo: $C = (80 \times 3) / 0.8 = 300 \text{ A-h}$

Tipo de batería.

Las baterías más empleadas en aplicaciones fotovoltaicas son las de plomo-ácido, éstas tienen la ventaja de ser más económicas que las formadas por otros compuestos. Adicionalmente, dada la gran familiaridad que el público en general tiene con las baterías automotrices, su potencial comercial es muy elevado. Estas baterías se fabrican mediante diversas aleaciones de plomo en una solución de ácido sulfúrico que actúa como electrolito. El material de las placas es una aleación de plomo con otro material, ya que el plomo puro es débil físicamente.

Dependiendo del material con que se mezcle el plomo, resultará la profundidad de descarga de la batería. Así por ejemplo, si las placas son de una aleación de plomo y antimonio, el antimonio permite que la batería tenga una mayor profundidad de descarga sin que se dañen las placas, esto significa una mayor vida para la batería, y por lo tanto las baterías de plomo-antimonio-ácido son de ciclo profundo. Por otra parte, el calcio aumenta la rigidez del plomo y reduce la auto descarga; sin embargo, la aleación plomo calcio se ve dañada cuando las profundidades de descarga son mayores al 25 por ciento, en consecuencia las baterías plomo-calcio-ácido son de ciclo ligero.

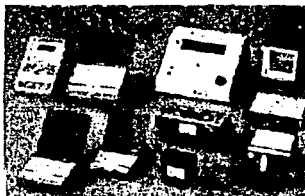
Las placas en una batería se encuentran alternadas en el interior de la misma con separadores entre ellas para no provocar cortocircuito. Los separadores se

elaboran de un material poroso para permitir el flujo del electrolito. Son materiales no conductores fabricados con mezclas de sílica y plásticos o hule.

Otro tipo de batería plomo-ácido es la denominada *Gel* en la que el ácido se encuentra en ése estado. Tienen la ventaja de que son completamente selladas y pueden operar en cualquier posición sin regar ácido o gas. Debido a que el electrolito se mueve más lentamente, estas baterías no pueden tolerar altas tasas de carga y descarga. Su construcción sellada hace imposible verificar sus condiciones con un hidrómetro y su uso queda reducido a lugares donde se requieren pequeñas cantidades de energía y que no cuenten con ventilación.

2.1.3 Controlador de carga

Los controladores se incluyen en los sistemas fotovoltaicos para proteger a las baterías contra sobrecargas y descargas excesivas. La mayoría de los controladores detectan el voltaje de la batería y actúan de acuerdo con los niveles de la tensión. Los controladores no son aparatos muy simples, ya que el estado de recarga de la batería depende de muchos factores y es difícil de medir.



Controlador

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capacidad del controlador.

El controlador debe tener suficiente capacidad para controlar la máxima corriente producida por el conjunto fotovoltaico. Multiplique la corriente de cortocircuito del conjunto fotovoltaico por 1.25 para manejar la corriente excesiva ocasional.

Por ejemplo, si un conjunto de 6 módulos de 12 V nominales y 3.5 A cada uno, está arreglado en 3 series paralelas de 2 módulos, entonces la capacidad del controlador deberá ser:

$$\text{Capacidad del controlador} = 1.25 \times 3.5 \times 3 = 13.125 \text{ A} \quad @ \quad 24 \text{ V.}$$

Un controlador de 15 A a 24 V será suficiente.

Voltaje del controlador.

El controlador se especifica de acuerdo al voltaje nominal del conjunto fotovoltaico, sin embargo, dado que su principal función consiste en proteger a la batería de sobrecargas y descargas profundas, los voltajes de corte y reconexión representan un papel muy importante en el diseño del sistema.

Voltaje de corte.

Este puede ser superior para proteger a una batería que se encuentre en estado de carga plena. Cuando esto sucede, la corriente que proviene del conjunto fotovoltaico es interrumpida por medio de un relevador o un diodo en el controlador, así se evita que la batería se sobrecargue y dañe sus celdas. El voltaje o punto de corte superior depende del tipo de batería y los valores típicos para sistemas de 12 V oscilan de los 13.3 a los 13.8 V.

La mayoría de los controladores también protegen a la batería contra descargas profundas, esto se logra mediante un relevador, que actúa en el punto de corte inferior, y corta la corriente que va de la batería hacia las aplicaciones cuando la energía contenida en la batería alcanza un mínimo establecido. Otros controladores no interrumpen el suministro, simplemente emiten un zumbido para indicar al usuario que la batería se encuentra en estado de carga mínima permisible. El punto de corte inferior depende de la naturaleza de la batería y los valores típicos para sistemas de 12 voltios van de 12 @ 12.2 V.

2.1.4 Centro de distribución de carga

Debido a que la corriente directa se conduce en una sola dirección, es muy importante conservar la polaridad en un sistema fotovoltaico, de hecho la mayoría de los módulos fotovoltaicos cuentan con diodos de bloqueo contra polaridad invertida. El centro de distribución de carga debe contar también con diodos de bloqueo así como con fusibles que protejan a las aplicaciones de eventuales sobrecargas.

El centro de distribución de carga se especifica por el número de canales y la capacidad por canal. Por ejemplo si se quieren alimentar 5 lámparas compactas que consumen 1.5 A cada una, se tendrá que especificar un centro de carga de 6 canales por 2 A cada uno.

2.1.5 Convertidor de voltaje CD/CD

Si bien es cierto que el estándar de los módulos fotovoltaicos es de 12 V, también lo es que existe una infinidad de aplicaciones en corriente directa a tensiones diferentes de 12 V. En este caso es conveniente emplear adaptadores de corriente directa a corriente directa. El convertidor CD/CD frecuentemente convierte de 12 a 9, 6, 3 y 1.5 V mediante una perilla selectora.

2.1.6 Inversor

Los inversores son unidades acondicionadoras de potencia para alimentar cargas de artefactos eléctricos de corriente alterna (CA). Los inversores más comunes de sistemas fotovoltaicos aislados funcionan 12, 24, 48 o 120 V de entrada en corriente directa (CD) y salida a 120 o 240 V en CA a 60 Hertz (hz.).



Inversor

Algunos inversores pueden soportar sobre tensiones transitorias de hasta tres veces su capacidad, pero no pueden funcionar a capacidad máxima durante más de media hora sin sobrecalentarse. Son apropiados para la carga de arranque de motores pero, si se requiere su funcionamiento continuo, deben tener un exceso de capacidad sobre el valor de régimen. En general dicho exceso debe ser de 25 por ciento o más para aumentar la confiabilidad y vida útil. El proyectista del sistema debe obtener información de fábrica acerca de los parámetros específicos de rendimiento antes de comprar el inversor.

Forma o tipo de onda. Los inversores generalmente se clasifican de acuerdo al tipo de la forma de onda que producen, las tres formas de onda más comunes son la cuadrada, la sinusoidal modificada y la sinusoidal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las unidades de onda cuadrada proporcionan una salida conmutada de CA son económicos y adecuados para alimentar ciertos artefactos de corriente alterna como calentadores con resistencia eléctrica, herramientas o artefactos de mano y lámparas incandescentes.

Los inversores de tipo de onda sinusoidal modificada soportan perturbaciones transitorias y pueden alimentar una gran variedad de equipos de CA como lámparas, equipos electrónicos y la mayoría de motores.

Los inversores de onda sinusoidal producen una forma de onda de CA tan buena como la de las empresas de servicios públicos.

Rendimiento de la conversión de potencia.

Es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. El rendimiento de los inversores para sistemas independientes variará en alto grado según el tipo y la demanda de carga de artefactos eléctricos. El proyectista debe saber que es difícil medir la potencia de una salida no sinusoidal debido al gran número de armónicas presentes. No confíe mucho en los folletos de inversores que anuncian rendimientos de más del 90 por ciento. Los valores que aparecen en las especificaciones de fábrica son los máximos que se pueden esperar. Sin embargo, cuando se alimentan ciertos tipos de motores, el rendimiento real puede ser menor del 50 por ciento.

Potencia de régimen.

Indica el número de watts que el inversor puede suministrar durante su funcionamiento normal. Seleccione un inversor que pueda proporcionar no menos del 125 por ciento de la demanda máxima de carga, para dejar un margen en caso que aumente la demanda en el futuro. El régimen de funcionamiento también es importante.

Régimen de funcionamiento.

Es el período de tiempo que el inversor puede alimentar la máxima carga de artefactos eléctricos. El exceder este tiempo puede causar la falla del equipo. Esta es otra razón para comprar un inversor con exceso de capacidad, por ejemplo, 2,5 Kw. Para una carga de 2,0kW.

Tensión de entrada.

Se determina por la potencia total que requieren todas las cargas de artefactos de CA. Mientras mayor sea la demanda de carga, mayor deberá ser la tensión de funcionamiento del inversor.

Capacidad de sobre tensión transitoria.

La mayoría de los inversores puede exceder su potencia de régimen durante cortos períodos de tiempo (segundos). Deben determinarse o medirse los requisitos de sobretensiones de ciertas cargas de artefactos eléctricos. Algunos transformadores y motores de CA requieren una corriente de arranque varias veces mayor que su corriente de funcionamiento. Esta corriente de arranque puede ser necesaria durante varios segundos.

Regulación de tensión.

Indica las variaciones de tensión de salida. Los mejores inversores producen un valor de tensión eficaz (RMS) casi constante para una gran variedad de niveles de carga.

Protección de tensión.

El inversor puede ser dañado Si se exceden los niveles de tensión de entrada de c.c.. Recuerde que la tensión de una batería puede exceder considerablemente su valor nominal Si dicha batería esta sobrecargada. Las baterías de 12 V pueden alcanzar hasta 16 V, y un inversor de 12 V puede dañarse Si se le aplica una tensión de entrada de 16 V. por lo tanto, los inversores deben estar provistos con circuitos protectores que desconecten el inversor de la batería si se presenta una tensión de entrada demasiado alta o baja.

Frecuencia.

La mayoría de las cargas de artefactos eléctricos en México requieren corriente de 60 hz. , mientras que en otros países se usa generalmente 50 Hz. Los equipos de alta calidad requieren una regulación de frecuencia precisa. Cualquier variación puede causar un mal funcionamiento de relojes u otros dispositivos electrónicos con control de tiempo.

Modularidad.

Es la formación de un sistema con unidades interconectables. Resulta ventajoso usar inversores múltiples en algunos sistemas. Estos inversores pueden ser conectados en paralelo o usados para alimentar diferentes tipos de cargas de artefactos eléctricos. La conmutación manual de la carga a veces se provee para permitir que un inversor pueda alimentar algunas cargas críticas en caso de falla de otro inversor. Esta redundancia aumenta la confiabilidad del sistema.

Factor de potencia.

Es el coseno del ángulo entre las formas de onda de la tensión y de la corriente producidas por un inversor. Este factor varía de acuerdo con el tipo de carga. Las

unidades de mejor calidad tienen circuitos diseñados para compensar el valor del factor de potencia. Especifique un valor cerca de 1.⁽³⁾

2.2 AGRUPAMIENTO DE CELDAS SOLARES

Es necesario determinar las características de las celdas y clasificarlas. Para ello, se utilizan simuladores solares, y las mediciones se hacen bajo condiciones normalizadas (y controladas) de temperatura e intensidad luminosa.

Si en los módulos se conectaran celdas con características muy dispares, se causaría un malfuncionamiento del modulo, e incluso bajo ciertas circunstancias este se podría dañar, al calentarse en exceso. Por ello es necesario clasificarlas, de acuerdo con sus características dentro de ciertos rangos y dispersión.

A partir de celdas de silicio con características similares es posible fabricar módulos. Típicamente se ponen 36 celdas en serie por que el voltaje de máxima potencia en las celdas de silicio es de cerca de 0.5 volt. Es decir, el voltaje de máxima potencia en módulos de este tipo es de aproximadamente 18 volts, con lo cual se puede cargar baterías de 12 volts de manera muy eficiente.

Para reducir los efectos debidos al desacople de las celdas, que pueden cambiar sus características con el paso del tiempo o bien debido a sombras indeseables sobre algunos puntos del modulo, se utilizan diodos de paso en paralelo con grupos de celdas en serie. Cuando algunos bloques se polariza inversamente debido a alguna sombra indeseable, el diodo de paso se polariza directamente, y la corriente fluirá a través del mismo, evitándose así el calentamiento del modulo en la región de la sombra (podría quemarse en dicho punto).

⁽³⁾ <http://www.conae.gob.mx/manuales/fv2.0>

Una función importante del encapsulado en los módulos es que las celdas puedan quedar protegidas para que operen en bajo condiciones de climas cambiantes (frío, calor, lluvia, vientos fuertes). O de algún posible daño mecánico por aves o piedras impulsadas naturalmente por el viento, el encapsulado proveerá suficiente rigidez para sujetar a las celdas y sus interconexiones. También tiene la función de aislar eléctricamente a las celdas respecto de posibles rupturas dieléctricas. ⁽²⁾

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La electricidad que viene del sol, P67, editorial iberoamericana

CAPITULO 3

DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGIA

3.1 INTRODUCCION

La interacción térmica que hay entre la tierra y el sol, dadas las dimensiones y posiciones relativas de cada uno de estos cuerpos del sistema solar, es lo que ha permitido la existencia de océanos, volcanes, corrientes de aire, etc., y su equilibrio ecológico en nuestro planeta. Por ello, es natural que los antiguos pensadores consideraran que estos eran los constituyentes de todo lo que existía en nuestro universo (fuego, agua, tierra y aire). Desde cierto punto de vista, esto es cierto, e incluso podemos decir que la vida humana depende y tiene origen en la energía que recibimos del sol todos los días.

El sol es una masa gaseosa, mas o menos esférica en donde ocurren reacciones nucleares a altas temperaturas (núcleos de hidrógeno se fusionan para formar núcleos de helio). La temperatura en el núcleo (del orden de 20,000,000 °k) es mucho mayor que la superficie, la cual en promedio es aproximadamente de 6,000 °k.

Todo cuerpo, dependiendo de la temperatura a la cual se encuentra, emite luz que es una mezcla de diferentes colores. Así, en los cursos elementales de ciencias naturales, se nos enseñó que la luz blanca en realidad esta compuesta por luz de varios colores, como queda de manifiesto cuando observamos los arco iris (rojo, naranja, amarillo, verde, azul, y violeta).

Sobre la superficie terrestre, la intensidad luminosa es variable, dependiendo de la época del año y de las fluctuaciones que ocurren todos los días por la presencia

de nubes, e incluso de la contaminación, en ciertas ciudades. En realidad la luz que recibimos tiene dos componentes, la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que se muestra en la figura 3ª, y es lo que recibimos en un día sin nubes cuando el sol se encuentra en el zenith (punto mas alto). Pero, en días nublados, la luz se dispersa a través de las nubes, y se refleja en las montañas y el terreno cercanos al lugar en que nos encontramos. Por ello, tiene un espectro de colores diferente al de la radiación directa. En general, es difícil predecir exactamente la intensidad luminosa que recibimos del sol, ya que esto dependerá del lugar en que no encontremos. Es decir; la contribución de cada componente (directa o difusa) no será la misma en una zona desértica que en una ciudad.⁽²⁾

Pero, lo importante no es la potencia instantánea sino, mas bien, la energía promedio a lo largo de un día determinado. Este promedio será diferente en cada época o estación del año. En consecuencia, se acostumbra medir la cantidad de energía total recibida cada día, y promediar en periodos de un mes, y luego promediar estos valores para el mismo mes a lo largo de varios años. La potencia de la radiación que se recibe del sol sobre la superficie terrestre en condiciones óptimas (día sin nubes e incidencia normal sobre el área de medición) es aproximadamente 1 KW / m². A este valor se le conoce como potencia de radiación solar recibida (en promedio) durante un día determinado es de 5 KW-hora/m². Esta energía total es resultado de que la radiación esta variando a lo largo del día pero se mantiene constante durante periodos cortos:

$$\Delta E_i = P_{ti} * \Delta t_i$$

en donde P_{ti} es la intensidad recibida durante el intervalo Δt_i . La suma de todas estas contribuciones es la energía total recibida ese día.

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La electricidad que viene del sol, P39-P44, editorial Iberoamericana

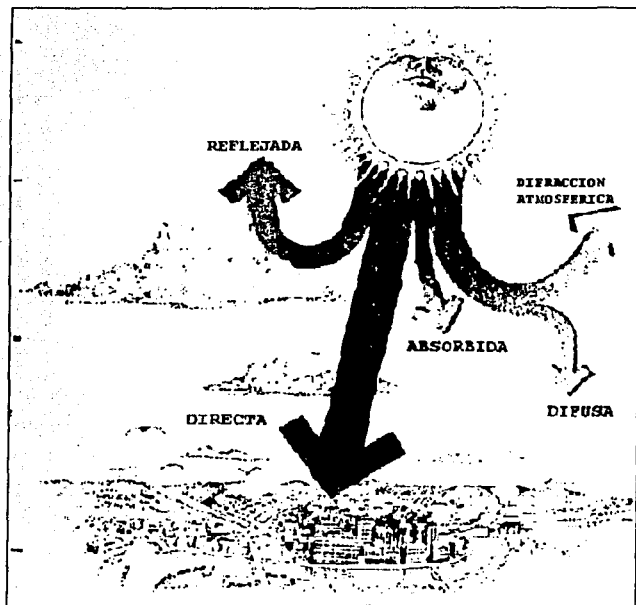


FIGURA 3ª Diferentes tipos de radiación solar

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 PROCEDIMIENTO PARA ELEGIR LA CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR EL CUAL SE BASARA ÉL CALCULO PRINCIPAL

En base a lo anterior, aquéllas personas que quieran aplicar la energía solar fotovoltaica podrán preguntarse ¿cuantos módulos se deben de usar, de que potencia y cómo deben interconectarse? ¿Qué capacidad de carga debe tenerse en las baterías? ¿Cómo se seleccionan el regulador de carga y el inversor si se requieren?

En esta sección daremos algunas reglas relacionadas con el diseño, de sistemas fotovoltaicos que han mostrado su utilidad para estimar rápidamente las capacidades requeridas, y para un diseño más exacto nos basaremos en el software proporcionado por la CONAE (Comisión Nacional de Ahorro de Energía) en el cual se hará en forma mas completa e incluye bases de datos de radiación.

El problema planteado específicamente es el siguiente: Se tiene una necesidad de energía promedio cada día, en un lugar con posición geográfica dada, en el que la radiación solar diaria en promedio es conocida para todos los meses del año. Se desea además asegurar que el suministro de la energía será suficientemente confiable aun en días nublados o con bajos niveles de radiación solar.

La energía requerida dependerá de la potencia consumida por los aparatos o equipos que se desee hacer funcionar y del tiempo total que estarán operando en promedio cada día. Por ejemplo, supongamos que en un lugar alejado de la Republica Mexicana se necesita hacer funcionar 3 lámparas fluorescentes de 20 watts (que son más eficientes que un foco incandescente), que operen 3 horas en promedio cada una. La energía requerida será $3 \times 20 \times 3 = 180$ watts-hora en promedio cada día. Esto significa que un día podrían estar las tres lámparas funcionando tres horas: otro día podríamos tener 2 lámparas iluminando durante 4.5 horas cada una; o bien, otro día sé podría tener una sola lámpara funcionando

hasta nueve horas. Lo importante es que en promedio se demandara 180 Watts-hora cada día. En este ejemplo simple, las lámparas demandaran 1.66 amperes @ 12 volts de CD, cada una.⁽²⁾

Desafortunadamente, en México (como ocurre en toda Latinoamérica) no se cuenta con información confiable sobre la radiación solar, pero al menos se tienen valores promedio mensuales en los estados de la República que podrán auxiliarnos hacer los cálculos en forma aproximada, lo cual es suficiente para pequeños sistemas fotovoltaicos. En el futuro, esperamos que la radiación sea medida con mayor exactitud, precisión y confiabilidad a o largo de todo nuestro país, con lo cual se podrá tener mejores diseños.

Algo importante de destacar es que la radiación típicamente se mide sobre el plano horizontal en el cual se encuentran los módulos. Por lo tanto, es necesario hacer el cálculo de la radiación promedio que incide normalmente sobre el arreglo de los módulos. Esto es laborioso, y deberá ser realizado por medio de programas de computadora, por tal motivo nos apoyaremos en el programa fv2.0 (fotovolt).

Es conveniente que la energía generada por el arreglo fotovoltaico en el mes con mínima radiación promedio, al menos sea igual a la energía demandada (incluyendo las pérdidas). Con esto se asegura que en los meses con mayor radiación promedio no habrá deficiencia de energía.

En México el mes en que se recibe menor energía por radiación solar es entre Diciembre y Enero. Por lo tanto la inclinación de los módulos más adecuada, deberá ser a la latitud del lugar más 15 grados. Por ejemplo, supongamos que se quiere hacer funcionar las lámparas mencionadas en un lugar del estado de Oaxaca cuya latitud sea de 17 grados norte entonces, la orientación mas

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La electricidad que viene del sol, editorial Iberoamericana

adecuada para los módulos será de 32 grados respecto de la horizontal (viendo hacia el sur).

En el mapa de la figura 3.1 se podrá ver que la radiación promedio sobre el plano horizontal para dicho estado, en diciembre, es de aproximadamente 4.5 horas pico. El factor de corrección para los módulos, en el mismo mes de diciembre es del orden de 1.3 (cuando no se tenga como calcularlo se puede hacer una estimación, y dar el valor de 1.2 a este factor). Es decir, la radiación promedio incidente sobre los módulos, orientados a 32 grados respecto a la horizontal, será de $1.3 \times 4.5 = 5.85$ horas pico.

Si tomamos un factor de 20% para compensar las perdidas de energía (en las conexiones, en el regulador y en las baterías mismas), la energía total demandada será de $216 \text{ W-h} = 1.2 \times 180 \text{ W-h}$. Por lo tanto, la potencia pico de los módulos requeridos deberá ser de $216 \text{ W-h} / 5.85 \text{ horas pico} = 37 \text{ Watts pico}$, para el presente ejemplo, requerimos de un solo modulo de 34 a 40 watts pico, el cual podrá encontrarse comercialmente. ⁽²⁾

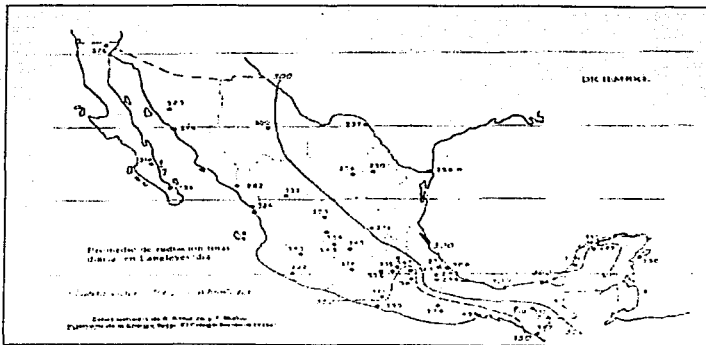


figura 3.1 mapa de la radiación sobre la republica Mexicana en el mes de Diciembre. Los datos corresponden a la radiación total sobre un plano horizontal.

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La electricidad que viene del sol, P39-P44, editorial Iberoamericana

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

El siguiente paso es el calcular la capacidad de las baterías requeridas. Para ello supongamos que el fabricante nos indica que sus baterías operan a 12 volts nominales con máxima profundidad de descarga recomendable de 50%. Por lo tanto, la carga diaria nominal demandada es igual a:

$$216 \text{ W-h} / (0.5 \times 12 \text{ Volts}) = 36 \text{ Amperes-hora.}$$

El factor 0.5 en el denominador se debe a que solo se permitirá un 50% de descarga máxima en las baterías.

Un sistema con una sola de estas baterías, no sería confiable por que la carga almacenada servirá para proporcionar la energía demandada solo en días en que la radiación solar fuera suficiente para satisfacerla. Sin embargo, a lo largo del año habrá varios días nublados consecutivamente. En este caso, la energía generada no sería suficiente para proporcionarla a nuestras lámparas durante la noche. Por ello es necesario tener carga extra almacenada para prevenir esos periodos con bajos niveles de radiación.

Se acostumbra usar de 4 a 10 días de carga en las baterías, dependiendo del lugar, de la confiabilidad y del costo deseado.

En nuestro ejemplo, donde asumiremos que la iluminación proporcionada no es cuestión de vida o muerte, o sea que no se necesita que el sistema sea excesivamente confiable, podremos usar 4 días de carga en las baterías (1 día de consumo, mas 3 días de reserva, para nublados). Por lo tanto, en nuestro ejemplo, se necesitaran baterías con un total de $4 \times 36 \text{ A-h} = 144 \text{ A-h}$ de carga @ 12 volts.

Hasta aquí, hemos supuesto que las lámparas requieran de corriente directa, pero en muchas ocasiones se necesitara de corriente alterna, por lo que sería necesario poner un inversor. En tal caso, habrá que considerar las perdidas de energía en la conversión de CD a CA. Por ejemplo si se tuviera un inversor que en operación tuviera una eficiencia de 90% significara que tendríamos que agregar

un 10% a las capacidades que hemos calculada previamente. O sea que se necesitaría un modulo de 40 Watss pico y una batería con capacidad máxima de 160 A-h, aproximadamente.⁽²⁾

Veamos ahora las características del regulador de carga. Dados los parámetros de los módulos, se pueda ver (@ 12 volts) que es del orden de 3 Amperes, por lo que bastara con un controlador que a la entrada pueda soportar 5 Amperes. Si además se tiene un controlador que proteja la descarga de las baterías podemos ver que a su salida maneja una corriente máxima de $60 \text{ Watss} / 12 \text{ volts} = 5$ Amperes. Es decir, seleccionaremos un controlador que permita manejar corrientes de 8 a 10 Amperes de descarga. Para tener nuestra casa de campo en un lugar de Oaxaca con iluminación en tres recamaras, durante tres horas promedio cada noche, bastara con comprar lo siguiente:

3 lámparas fluorescentes de 20 Watss a 12 V de CD.

1 modulo de 36 Watss pico a 12 volts, orientado hacia el sur con un ángulo de 32 grados respecto a la horizontal.

1 batería con 144 A-h de carga a 12 V, o la más cercana.

1 regulador de carga con corriente máxima en al entrada de 5 A, y corriente máxima en la salida de 8 a 10 A a 12 v.

1 juego de cables, apagadores y herrajes necesarios para la instalación eléctrica.

3.3 MEDICION DE LA RADIACIÓN SOLAR MEDIANTE INSTRUMENTOS

Existen distintos instrumentos para medir la radiación solar todos ellos la convierten esta radiación a otra forma de energía, dando como resultado una medida o lectura proporcional a la intensidad de la radiación solar algunos ejemplos se presentan a continuación.

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La electricidad que viene del sol, P39-P44, editorial Iberoamericana

Como primer instrumento más común, conocido como piranometro, se emplea para registrar la radiación total dentro de su campo de vista hemisférico. La figura 3ª presenta una fotografía de un piranometro típico. El aparato usualmente se coloca sobre una superficie horizontal, y registra, en consecuencia, la radiación global en un sitio dado. La señal eléctrica generada puede servir para obtener grafica o digitalmente la radiación solar como función del tiempo, o bien procesada en un integrador electrónico, puede servir además para obtener el total de la energía incidente en un periodo de tiempo dado, cada hora o cada día.

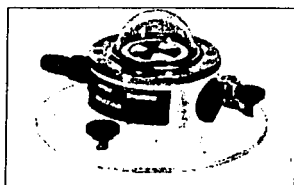


Figura 3ª Piranometro

La tabla 3.1 muestra los datos de radiación global integrados a lo largo de un día. Algunos otros piranometros, conocidos también como piranografos mecánicos, se basan en la dilatación diferencial de elementos bimetalicos expuestos a la radiación solar. Mediante un mecanismo apropiado, un trazador registra la radiación solar sobre el panel que se monta en un tambor cilindrico. El movimiento de este tambor se efectúa mediante un mecanismo de reloj con cuerda periódica.⁽³⁾

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

⁽³⁾ Manrique, José A, Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones fotermicas, ED 1986, Edit Harla Harper

H ora	Energía W- h/m ²	Hora	Energía W- h/m ²
00:00	00 000	13:00	03 562
01:00	00 000	14:00	04 561
02:00	00 000	15:00	05 479
03:00	00 000	16:00	06 247
04:00	00 000	17:00	06 819
05:00	00 000	18:00	07 181
06:00	00 000	19:00	07 331
07:00	00 029	20:00	07 342
08:00	00 136	21:00	07 342
09:00	00 359	22:00	07 342
10:00	00 873	23:00	07 342
11:00	01 669	24:00	07 342
12:00	02 580		

Figura 3.1 datos típicos de radiación solar en un día

La figura 3.2 presenta el registro típico de radiación global que se obtiene con un piranógrafo mecánico. El piranógrafo puede modificarse para que se indique únicamente radiación difusa, empleando una banda metálica que obstruya la radiación directa del sensor.

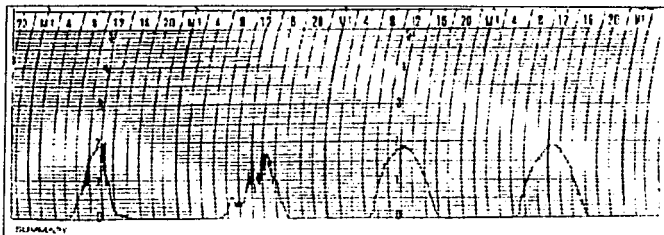
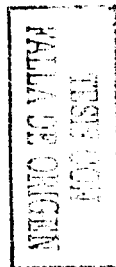


Figura 3.2 Registro de radiación solar mediante un piranógrafo mecánico



Un segundo instrumentó también muy común e ilustrado en la figura 3b es el pirheliómetro, que sirve par medir la radiación directa normal que proviene del sol. El campo de vista de este instrumento es igual a $5^{\circ}43'30''$. El pirheliómetro cuenta generalmente con un dispositivo electrónico que le permite seguir al sol en forma continua, por lo que se puede llevar acabo un registro de la radiación directa normal a lo largo del día.⁽³⁾



Figura 3b Pirheliómetro

Los datos pirheliometricos deben interpretarse cuidadosamente en el diseño de concentradores de enfoque que permiten alcanzar altas temperaturas de operación. La mayoría de estos concentradores enfocan únicamente al disco

⁽³⁾ Manrique, José A , Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones fotermicas , ED 1986, Edit Harla Harper

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

solar ($\approx 1/2^\circ$) y no a la zona de aproximadamente 5° del disco y su aureola que ve un pirheliómetro. En el caso de cielo completamente despejado esta diferencia no representa ningún problema serio, dado que ya 1° de arco mas allá del disco solar la densidad del flujo de energía disminuye hasta una milésima parte. Sin embargo, para el cielo brumoso la diferencia puede conducir a una sobre estimación del funcionamiento térmico de los concentradores.⁽³⁾

Un tercer instrumento muy empleado y antiguo es el que se conoce como heliógrafo de campbell-Stokes para medir las horas de a soleamiento en un lugar. El instrumento esta constituido por una lente esférica que produce una imagen del sol sobre papel tratado químicamente. El papel se quema cuando el valor de la radiación esta por encima de 120W/m^2 . La longitud del papel quemado es un índice del numero de horas de sol brillante. Debe apuntarse que el heliógrafo de Campbell-Stokes no mide la energía solar; solamente proporciona los intervalos de tiempo en el día en que la radiación esta por encima de un mínimo establecido.

3.4 ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN MENSUAL

En ausencia de datos experimentales existen numerosas correlaciones par estimar la radiación mensual promedio sobre una superficie horizontal en un lugar dado. Estas correlaciones hacen uso de información fácilmente obtenible: Numero de horas de a soleamiento o porciento de posibles horas de a soleamiento, latitud del lugar, precipitación pluvial, etc.

Una de las expresiones, más sencillas es la de Ångstrom, la cual correlaciona la radiación total sobre una superficie horizontal y la radiación en condiciones de cielo despejado, con el porciento de posibles horas de a soleamiento

⁽³⁾ Manrique, José A, Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones fotermicas, ED 1986, Edit Harla Harper.

Esta correlación es de la forma:

$$H = H_x (a + b n/N)$$

Donde:

H: radiación promedio sobre una superficie horizontal en un periodo

O intervalo de tiempo dado, un mes.

H_x : radiación promedio sobre una superficie horizontal

n: número de horas de a soleamiento diario promedio en el mismo periodo.

N: máximo número diario de horas de a soleamiento en el mismo periodo de tiempo.

Y los valores para $a = 0.35$ y $b = 0.61$ para utilizar en la ecuación anterior. ⁽³⁾

3.5 PUNTOS BÁSICOS PARA UN DISEÑO OPTIMO

En resumen, nuestro procedimiento de calculo para el lugar en donde los meses con menor insolación sean los de invierno es como sigue:

1. - Consultar mapas o tablas de radiación solar para determinar la radiación solar promedio en horas pico sobre el plano horizontal. Luego, como regla simple, multiplicar por 1.2 este valor para estimar la radiación promedio sobre el plano de los módulos, que estarán inclinados con un ángulo igual a la latitud del lugar más 15 grados.
2. - Calcular la demanda total de energía y multiplicarla por un factor igual a 1.2, para tomar en consideración un 20% adicional debido a las pérdidas.

⁽³⁾ Manrique, José A, Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones fotermicas, ED 1986, Edit Harla Harper

3. - A la energía demandada (del inciso dos), dividirla entre la radiación promedio del inciso 1, con lo que se determinara la potencia pico total de los módulos requeridos. El número de módulos se calculara a partir de la potencia pico total dividida entre la potencia pico de los módulos con que se cuente.

4. - A la energía demandada, dividirla sobre el voltaje nominal para determinar la carga demandada en promedio cada día.

5. - Multiplicar la carga diaria por 4 (o sea, 1+3 días de reserva) y dividir sobre la máxima profundidad de descarga permitida en las baterías. Esto nos dará la carga total requerida en las baterías.

6. - La conexión de los módulos se hará en paralelo si los voltajes nominales de los módulos y de las baterías con que se cuenta son iguales. Sin embargo, si los voltajes difieren tendrán que combinarse en paralelo varios sub-arreglos de módulos interconectados en serie.

Para determinar el número de módulos en serie en cada sub-arreglo se deberá dividir el voltaje nominal de operación de las cargas entre el voltaje nominal de los módulos con que se cuenta. Ejemplo, hay equipos de radio - comunicación que operan a 48 volts de CD. Las baterías se conectaran de forma que proporcionen dicho voltaje, y si los módulos generan voltajes nominales de 12 V, será necesario conectar 4 módulos en serie. El número de sub-arreglos (con módulos en serie) que deben conectarse en paralelo será igual al total de módulos (del inciso 3), dividido entre el número necesario en cada sub-arreglo, redondeando al próximo entero superior.

Ejemplo, si para el equipo de radio hubiésemos calculado 6 módulos en total, tendríamos que poner 2 sub-arreglos en paralelo (4 módulos en serie), ya que no se podrían conectar un número fraccionario de arreglos en paralelo. En tal caso, nuestro sistema estaría sobredimensionado, debido a la necesidad que se tendría de conectar módulos en serie y en paralelo para poder proporcionar el voltaje y la

corriente demandados. Para solucionar este exceso, que puede causar mayor costo, se podrán buscar módulos de menor potencia, de forma que 8 de estos tengan la misma potencia y total que las 6 que se hubiesen calculado con la potencia original.

7. - Con base en las corrientes máximas generadas por los módulos y demandada por las cargas, se podrá determinar cual es el regulador mas apropiado.

8. - En los cálculos anteriores se tendrán que incluir las pérdidas debidas al inversor cuando se requiera de la conversión de CD a CA. Es decir, la energía total (en el inciso 2) deberá multiplicarse por un factor mayor que 1 para tomar en cuenta las pérdidas en el inversor.

El método que acabamos de describir permite tener una estimación de la cantidad de módulos y baterías requeridos para proporcionar una pequeña cantidad de energía. Sin embargo, normalmente no se cuenta con los mapas de radiación y se requiere de cálculos laboriosos para determinar la cantidad real de radiación sobre el plano de los módulos.⁽²⁾

⁽²⁾ Morales Acevedo, Arturo, La electricidad que viene del sol, editorial Iberoamericana

CAPITULO 4

DISEÑO DE COLECTORES DE ENERGÍA

4.1 INTRODUCCIÓN

Las continuas subidas del precio del petróleo de los últimos años han colocado a la energía en un lugar de la actualidad muy importante: las fuentes de energía tradicionales, de carácter extinguido, no podrán satisfacer por mucho tiempo la creciente demanda de energía. La solución nuclear podría teóricamente, asegurar el suministro energético, pero a las centrales de fisión les queda por resolver problemas de tanta importancia como el almacenamiento de residuos y las de fusión se encuentra aun en estado de investigación.

La necesidad del desarrollo de nuevas fuentes de energía ha renovado el interés por el aprovechamiento de la energía solar. La energía solar puede aprovecharse de forma directa para la obtención de agua caliente y el acondicionamiento de edificios, en general, o bien puede convertirse en energía eléctrica. Las centrales solares, actualmente en desarrollo pueden ser de tipo térmico, que utilizan el calor del sol para producir el vapor necesario para mover una turbina, o basarse en el efecto fotovoltaico, mediante la utilización masiva de células solares montadas en grandes paneles de células.

En cualquier caso, la primera condición que debe reunir un sistema de aprovechamiento de energía solar es la de recoger la mayor cantidad posible de energía recibida en un determinado lugar. Esto es obviamente así, tanto para los colectores térmicos, como para los helióstatos (espejos móviles) de una central solar térmica, al igual que para los paneles de una central fotovoltaica. Esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a

los rayos solares, y por tanto, una colección óptima solo puede conseguirse si dicha superficie esta dotada de un movimiento de seguimiento del sol.

En los sistemas prácticos, sin embargo, una solución estática puede resultar suficiente para determinadas aplicaciones. Naturalmente, en este caso, a la energía colectada no es la máxima posible, pero puede resultar un valor aceptable si se da al colector una determinada inclinación, que depende de la latitud del lugar. Con ajustes estacionales de esta inclinación se consiguen algunas mejoras.

La acumulación directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos o fotoeléctricos, o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio.

Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.¹

Utilizando un colector con seguimiento, a la energía total recibida en un día claro puede ser del orden de un 35% mayor que para el mismo colector estático. Un incremento de esta cantidad compensaría sobradamente la energía requerida para el seguimiento. Sin embargo, en la practica este aumento puede reducirse considerablemente para el caso de nublados frecuentes y en todas aquellas condiciones climatologicas en las que la relación entre la energía recibida por la radiación directa y la recibida por radiación difusa tienda a disminuir. Esto hace

¹"Energía solar," *Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2000*. © 1993-1999 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

que el seguimiento no sea una solución definitiva para pequeños sistemas de colector plano.

Pero el seguimiento es imprescindible, en mayor o menor grado, cuando se trata de grandes colectores y es completamente necesario (seguimiento ideal) en el caso de aquellos sistemas que se basan en la concentración óptica de la radiación solar (concentración mediante espejos parabólicos sobre tubos colectores, concentración mediante espejos o lentes sobre células solares, por citar dos ejemplos).

También es imprescindible en el caso de los campos de helióstatos de una central térmica solar que han de enfocar, todos ellos, luz solar sobre un único colector. Todos los sistemas de concentración utilizan únicamente la radiación directa; pero aun así, puede obtenerse una ganancia de la energía captada respecto al colector estático que recoja la radiación total, siempre que se trate de climas pocos nubosos.

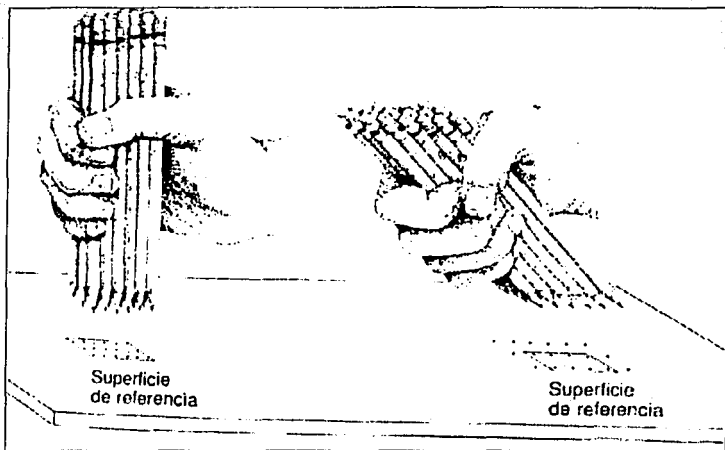
4.2 ORIENTACIÓN CON RESPECTO AL SOL

Intensidad solar sobre una superficie .

El ángulo con el que inciden los rayos de sol sobre una superficie determinará la cantidad de energía que recibe esta superficie. Como la radiación solar incide sobre la tierra en rayos prácticamente paralelos , una superficie perpendicular a los mismos será la que interceptará la mayor proporción de energía .Si los rayos se debían de la perpendicular decrecerá la energía interceptada por la superficie.

Quizás el mejor sistema de imaginar este fenómeno es pensar que los rayos solares paralelos son como un haz de lápices sostenidos con la mano sobre una mesa y apuntando hacia abajo. Las marcas realizadas por los lápices están perpendiculares a la mesa, los puntos están apretados al máximo. Cuando se

inclinan los lápices todos a la vez , los puntos se separan y cubren superficies cada vez mayores , la densidad energética por unidad de superficie disminuye.⁽²⁾



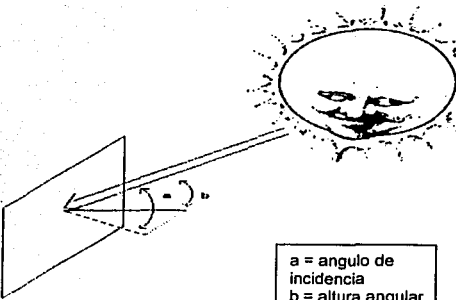
La densidad de energía es determinada por el ángulo de incidencia

Sin embargo , una superficie que se para hasta 25° de la perpendicular respecto al sol todavía intercepta mas del 90% de la radiación perpendicular a la superficie (también llamado ángulo de incidencia) determinara el porcentaje del asoleo directo que interceptara la superficie .En la tabla siguiente relaciona los porcentajes de asoleo interceptados por una superficie para distintos ángulos de incidencia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

⁽²⁾ Mazria Edward , El libro del a energía solar pasiva , Ed. G. Gili , S. A , P 17 – P 38. ED. 1983

Angulo de incidencia a (grados)	Radiación solar interceptada (tanto por ciento)
0	100,0
5	99,6
10	98,5
15	96,5
20	94,0
25	90,6
30	86,6
35	81,9
40	76,6
45	70,7
50	64,3
55	57,4
60	50,0
65	42,3
70	34,2
75	25,8
80	17,4
85	8,7
90	0,0

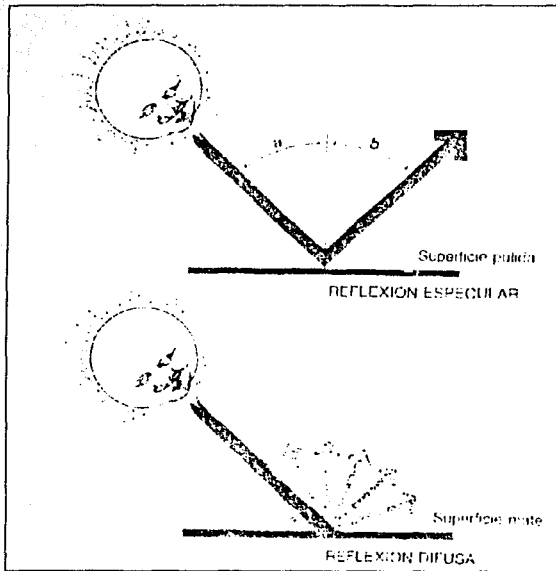


a = angulo de incidencia
b = altura angular

La cantidad total de energía interceptada por una superficie no solo comprende la radiación directa, sino también la difusa y reflejada. La cantidad total de energía radiante que recoge una superficie es mayor que la contenida únicamente en la radiación directa. La radiación difusa, o sea la difractada por la atmósfera y redirigida hacia la superficie terrestre, puede llegar a valer el 50% de la total cuando el sol está bajo en el horizonte y el 100% para un cielo enteramente cubierto. Sin embargo, en días despejados la radiación difusa solo representa una pequeña parte del total. La intensidad de la radiación que se refleja sobre una superficie de material reflectante depende de la calidad del acabado, del material de la superficie y del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el reflector. Cuando mayor es el ángulo de incidencia, mayor es la proporción de radiación que se reflejara.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es importante comprender que la captación de radiación depende del área de las superficies captadoras. El contenido energético de la radiación solar esta fijado por la posición del sol. Para captar una determinada cantidad de energía solar será necesario disponer de una área suficiente. Esta observación se aplica a todos los sistemas de calentamiento solar , desde la superficie vidriada al sur de una vivienda a los captadores de concentración. El área que intercepta la radiación solar es al que determinara la cantidad máxima de energia radiante que podrá captarse .⁽²⁾



TESIS CON
PALLA DE ORIGEN

⁽²⁾ Mazria Edward , El libro del a energia solar pasiva , Ed. G. Gili , S. A , P 17 – P 38. ED. 1983

4.3 Sistema de colector analógico

Una superficie colectora esta apuntada al sol cuando un vector perpendicular a la misma es paralelo a los rayos solares. En general, para mantener un colector apuntado en todo momento, se precisa un giro del mismo alrededor de dos ejes. Sin embargo, salvo para los sistemas que utilizan sistemas ópticos de concentración con punto focal, es posible emplear sistemas de seguimiento de un solo eje, que si bien no presentan un rendimiento de colección optimo pueden representar un rendimiento de colección optimo pueden representar un compromiso global aceptable entre la energía total captada a lo largo de un día (o de un año) y la complejidad, coste y consumo de energia de un sistema de seguimiento de dos ejes.

Las configuraciones de dos ejes más comunes en la practica están representadas esquemáticamente en la figura 4ª.

El montaje polar (4ª A) posee un eje de giro paralelo la de la tierra y otro, horizontal, perpendicular a este. Este montaje es muy apropiado para pequeños colectores por su sencillez de movimientos: el giro alrededor del eje polar es de velocidad prácticamente uniforme e igual a la del reloj y el giro alrededor del eje horizontal solo se necesita para corregir las variaciones de la inclinación solar, por lo que muy bien puede hacerse únicamente una vez al día, o incluso, solo varias veces al año, si no se requiere gran precisión.

Sin embargo, el montaje polar, que requiere un eje inclinado móvil, no es apropiado para sistemas pesados. En el caso de los grandes espejos de una central térmica solar (helióstatos) o de los paneles de una fotovoltaica, por ejemplo, el montaje mas utilizado es el llamado de *acimut-elevación*. (Fig., 4ª b) que tiene un eje vertical y otro horizontal. Esta configuración permite gran robustez mecánica sin grandes complicaciones de la estructura y de los mecanismos de giro. Por el contrario, la cinemática del movimiento de seguimiento del sol resulta ahora más complicada.

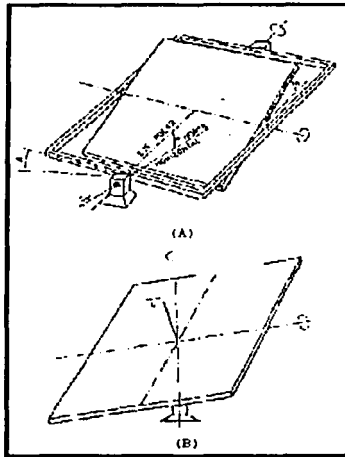


FIGURA 4ª configuraciones de ejes más utilizadas en la práctica (a) Montajes polar.
(b) Montajes acimut-elevación.

Por el contrario, la cinemática del movimiento de seguimiento del sol resulta ahora más complicada. Del triángulo esférico de la figura 4b se obtiene:

$$\text{Sen } E = \cos Z = \text{sen } \phi \text{ sen } \delta + \text{cos } \phi \text{ cos } H$$

$$\text{Sen } A = \text{cos } \delta \text{ sen } H / \text{sen } Z$$

Formulas que permiten calcular el ángulo de elevación del sol sobre el horizonte, E , y el acimut (ángulo entre el meridiano celeste local y la línea entre el cenit y el sol), A , en función de la declinación solar δ , la latitud del lugar, ϕ , y el ángulo horario, H . La declinación varía a lo largo del año debido a la inclinación de la eclíptica respecto al ecuador celeste, pero puede suponerse constantemente, a lo

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

largo de un día. En cuanto al ángulo horario es aproximadamente proporcional a la hora del reloj de tal forma que las velocidades y aceleraciones del movimiento vienen dadas, en primera aproximación.

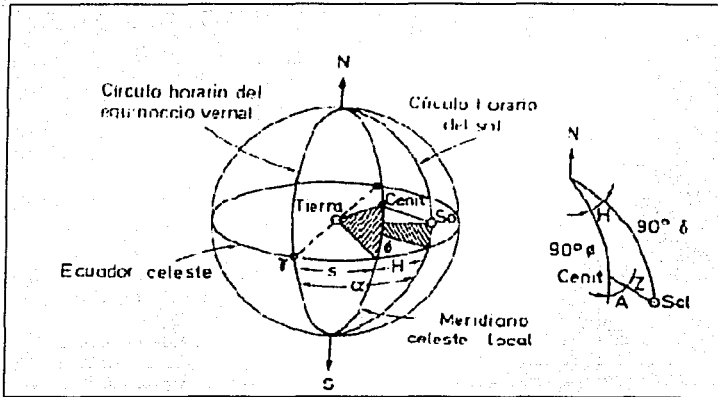


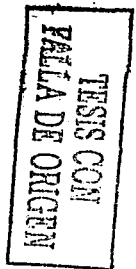
Figura 4b

4.4 SISTEMA DE COLECTOR DIGITAL

ARRASTRE Y CONTROL DEL COLECTOR

Una vez decidida la configuración, el paso siguiente en el diseño de un sistema de seguimiento es la elección del sistema de arrastre y control que mueva el colector y lo mantenga continuamente apuntando al sol.

Para el arrastre pueden ser hidráulicos, mecánicos, electromecánicos, etc. Pueden utilizarse por ejemplo, simples sistemas de relojería para pequeños



montajes de eje polar. Sin embargo, el empleo de un motor eléctrico y un reductor de velocidad por cada eje de giro es el sistema más habitual.

En algunos casos sencillos, como el montaje de eje polar, y que no requieren gran precisión, puede utilizarse un motor sincrónico que gira a velocidad del sol medio, pero normal, es el empleo de sistemas de control de bucle cerrado cuyo esquema básico es el de la figura 4c.

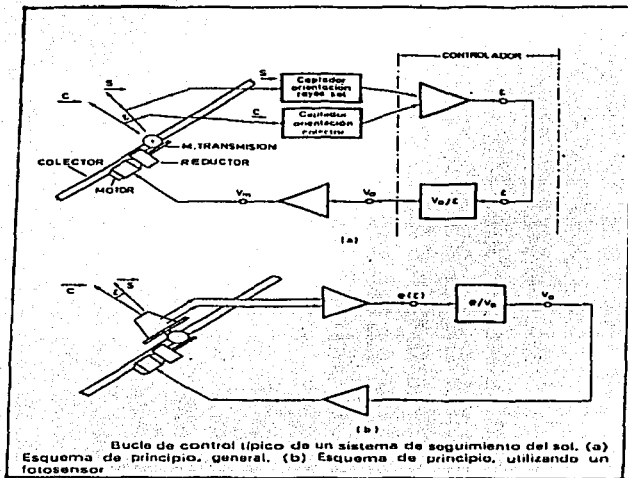


Figura 4c. Bucle de control típico de un sistema de seguimiento del sol. (a) Esquema de principio, general. (b) Esquema de principio, utilizando un fotosensor.

Los captadores de la orientación del sol y del colector proporcionan cada uno una señal proporcional al ángulo (de elevación o de acimut) a partir de los cuales

el controlador genera una señal de error, está actúa sobre el sistema de control del motor que genera las señales oportunas, que convenientemente amplificadas moverán el motor y, por tanto, el colector.

Este esquema es muy general, y admite materializaciones muy diversas que pueden agruparse en dos tipos de sistemas de control: los sistemas que utilizan foto sensores para obtener la señal de error de puntería (figura anterior, inciso b) y los que calculan la posición del sol en función de datos astronómicos, geográficos del lugar y la hora del día.

En el primer caso, el sensor suele estar construido por pares de elementos fotosensibles (fotorresistencias, fotocélulas, etc.) montados de tal manera que proporcionan una señal de salida nula cuando la orientación del panel coincide con la del sol y una señal positiva o negativa proporcional a la desviación, en caso de que no ser de tal coincidencia. En estos casos el foto sensor va solidamente unido al propio colector y se mueve con él de tal manera que su función sustituya a la de los captadores de orientación del sol y del colector de la figura anterior.

4.4.1 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO DEL SOL

(FOTOSENSOR DE LA ORIENTACIÓN DE LOS RAYOS SOLARES)

La necesidad de captar la mayor cantidad posible de la energía incidente en un determinado lugar es, evidentemente, una exigencia común a todos los sistemas de aprovechamiento de la energía solar. La máxima captación se obtiene si la superficie colectora se mantiene constantemente en posición normal a los rayos del sol, lo que únicamente puede conseguirse si dicha superficie esta dotada de un movimiento de seguimiento del sol.

En comparación con la energía captada por un colector estático, la captada por uno dotado de un sistema de seguimiento del sol. En comparación con la energía captada por un colector estático, la captada por uno dotado de un sistema de seguimiento del sol puede aumentar hasta un valor del orden de un 35% o más. Aunque este incremento se ve reducido en los casos de frecuentes nublados, el aumento de energía así conseguido compensa sobradamente en muchos casos prácticos el consumo de energía y el precio de los mecanismos de seguimiento.

4.4.2 EL SEGUIMIENTO DEL SOL

El panel a controlar utiliza una configuración de seguimiento en dos ejes en un montaje acimut-elevación. El seguimiento del sol en cada uno de estos ejes se consigue mediante el bucle de control que se muestra en la figura 4d, utilizando ambos idénticos sistemas fotosensores, situados estos en una pieza solidaria al panel.

Para pequeños errores de puntería el sistema fotosensor genera una señal de error, e , proporcional al ángulo de desviación (δ), diferencia entre la orientación del panel, P , y la orientación de los rayos de sol en cada instante, S . A partir de esta señal de error, convenientemente transformada, se elabora la señal de actuación, V_0 , que controla el funcionamiento de los motores para conseguir un movimiento del panel en el sentido de anulación de error.

Los motores giran a una velocidad constante y funcionan de manera intermitente, de forma que el seguimiento se efectúa mediante el control de sus tiempos de actuación manteniéndose el error de puntería dentro de una banda de tolerancia.⁽³⁾

⁽³⁾ Mompín Poblet, Energía Solar Fotovoltaica, Ed. Marcombo, Ed. 1985, P 96-109.

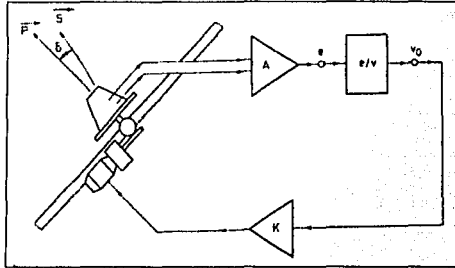


Figura 4d. Bucle de control de seguimiento

Los métodos de seguimiento del sol por coordenadas calculadas que obtienen la posición del sol mediante el cálculo de su trayectoria astronómica y no precisan, por tanto, de la presencia física de los rayos solares, se utilizan frecuentemente en los sistemas de aprovechamiento de la energía solar que requieren un seguimiento indirecto del sol.

En los sistemas basados en un seguimiento directo del sol, ya sean térmicos o fotovoltaicos, el seguimiento más empleado es, sin embargo, el que utiliza fotosensores, los cuales se valen de la radiación solar directa, para detectar la posición del sol. La posibilidad del seguimiento cuando se producen ocultaciones del sol y la necesidad, en consecuencia, de emplear un tiempo en la recuperación de la puntería cuando el sol reaparece, son características inherentes a todos los sistemas de seguimiento basados en fotosensores.

Los sistemas de coordenadas calculadas, por el contrario, son inmunes a los nublados y otras circunstancias, que puedan producir errores de puntería en un fotosensor, como sucede por ejemplo con los destellos. Estos sistemas implican la utilización de elementos de cálculo y procesamiento y, por tanto resultan más adecuados cuanto mayor sea el número de paneles a controlar. En estos casos, la utilización en el sistema de equipos controladores por computadora presentan las ventajas adicionales de que determinados cambios puedan hacerse a nivel de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

software únicamente y de poder incluir, también con subprogramas, un conjunto de funciones adicionales a la puntería propiamente dicha, tales como la de llevar los paneles a una posición de máxima seguridad ante inclemencias del tiempo, o la de retorno.

El desarrollo actual de los microprocesadores y las previsiones futuras del mismo permiten considerar sin embargo, que los sistemas de seguimiento por coordenadas calculadas basado en microprocesador puedan ser también una alternativa para pequeños sistemas de seguimiento directo del sol.

4.4.3 CALCULO DE LA POSICION DEL SOL

Los paneles a controlar poseen un movimiento alrededor de dos ejes, uno vertical y otro horizontal perpendicular a el, de manera que la orientación de cada panel (dada por la orientación de un vector perpendicular a su superficie) queda determinada por ángulos de acimut A y elevación E. Estos ángulos se calculan en función de la posición geográfica del lugar, del día y de la hora utilizando las relaciones siguientes:

$$\text{Sen E} = \text{sen } \phi \text{ sen } \delta + \text{cos } \phi \text{ cos H cos } \delta$$

$$\text{Sen A} = \text{cos } \delta \text{ sen H / cos E}$$

Donde ϕ es la latitud del lugar, δ la declinación solar y H el ángulo horario.

Los valores del ángulo horario y de la declinación del sol en cada instante pueden calcularse de forma muy precisa en base a datos astronómicos; sin embargo, la precisión requerida en muchos casos, no es muy grande y puede recurrirse a distintos tipos de aproximaciones.

4.4.4 SEGUIMIENTO DEL SOL

El seguimiento del sol por cada uno de los paneles se consigue mediante el bucle de control que se muestra en la figura 4e. Existe un bucle de control para el movimiento de acimut y otro idéntico para el de elevación.

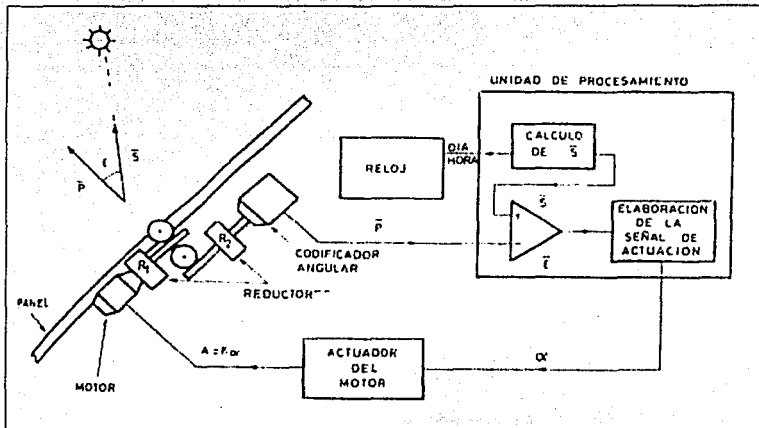


Figura 4e Diagrama de bloques del bucle de control de cada uno de los paneles

El codificador angular proporciona una información digital (P) del ángulo girado por el panel, que es dirigida hacia la unidad de procesamiento. En esta unidad, se calcula la posición del sol (S), a partir de los datos del día y la hora dados para el reloj, y se genera la señal de error $E = S - P$, y a partir de ella la señal de actuación α que convenientemente acondicionada, actúa sobre el motor en el sentido de producir un movimiento del panel que tienda a anular el error.

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

El cálculo de la señal de error y de la señal de actuación (α) se realiza a intervalos regulares en el tiempo T , que ha de ser mayor que el requerido por la unidad de procesamiento para efectuar todos los cálculos y operaciones de I/O y que en nuestro caso es de unos 1.4 segundos en total. Se ha elegido un tiempo de $T = 2.63$ segundos que es sobradamente suficiente para la realización de los cálculos y control del panel, y sin embargo es suficientemente pequeño para que la posición del sol no cambie sustancialmente.

Este cambio es de aproximadamente 0.01° , valor despreciable frente a la precisión requerida (0.1°).

El control de los motores se efectúa variando el tiempo de la actuación de los mismos, que giran a una velocidad constante. De esta manera, la corrección del error se produce por incrementos discretos del ángulo girado por el panel durante intervalos de tiempo de actuación de los motores, como se muestra en la figura 4e. La señal de actuación α genera de la siguiente manera:

Una vez calculado el error ε se compara su módulo con el valor del error permitido, ε_p ($\varepsilon_p = 0.1^\circ$, en nuestro caso). Si resulta mayor, se genera la orden de movimiento de los motores, en el sentido adecuado, determinado por el signo de ε , para anular el error. Cuando $|\varepsilon|$ resulta mayor que ε_p , se da orden de parada.

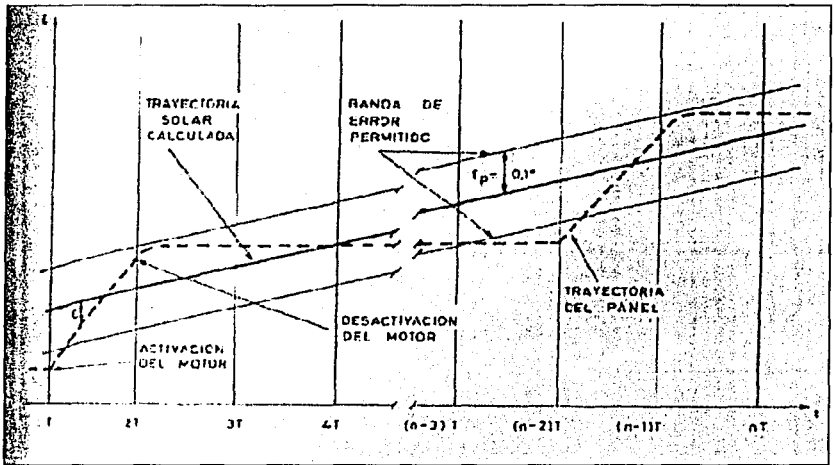


Figura 4d. Control del funcionamiento intermitente de los motores y avance del panel por incremento discreto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 5

DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONOMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Programa ConaeFV2.0

Introducción

Una de las principales barreras identificadas para la utilización masiva de tecnologías que operan a partir de la energía solar es, sin duda, el desconocimiento del público en general de las posibilidades de este recurso energético renovable. Tal es el caso de los sistemas fotovoltaicos aislados, sistemas que basan su funcionamiento en las propiedades de ciertos sólidos cristalinos que permiten suministrar una corriente eléctrica capaz de realizar trabajo útil cuando este material se expone a la luz solar.

Como una de las actividades de difusión y promoción de esta tecnología y atendiendo las sugerencias del Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables (COFER), la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae) ha desarrollado una herramienta de cálculo y evaluación de los sistemas fotovoltaicos. Se pretende que, mediante la interacción del público con este instrumento, se genere una vía de conocimiento y actualización sobre los avances de la tecnología fotovoltaica.

La obtención de esta herramienta será gratuita a través de la hoja electrónica de la Conae, o bien de los discos magnéticos que se distribuyan durante los cursos de capacitación que se organicen para adiestrar al usuario en el empleo de esta herramienta. En todo caso, ésta tendrá que ser actualizada periódicamente por el usuario debido a la dinámica de las bases de datos con que se alimenta.

La herramienta ha sido diseñada para ser consultada por todo tipo de público, brindando la posibilidad a los usuarios avanzados de modificar los diseños que han sido ya optimizados por el programa bajo criterios estrictamente económicos. En todo caso, el programa conserva la simplicidad de utilización sin involucrar al

usuario en procesos de cálculo, los cuales podrán ser consultados en los archivos de ayuda que acompañan al programa.

Para la elaboración de **ConaeFV2.0** se ha considerado la información pública que presentan los diferentes fabricantes y distribuidores de equipo fotovoltaico, así como la normatividad establecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (1992) para los sistemas fotovoltaicos aislados. En ningún momento la Conae pretende recomendar marcas o fabricantes específicos ni establecer políticas de precios de equipos y servicios; más bien la idea consiste en brindar al público un panorama general de la tecnología fotovoltaica así como su disponibilidad para aliviar problemas de abasto energético en lugares en donde no se tiene acceso a los procesos convencionales de electrificación.

5.1. Programa ConaeFV2.0

5.1.1 Sistemas fotovoltaicos aislados

El programa **ConaeFV2.0** está orientado hacia el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados, principalmente en el sector doméstico. La configuración básica que el programa proporciona en la mayoría de los casos consta de los siguientes componentes:

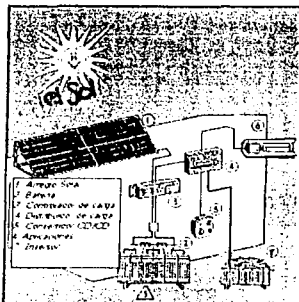


Fig 1.1. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado de baja potencia.

- Arreglo fotovoltaico
- Batería
- Controlador de carga
- Centro de distribución de carga
- Convertidor de voltaje CD/CD
- Inversor, si el sistema proporciona corriente alterna (CA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.2 Descripción del programa

La herramienta de diseño y evaluación técnica y económica de sistemas fotovoltaicos aislados está contenida íntegramente en el programa de computadora **ConaeFV2.0**. Este programa tiene dos niveles de utilización, uno básico para los usuarios principiantes y otro avanzado para aquellos usuarios que deseen modificar los diseños sugeridos por el programa. En ambos casos el programa **ConaeFV2.0** cuenta con rutinas automatizadas de actualización de cálculos.

ConaeFV2.0 está preparado para diseñar y evaluar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos aislados en las 53 principales ciudades de la República Mexicana y cuenta con la información fundamental para realizar esta tarea. El usuario solamente tiene que ingresar la ciudad más cercana a su localidad, así como un inventario de los aparatos o dispositivos que desea energizar para que **ConaeFV2.0** le proporcione los siguientes resultados:

- Condiciones promedio de radiación solar y horas de sol máximo en la localidad
 - Cantidades de energía requerida por el usuario y aportada por el sistema
 - Número, marca, modelo y características de los módulos fotovoltaicos
 - Arreglo de los módulos (serie, paralelo, inclinación, etc.)
 - Dimensiones de la batería, controlador de carga e inversores
 - Características de los principales componentes existentes en el mercado
 - Precio estimado del sistema con relación a los costos de mercado
 - Estudio económico comparativo con respecto a otras formas de alimentación de corriente eléctrica
-

5.1.3 Estructura

ConaeFV2.0 ha sido desarrollado en la plataforma Microsoft Excel 97® y consta de varios módulos o subrutinas en la modalidad de hojas de cálculo. El usuario no tiene acceso a estos módulos, sin embargo, podemos mencionar los siguientes:

- **Instrucc.** Este es el módulo de entrada. A partir de aquí usted puede ejecutar el programa o bien pasar a la lectura previa, de manera de que sea guiado para la ejecución.
 - **Ayuda** Se enlistan los principales pasos para ejecutar el programa.
 - **Consumo** Este es el módulo de actualización y cálculo del consumo de energía de los dispositivos que usted haya seleccionado en la sección de *"Inventario de aplicaciones"*.
 - **Radsol.** En este módulo se establece la distribución horaria de la radiación solar para el mes más crítico (el de menor insolación). También se establecen las horas de sol máximo equivalente.
 - **Radmes.** Similar al anterior sólo que este módulo elabora el mismo estudio para los doce meses del año.
 - **FotoVolt.** Elabora el diseño del mejor equipo recomendado para los requerimientos señalados por el usuario en la localidad especificada, cabe destacar que el criterio de optimización empleado para este diseño es exclusivamente económico. Este módulo proporciona la cantidad total de energía entregada por el sistema fotovoltaico.
 - **FotoMes.** Calcula la cantidad de energía entregada por el sistema para cada uno de los meses del año.
 - **ModEcono.** Analiza el valor del sistema con el tiempo y compara económicamente contra otras opciones de electrificación.
 - **Resultados** Módulo que sintetiza todos los resultados anteriores.
-

- **Diseño Manual** Este módulo queda reservado para usuarios avanzados. En él se puede modificar los componentes sugeridos por **ConaeFV2.0**, así como analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes inclinaciones del arreglo fotovoltaico. A pesar de que en este módulo se pueden modificar manualmente algunos parámetros, el programa actualiza automáticamente el resto de los cálculos.

5.1.4 Metodología de cálculo

ConaeFV2.0 es totalmente automático y solamente se alimenta de la localidad y de un inventario de aplicaciones. Durante el proceso de captura de datos aparecen mensajes orientando al usuario para un correcto llenado de las formas de datos. Una vez realizado el ingreso de datos **ConaeFV2.0**, realiza en forma secuencial los siguientes cálculos:

- a) Cálculo de la cantidad de energía requerida.
 - b) Estimación de la radiación solar disponible en el mes más crítico. Para realizar esta tarea **ConaeFV2.0** está alimentado por la base de datos de los Mapas de Radiación Solar para la República Mexicana desarrollados por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Asimismo se introducen modelos parametrizados para calcular la distribución horaria de la radiación solar diaria y se emplea un algoritmo desarrollado por el autor para calcular el número de horas de sol máximo equivalente para cada localidad.
 - c) Dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Basado fundamentalmente en las cartas de eficiencia presentadas por los fabricantes, así como en el criterio del mes más desfavorable en función de la radiación solar.
 - d) Búsqueda de los componentes que mejor se ajusten, desde un punto de vista económico, al sistema calculado.
 - e) Análisis de comportamiento mensual del sistema.
 - f) Análisis económico desde la perspectiva del valor presente neto.
-

5.1.5 Alcances de la herramienta

ConaeFV2.0 pertenece al grupo de programas "Metodologías Conae" y, como tal, está orientado hacia la promoción de tecnologías y la formación de recursos. En su desarrollo han intervenido especialistas con alto grado de capacitación y amplia experiencia de campo, de tal manera que se considera que su utilización aportará al usuario conocimientos confiables para el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos aislados. Mediante la interacción del usuario con el programa, sobre todo en la interfaz de "usuario avanzado", el consultante podrá ir enriqueciendo sus conocimientos, hecho que podrá verificar prediciendo resultados en el programa antes de que este los muestre.

No obstante, ConaeFV2.0 no está orientado para convertirse en un programa de diseño profesional. Aun cuando se han previsto situaciones características durante el desarrollo de ConaeFV2.0, el diseño de los sistemas fotovoltaicos requiere de rigurosas evaluaciones que frecuentemente varían de sitio en sitio y que solamente pueden ser realizadas por técnicos profesionales, mismos que pueden estar al alcance del usuario en el puerto de atención establecido por la Conae para tal propósito: <http://www.conae.gob.mx>

Los precios, marcas y modelos de equipos han sido tomados de fuentes públicas y de ninguna manera expresan preferencia o recomendación de la Conae hacia un fabricante específico.

5.2. Obtención, operación e Instalación de ConaeFV2.0

5.2.1 Requisitos para obtener el programa

El programa **ConaeFV2.0** se encuentra a disposición del público en general en la sección de Energías Renovables de la página electrónica de la Conae. Para poder utilizarlo es necesario descargar una copia e instalarla en su disco duro. La copia podrá ser descargada de la hoja de la Conae cumpliendo el requisito de llenar la ficha de registro de usuario, este proceso es absolutamente gratuito.

5.2.2 Equipo de cómputo requerido

Para ejecutar **ConaeFV2.0** con la funcionalidad gráfica con que ha sido diseñado se requiere de un equipo con las siguientes características mínimas:

- Procesador 486-DX4, (Pentium 166 deseable)
- 16 MBRAM, (32 MB de preferencia)
- 10 MB de espacio libre en disco duro
- MS-Excel 8.0 ú MS-Office97
- Monitor SVGA

Otras configuraciones por debajo de las aquí mencionadas podrían soportar el programa, sin embargo, éste no se mostrará a su real capacidad. En caso de que esto represente un problema para usted contacte con un Puerto de Atención de la Conae.

5.2.3 Instalación y arranque del programa

En la sección de Energías Renovables de la Conae, pulse el botón "ConaeFV2.0" y aparecerá el siguiente cuadro de registro:

ConaeFV2.0

Nombre	<input type="text"/>
Empresa o Institución	<input type="text"/>
Correo electrónico	<input type="text"/>




Fig. 2.1 Cuadro de Registro

Proceda con la alimentación de sus datos y siga las instrucciones del asistente de su navegador para descargar el archivo en su disco duro.

Para instalar y ejecutar el programa continúe con los siguientes pasos:

1. Inicie el Explorador de Windows 95 y ejecute C:\Download\ConaeFV2.0.exe
2. Automáticamente se creará el programa C:\ConaeFV\ConaeFV20.xls
3. Inicie MSExcel y abra el programa, aparecerá un diálogo que le indicará que el programa contiene macros. Pulse el botón "Habilitar macros"

Una vez realizado el paso número 3 aparecerá la página principal del programa bajo el ambiente de MSExcel. Ahora el programa está funcional y listo para ser utilizado mediante la introducción de la contraseña que le será enviada por la Conae por correo electrónico. Esta contraseña deberá ser renovada mensualmente por el usuario, para tal efecto sólo tendrá que solicitarla a la dirección <http://www.conae.gob.mx>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

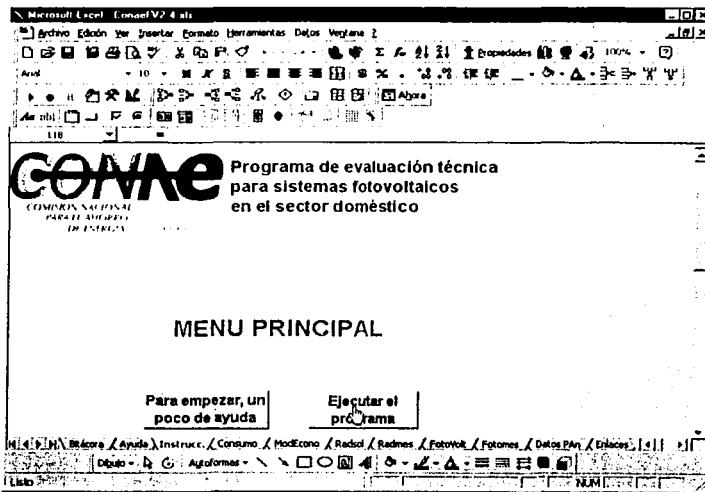


Fig. 2.2 Página principal

5.3. Ejecutar ConaeFV2.0

Consultar a ConaeFV2.0 es muy simple, basta oprimir el botón “Ejecutar el programa” en la página principal y aparecerá un cuadro de diálogo solicitando la contraseña de acceso para comenzar a trabajar con él.

5.3.1 Contraseña

Introduzca la contraseña que le ha proporcionado la Conae, si no la posee solicítela a <http://www.conae.gob.mx/cgis/basesolar.shtml>.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

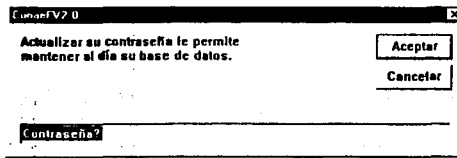


Fig. 3.1 Cuadro de contraseña

Nota importante: ConaeFV2.0 está siendo continuamente revisado y actualizado, por lo que se sugiere que la contraseña se solicite mensualmente. Conae enviará por vía electrónica, además de la contraseña, la actualización del programa o bien de las bases de datos con que opera. Si usted no puede solicitar la contraseña electrónicamente, hágalo por vía telefónica (5-322-1000).

5.3.2 Introducir la Ciudad

Busque entre las 53 ciudades listadas en el cuadro desplegable de la "Hoja de datos" la más cercana a su localidad. La base de datos de radiación solar con que

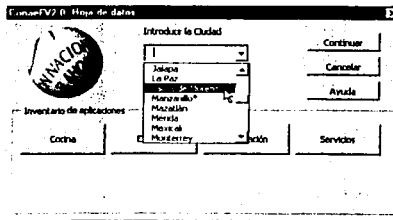


Fig. 3.2 Hoja de datos para introducir la Ciudad

se alimenta este programa está elaborada a partir de la información estadística solarimétrica existente en las ciudades mencionadas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En este momento ConaeFV2.0 cuenta ya con la información relativa a la radiación solar y demás parámetros meteorológicos en la ciudad seleccionada.

5.3.3 Inventario de aplicaciones

Proporcione un inventario de los dispositivos a alimentar con el sistema fotovoltaico, para ello se encuentran disponibles cuatro botones en el cuadro "Inventario de aplicaciones" de la "Hoja de Datos". En cada grupo se localizan los aparatos más comunes empleados en el sector doméstico, así como sus consumos característicos.

❖ Cocina

Aplicación	Consumo (W)
Tostador	1100
Licuadaora	300
Microondas	1100
Lavaplatos automática	500
Lavaplatos manual	300
Refrigerador de 20 pies cúbicos	540
Refrigerador de 16 pies cúbicos	475
Refrigerador CD de 16 pies cúbicos (7 horas/día)	112
Refrigerador CD de 12 pies cúbicos (7 horas/día)	70

❖ Estancia

Cafetera	200
Computadora LapTop	35
Computadora PC	120
Impresora	100
Máquina de escribir	150
TV Color 25"	150
TV Color 19"	80
TV ByN 12"	20
Videograbadora	40
Decodificador satelital	30
Reproductor CD	35
Estéreo	25
Radio reloj	5
Radio grabadora	15

❖ Iluminación

Foco 100 W incandescente	100
Foco 50 W incandescente en corriente directa	50
Foco 40 W halógeno	40
Lámpara fluorescente compacta 20 W	22
Lámpara fluorescente compacta 13 W	16
Lámpara fluorescente compacta 9 W	11
Lámpara de vapor de sodio VP (alumbrado exterior)	35

❖ Servicios

Máquina de coser	100
Plancha	1000
Secadora eléctrica de ropa	400
Bomba de agua (1/4 HP) CA.	220
Bomba de agua CD 1,400 lts/día a 6 m de altura	50
Bomba de agua CD 3,400 lts/día a 6 m de altura	100
Bomba de agua CD 2,500 lts/día a 20 m de altura	110
Ventilador de techo CD	20
Ventilador de mesa	20
Cobertor eléctrico	200
Secador de pelo	1000
Rasuradora	15
Lavadora	500

La columna de la derecha de la tabla anterior indica el consumo típico de cada aplicación en watts (W).

Para ilustrar el procedimiento para realizar el inventario en la "Hoja de datos" oprima el botón "Cocina". Aparecerá el siguiente cuadro:

Fig.3.3 Cuadro de Inventario para la cocina

En el cuadro titulado "Introducción de datos para la cocina" (Fig. 3.3), deberá seleccionar cada uno de los aparatos que desee electrificar. Acto seguido al marcado de una casilla, aparece un cuadro de edición a la derecha del consumo típico sobre el que se indica la unidad de tiempo en que se deben introducir los datos. Por ejemplo al marcar "Refrigerador CD de 12 pies cúbicos" aparece el cuadro de edición para ingresar el tiempo de uso seguido por la leyenda "hr"; si el tiempo de uso por día de este dispositivo es de 4 horas, entonces se introduce el número 4 en el cuadro de edición mostrado.

Adicionalmente el programa previene al usuario de no tratar de electrificar aparatos altamente consumidores. Nótese que al colocar el puntero del ratón sobre una casilla de selección de un aparato altamente consumidor, aparece un mensaje recomendando no emplear ese aparato.

Al concluir la introducción de datos para la cocina oprima el botón aceptar, entonces aparecerá un cuadro preguntándole si está seguro de los datos que proporcionó en el inventario para la cocina.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

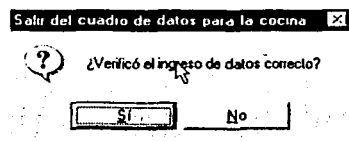


Fig. 3.4 Mensaje de verificación de datos


En caso de que la respuesta sea afirmativa, el programa pasa de nuevo al cuadro "Hoja de datos" para proseguir con el llenado para los otros grupos.

Nota importante: Puede ser que usted no esté interesado por alimentar ningún equipo que esté en el grupo "Cocina", de cualquier forma usted deberá entrar al cuadro "Introducción de datos para la cocina" y pulsar el botón "Aceptar" con todas las casillas de selección desmarcadas.

Una vez que ha introducido la Ciudad y el Inventario de aplicaciones, quedará habilitado el botón "Diseñe su sistema", ignórelo y seleccione Aceptar para continuar adelante con el programa o Cancelar para volver al inicio del mismo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ConaeFV2.0 Hoja de datos



Introducir la Ciudad

Diseñe su sistema

Continuar

Cancelar

Ayuda

Inventario de aplicaciones:

Cocina	Estancia	Iluminación	Servicios
Subtotal Cocina (W-h)-día	Subtotal Estancia (W-h)-día	Subtotal Iluminación (W-h)-día	Subtotal Servicios (W-h)-día
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fig. 3.5 Hoja de datos terminada

Nota importante: El botón "Diseñe su sistema" se habilita cuando se ha concluido de introducir la "Ciudad" y el "Inventario de aplicaciones". No obstante su utilización sólo se sugiere para los usuarios que tengan conocimientos básicos sobre los sistemas fotovoltaicos. Posteriormente se explicará el funcionamiento de este módulo del programa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4 Diseño manual del sistema

Cuando usted ha concluido de introducir la ciudad y el inventario de aplicaciones en la "Hoja de datos" se habilita el botón "Diseñe su sistema". Si usted lo oprime aparecerán los siguientes mensajes:

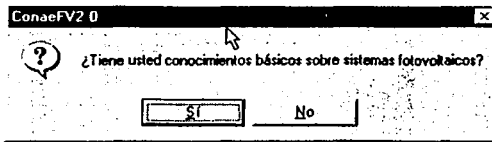


Fig. 4.1. Confirmación para entrar al módulo de diseño manual.

Si usted oprime el botón "No" el programa ConaeFV2.0 seguirá el mismo curso que ha mostrado. En caso contrario, al oprimir "Si", ConaeFV2.0 le abrirá la posibilidad de modificar algunos parámetros del sistema que está sugiriendo.

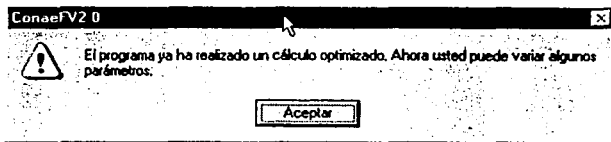


Fig. 4.2. Notificación de que ConaeFV2.0 ya está listo para recibir modificaciones en el diseño.

El mensaje de la figura 4.2 aparece con la "Hoja de resultados" como fondo, en este momento ConaeFV2.0 ya realizó un cálculo optimizado del sistema y lo ha guardado en la memoria temporal. Sin embargo, el programa abre la posibilidad de analizar el comportamiento del sistema con diferentes configuraciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ConaeFV2.0 prevé la posibilidad de modificar los parámetros que mayor repercusión tienen en el costo del sistema:

- El ángulo de inclinación del arreglo fotovoltaico
- La marca y el modelo de los módulos fotovoltaicos del arreglo
- El tipo de batería (Industrial, descarga profunda o automotriz)

Al oprimir el botón "Aceptar" de la figura 4.2 se mostrará el cuadro "Diseño del sistema", en él se representa un sistema fotovoltaico aislado. Sitúe el cursor sobre el sol del diagrama, pulse sobre él y entrará al módulo de radiación solar.

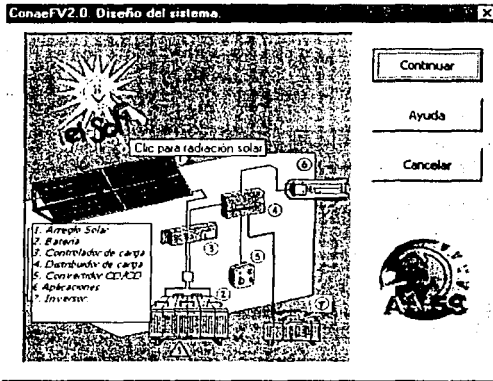


Fig. 4.3. Cuadro de diseño manual del sistema.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4.1 Radiación solar

El módulo de radiación solar permite modificar el ángulo de inclinación del arreglo fotovoltaico en valores predeterminados.

En el marco superior izquierdo de la figura 4.4 se muestran:

- La ciudad introducida por el usuario en la "Hoja de datos"
- el mes de menor radiación diaria para esa ciudad
- la radiación solar diaria sobre una superficie horizontal
- el ángulo de inclinación del arreglo fotovoltaico (propuesto por el programa)
- la radiación solar diaria proyectada sobre el arreglo

Fig. 4.4. Cuadro para modificar el ángulo de inclinación del arreglo.

En el marco superior derecho de la misma figura se muestra el arreglo fotovoltaico previamente optimizado por ConaeFV2.0. En este marco se observan las horas de sol máximo para la radiación proyectada sobre el arreglo. En caso de que usted decida modificar la inclinación del arreglo fotovoltaico, el programa mostrará el

arreglo actualizado con sus correspondientes horas de sol. Para cambiar el ángulo de inclinación proceda de la siguiente manera:

- Oprima el botón "Si" seguido a la pregunta de modificar la inclinación.
- Aparecerá un cuadro de verificación, márkelo para que se visualicen los valores predefinido de inclinación.
- Seleccione la nueva inclinación, se activará el botón "Actualizar", oprímalo y se mostrará el arreglo actualizado.

Solo se permite modificar la inclinación de los módulos. ¿Desea hacerlo? No Si

Modificar el ángulo de inclinación del arreglo en:

Latitud + 10° Latitud - 10°

Latitud + 20° Latitud - 20°

Orientación ecuatorial (inclinación = latitud)

Arreglo actualizado

Módulo:

Horas de sol máximo (h):

Módulos por serie:

Número de series:

Potencia total instalada (W):

Voltaje nominal del arreglo (V):

Corriente del arreglo (A):

Precio aproximado (USD)

Fig. 4.5. Modificación del ángulo de inclinación del arreglo.

Observe que para el caso del ejemplo, en el que se ha seleccionado una nueva inclinación de 0.8 grados hacia el sur (latitud-20 = 20.80-20), el arreglo fotovoltaico requiere de un módulo más en comparación con la inclinación sugerida por el programa, lo cual nos hace pensar que quizá esta orientación no sea la adecuada.

Los cambios de inclinación se actualizan en línea mientras usted presiona el botón "Actualizar". Si usted desea abandonar el módulo volviendo a la orientación preestablecida por el programa realice la siguiente secuencia:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Si desea salir del módulo conservando la modificación que usted propuso, simplemente pulse "Continuar". Al abandonar este módulo el programa vuelve al cuadro de "Diseño del sistema" (figura 4.3).

Nota importante: Para el diseño y evaluación de los sistemas fotovoltaicos aislados ConaeFV2.0 realiza cálculos para todos los meses del año, mismos que no se presentan en ambiente gráfico. Sin embargo, de requerirlo así el público, estos módulos podrán ser integrados al ambiente visual en posteriores actualizaciones de la contraseña.

Si en este momento usted desea salir de "Diseño del sistema" con la modificación que introdujo (por ejemplo: latitud-20) entonces la hoja de resultados quedará actualizada de la siguiente manera:

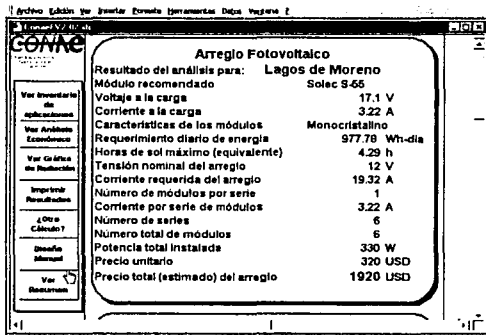


Fig. 4.6. Hoja de resultados actualizada para la modificación de la inclinación

TRISIS CON
 FALLA DE ORIGEN

5.4.2 Módulos fotovoltaicos

Para ingresar al cuadro de módulos fotovoltaicos sitúe el cursor sobre el panel solar del cuadro "Diseño del sistema" que se muestra en la figura 4.3, o bien desde la "Hoja de resultados" pulse el botón "Diseño manual" y después pulse

Fig. 4.7. Cuadro de edición para módulos fotovoltaicos

sobre el panel solar del cuadro "Diseño del sistema". Observará el siguiente cuadro:

Note que el cuadro anterior muestra, en el marco de la izquierda, el diseño correspondiente a una modificación previa del ángulo de inclinación de (latitud-20 grados) en el ejemplo que hemos venido manejando. Lo anterior presupone que ya hemos realizado una modificación en el cuadro de radiación solar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el marco de la derecha de la figura 4.7 se presenta la modificación del usuario mediante un cuadro desplegable. En él se muestran todos los módulos fotovoltaicos contenidos en la base de datos de ConaeFV2.0. Al seleccionar un nuevo modelo (por ejemplo el Solarex MSX-60) inmediatamente se muestran, en los cuadros inferiores, las características eléctricas del módulo; asimismo se habilita el botón "Actualizar" lo cual indica que el programa está listo para recalcular el sistema de acuerdo al nuevo módulo fotovoltaico. Pulse "Actualizar".

Fig. 4.8. Cuadro de módulos fotovoltaicos mostrando la actualización del arreglo.

Mediante repetidos ensayos usted observará que la principal diferencia entre los arreglos para diferentes paneles se debe precisamente a su "modularidad". Dicho de otra manera, en la selección realizada en la figura 4.8 se están proponiendo 30 watts adicionales a los requeridos por el sistema. Se le sugiere que como ejercicio pruebe paneles con otras potencias y observe el resultado.

TESIS CON
 PALA DE ORIGEN

Si usted selecciona módulos de película delgada, es posible que obtenga costos menores, no obstante, esta tecnología no está aprobada en México para su utilización en programas de electrificación.

El cuadro de módulos fotovoltaicos cuenta con una rutina de impresión parcial en línea, de tal modo que usted puede imprimir las actualizaciones si así los desea. Al abandonar el cuadro **ConaeFV2.0** le preguntará sobre la opción que usted desea que se grabe en la memoria temporal.

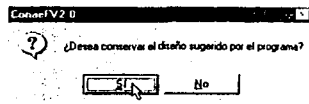


Fig. 4.9 Conservar diseño.

5.4.3 Tipo de batería

La modificación del tipo de batería se puede realizar directamente desde la "Hoja de resultados" desplazando la barra vertical hasta el recuadro de la batería. A la derecha de ese recuadro se encuentra un grupo de casillas de opción, inicialmente marcando al tipo de batería de descarga profunda.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Batería	
Batería	
Requerimiento diario	81.48 A-h
Días de autonomía	3 días
Voltaje Nominal	12 V
Capacidad requerida de la batería	349.21 A-h
Tipo de batería	Descarga profunda
Marca	<u>Trojan</u>
Modelo	<u>T-105</u>
Capacidad de régimen	200 A-h
Voltaje por unidad	6 V
Número de unidades en serie	2
Número de series en paralelo	2
Total de unidades	4
Precio por unidad	86 USD
Precio de la batería	340 USD

Industrial
 Descarga Profunda
 Automotriz

Fig. 4.10. Diseño de batería sugerido por ConaeFV2.0.

El cambio del tipo de batería se realiza directamente sobre las casillas de selección, la actualización es en línea e instantánea. El tipo de batería seleccionado quedará grabado en la memoria temporal del programa.

Es importante mencionar que el precio de una batería está directamente relacionada con la profundidad de descarga; de tal manera que para un cierto requerimiento de energía pueden variar el precio y la capacidad de la batería si cambia la profundidad de descarga permitida. Corrobore lo anterior seleccionando el tipo industrial primero y el tipo automotriz después.

5.4.4 Salir de diseño manual y de ConaeFV2.0

Todas las modificaciones que usted ha realizado en el módulo de diseño manual han sido actualizadas en ConaeFV2.0, usted puede navegar a través de las diferentes rutinas e imprimir los resultados de cada una de ellas. Recuerde que de cualquier punto de ConaeFV2.0 donde se encuentre puede volver a la "Hoja de resultados" tecleando Ctrl+R. Una vez situado en la "Hoja de resultados", pulse el botón ¿Otro cálculo? El cual le conducirá al "Menú Principal". Si usted pulsa "Ejecutar el programa" este será reinicializado borrando la memoria temporal.

Para salir de ConaeFV2.0, en la hoja del "Menú principal" pulse "Archivo" y SALGA SIN GUARDAR EL DOCUMENTO.

TESIS CON
FALTA DE ORCEN

5.5 Hoja de resultados

Siguiendo con el desarrollo de la ejecución del programa ConaeFV2.0, se tomará como "Hoja de datos" la figura 3.5, la cual corresponde al siguiente inventario de aplicaciones:

	Aplicación	Consumo típico (W)	Tiempo de uso por día (h)	Demanda de energía (W-h)
1	Refrigerador C.D de 12 pies cúbicos	70	4	280
1	TV color 19"	80	2	160
1	Videograbadora	40	2	80
1	Decodificador satelital	30	2	60
4	Lámparas fluorescentes "PL" 13 W.	16	4	256
	Total			836

Al oprimir continuar en la "Hoja de datos", ConaeFV2.0 muestra automáticamente la hoja de resultados, en este momento el programa ha optimizado el diseño del sistema fotovoltaico aislado capaz de satisfacer los requerimientos de la tabla anterior.

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana 2

ConaeFV2.0

CONAE

Ver Inventario de aplicaciones

Ver Análisis Económico

Ver Gráfica de Radiación

Imprimir Resultados

Otro Cálculo?

Diseño Manual

Ver Resumen

Arreglo Fotovoltaico

Resultado del análisis para: **Lagos de Moreno**

Módulo recomendado: **Solec S-65**

Voltaje a la carga: **17.1 V**

Corriente a la carga: **3.22 A**

Características de los módulos: **Monocristalino**

Requerimiento diario de energía: **977.78 Wh-día**

Horas de sol máximo (equivalente): **5.15 h**

Tensión nominal del arreglo: **12 V**

Corriente requerida del arreglo: **16.1 A**

Número de módulos por serie: **1**

Corriente por serie de módulos: **3.22 A**

Número de series: **5**

Número total de módulos: **5**

Potencia total instalada: **275 W**

Precio unitario: **320 USD**

Precio total (estimado) del arreglo: **1600 USD**

RECIBO DE ENTREGA
DE LA OBRERA
CON SISTEMAS

Fig. 5.1. Hoja de resultados de ConaeFV2.0

5.5.1 Estructura de la hoja de resultados.

La "Hoja de resultados" es la interfaz para conocer todos los cálculos que ha realizado ConaeFV2.0, además de que por sí misma entrega un resumen del diseño del sistema. La hoja está constituida por las siguientes secciones:

- Arreglo fotovoltaico
- Batería
- Controlador de carga
- Inversor

Además, contiene botones para entrar a otros módulos del programa:

- Ver inventario de aplicaciones
- Ver gráfica de radiación
- Diseño manual
- Ver análisis económico
- Ver resumen
- ¿Otro cálculo?
- Imprimir resultados

5.5.1.1 Arreglo fotovoltaico

Proporciona la magnitud del campo de módulos, marca, modelo y características de los mismos. Al mismo tiempo sugiere la forma de interconexión entre los módulos para formar el arreglo. También informa al usuario sobre el precio estimado del arreglo. La figura 5.1 muestra el arreglo propuesto para la ciudad e inventario de aplicaciones introducidos. El lector deberá notar que el valor del requerimiento diario de energía, en la figura 5.1, es mayor que el calculado en el inventario de aplicaciones, esto se debe a que en la hoja de resultados ya se han introducido los factores de pérdidas propios del sistema fotovoltaico.

5.5.1.2 Batería

Al deslizar manualmente hacia abajo la barra de desplazamiento vertical de la "Hoja de Resultados", se observará la configuración propuesta del sistema de acumuladores. La base de datos de ConaeFV2.0 está alimentada principalmente por acumuladores tipo plomo-ácido en cualesquiera de sus modalidades; en su momento se podrá actualizar esta base de datos con otro tipo de acumuladores que demuestren una buena relación beneficio/costo.

Para el cálculo de los sistemas fotovoltaicos se ha tomado un estándar de 3 días de capacidad de respaldo de la batería, esto es, que el sistema puede abastecer la energía requerida en su diseño durante tres días consecutivos de nublados profundos.

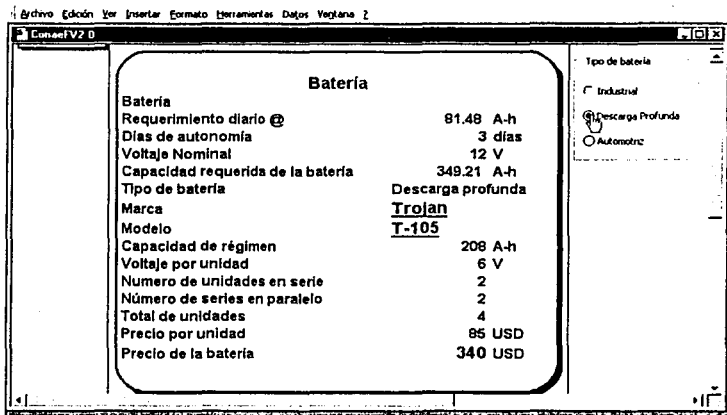


Fig. 5.2. Al deslizar la barra vertical hacia abajo se tiene acceso al diseño propuesto de la batería.

TESIS CON
 CALA DE ORIGEN

En el ejemplo de la figura 5.2 se observa que el programa sugiere utilizar cuatro acumuladores de 208 Amperios-hora (A-h) @ 6 V para cubrir el requerimiento de

almacenamiento de energía. Como el arreglo fotovoltaico está a 12 V nominales, entonces el programa plantea un arreglo de dos series paralelas de dos unidades cada una, con lo cual se obtiene una batería de $2 \times 208 = 416 \text{ A-h @ } 12 \text{ V}$ nominales.

El usuario avanzado podrá modificar esta configuración si cambia el tipo de batería en el cuadro de la derecha. Sin embargo, esta opción se discutirá en otra sección de este instructivo.

5.5.1.3 Controlador de carga Desplazando la barra vertical hacia abajo sobre la "Hoja de resultados" se mostrarán las características del controlador de carga conforme al arreglo fotovoltaico y a la batería sugeridos.

5.5.1.4 Inversor En caso de que haya aplicaciones que funcionan con corriente alterna, el programa las detecta automáticamente y sugiere el tipo, marca y modelo de inversor a utilizar. También proporciona el precio estimado.

Controlador de carga	
Corriente corregida del campo	20.125 A
Voltaje nominal del campo	12 V
Controlador	Condumex CCX12/30/30
Voltaje nominal	12 v
Corriente nominal	30 A
Unidades en paralelo	1
Precio unitario	144.65
Precio	144.65 USD

Inversor	
Máxima potencia en CA	187.5 W
Inversor	Statpower Portawattz 300
Voltaje de entrada	12 VCD
Voltaje de salida	117 VCA
Tipo de onda	Senoidal
Potencia a 60 Hz	330 W
Número de inversores en paralelo	1
Precio unitario	97 USD
Precio	97 USD

Fig. 5.3. Controlador de carga e inversor sugeridos por el programa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

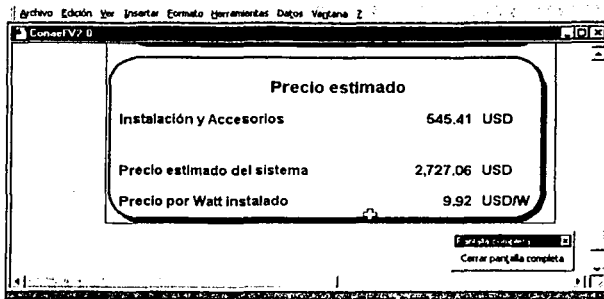


Fig. 5.4. Precio estimado del sistema fotovoltaico.

Hasta este momento ConaeFV2.0 ha realizado un trabajo de búsqueda y optimización de los componentes y ha diseñado un sistema fotovoltaico aislado, para ello solo ha requerido de la introducción de una ciudad y de un inventario de aplicaciones por parte del usuario. En la parte final de la "Hoja de resultados" se muestra el precio final del sistema desde el punto de vista de los precios de los componentes y de instalación en el mercado.

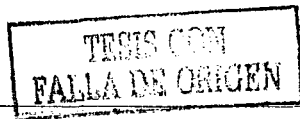


Fig. 5.5.

5.5.2 Ingreso a otros módulos de ConaeFV2.0.

El recuadro que se localiza en la parte izquierda de la hoja de resultados contiene botones que direccionan al programa a los diferentes módulos del mismo. Para verificar el inventario de aplicaciones por ejemplo, basta con pulsar el botón "Ver inventario de aplicaciones".

Al dirigirse a cada uno de los módulos el programa no altera los valores que tiene ya registrados en la "Hoja de resultados", sin embargo, se recomienda al lector no tratar de alterar ningún dato que no sea a través de los cuadros de diálogo que para el efecto presenta ConaeFV2.0.



La navegación a través de los módulos de **ConaeFV2.0** se realiza siempre por medio de botones y de barras de desplazamiento verticales y horizontales. Es probable que al desplazarse a través de un módulo desaparezcan momentáneamente los botones de navegación, en todo caso el lector podrá teclear simultáneamente las teclas **Ctrl+R** para volver a la **"Hoja de resultados"**. Es necesario insistir en que, a pesar de que **ConaeFV2.0** se encuentra protegido, el usuario no trate de efectuar operaciones no indicadas, o bien de modificar la estructura del programa.

A continuación visitaremos algunos módulos a través de los botones de navegación que aparecen en la **"Hoja de resultados"**.

5.5.2.1 Ver inventario de aplicaciones

El inventario de aplicaciones ya ha sido introducido por medio de la **"Hoja de datos"**. Sin embargo, el lector puede tener la necesidad de verificar los dispositivos a electrificar, para los cuales se está presentando el diseño de un sistema fotovoltaico aislado. En este caso, y siguiendo con el ejemplo que nos ha ocupado a lo largo de este manual, al pulsar el botón **"Ver inventario de aplicaciones"** en la **"Hoja de resultados"** aparece el siguiente cuadro:

Consumo total registrado por el usuario =		836.00 W-h	
Consumo total corregido =		977.78 W-h	
Aparato	Cent. Consumo típico (Watts)	Tiempo uso al día	Energía requerida (W-h)
Tostador	1100	minutos	-
Licudadora	300	minutos	-
Microondas	1100	minutos	-
Lavaplatos automática	500	minutos	-
Refrigerador de 20 pies cúbicos	540	horas	-
Refrigerador de 16 pies cúbicos	475	horas	-
Refrigerador CD de 16 pies cúbicos (7 horas/día)	112	horas	-
Refrigerador CD de 12 pies cúbicos (7 horas/día)	70	4 horas	290.00
Subtotal Cocina			290 W-h/día
Volver a Resultados		Imprimir	
Aparato	Cent. Consumo típico (Watts)	Tiempo uso al día	Energía requerida (W-h)
Cafetera	200	horas	-
Computadora Laptop	35	horas	-
Computadora PC	120	horas	-
Impresora	100	horas	-
Máquina de escribir	150	horas	-
TV Color 25"	150	horas	-

Fig. 5.6. Módulo grabado del inventario de aplicaciones.

El cuadro de la figura 5.6 no es editable y solamente proporciona el listado de las aplicaciones que se introdujeron en la "Hoja de datos". En la parte superior del cuadro se muestra el consumo total registrado por el usuario, así como el consumo total corregido que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Consumo corregido} = (\text{Consumo total}) / (0.95 \times 0.9)$$

Donde 0.95 y 0.9 representan el rendimiento de los conductores y el factor de autodescarga de la batería respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al mover la barra de desplazamiento vertical hacia abajo se puede observar en pantalla el inventario. También se puede optar por imprimirlo al pulsar el botón correspondiente.

5.5.2.2 Ver gráfica de radiación

Al oprimir este botón se muestra en pantalla la distribución horaria de la radiación solar total diaria. Al desplazar la barra vertical hacia arriba aparecen los valores de la irradiación horaria en forma tabular, así como el valor de la irradiancia calculada en las horas medias horas de cada intervalo horario.

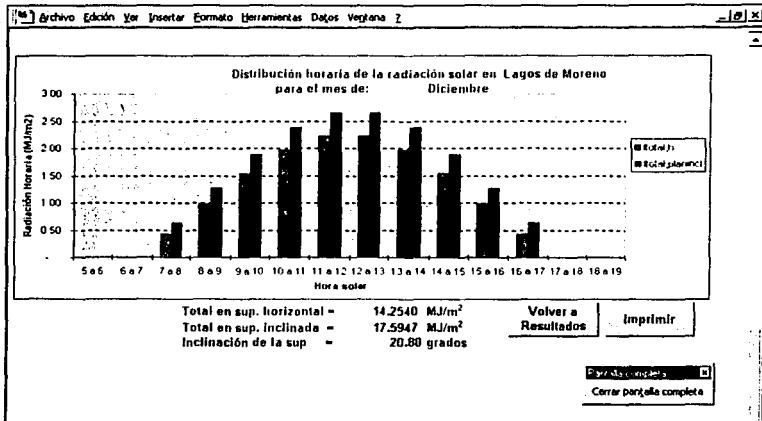


Fig. 5.7. Distribución horaria de la irradiación solar diaria.

ConaeFV2.0 utiliza el criterio del mes de menor insolación diaria promedio para diseñar el sistema. Con este criterio se garantiza que el sistema sea autosuficiente a lo largo de todo el año. A pesar de que el único mes que se muestra en pantalla es el de menor insolación el programa realiza cálculos para todo el año, esto mediante el módulo "RadMes" que no tiene acceso en forma gráfica en el programa.

Adicionalmente, mediante el módulo "Diseño su sistema" existe la posibilidad de modificar el ángulo de inclinación de los módulos.

5.5.2.3 Ver análisis económico

Pulse el botón "Ver análisis económico" en la "Hoja de resultados" y la pantalla desplegará el cálculo del costo relativo al ciclo de vida útil por medio del método del valor presente neto. Al deslizar la barra vertical hacia arriba se verán los valores de las variables involucradas en los cálculos económicos. Estos valores no son editables y solamente podrán ser modificados mediante las actualizaciones de contraseña que deberán ser solicitadas periódicamente a la Conae.

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana 2 [F1] [X]

Cálculo del costo de vida útil por el método del valor presente neto

Item	Valor actual de un año	Valor actual uniforme en "n" años	Cantidad en dólares	Factor de Valor actual	Monio de valor actual
1 Capital para equipo e instalación			2,727 06	1	(\$2,727 06)
2 Operación y mantenimiento (anual)		20	50	12 46	(\$253 11)
* Mano de Obra Afincación		20	50	12 46	(\$253 11)
* Inspección anual					
* Seguro					
* Citios					
3 Costos de energía (insumo anual) a tasa de descuento neto del combustible		20	0		\$0 00
* Combustible del generador		20	0		\$0 00
* (Tasa de descuento = 0.02)					
4 Reparaciones Y repuestos o recambios calculada a tasa de descuento					
* Banco de Baterias	10		900	0 614	(\$589 56)
* Banco de Baterias	20		0		\$0 00
* Reconstrucción	5		0		\$0 00
* Reconstrucción	10		0		\$0 00
* Reconstrucción	15		0		\$0 00
5 Valor residual calculado a tasa de inversion					
* 20% del original sin instalación	6,800 00	20	1,360 00	0 149)	\$202 16
COSTO TOTAL DEL CICLO DE VIDA UTIL					(\$4,360 49)
Kwh a generar durante la vida útil					12,070 37

Ver análisis económico

Ver resultados

Imprimir

Parámetros completo

Cerrar pantalla con

Fig. 5.8. Módulo de análisis económico.

Este módulo está diseñado para comparar al sistema fotovoltaico con dos alternativas de electrificación:

TIPS COM
 FALLA DE ORIGEN

- La generación electrógena por medio de diesel
- La extensión de la línea eléctrica a 13.5 Kilo Voltios (kV).

Ambas alternativas enfocadas principalmente a la electrificación en regiones remotas.

5.5.2.4 Ver resumen

Este módulo muestra las principales características del sistema y su precio estimado.⁽³⁾

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

Cuadro resumen para un sistema fotovoltaico autónomo en la ciudad de:

Lagos de Moreno

Capacidad del sistema: 275 Watts

		Precio/Unid.	Total (USD)*
5	Módulos fotovoltaicos marca: Solec S-55 Arreglo a 12 voltios en paralelo.	320.00	1,600.00
4	Celdas de batería marca: Trojan T-105 de 208 A-h a 6 voltios c/u, para formar una batería de 416 A-h a 12 voltios	85.00	340.00
1	Controlador de carga marca: Conduemex CCX12/30/30	144.65	144.65
1	Inversor marca: Statpower Portawattz 300 potencia 300 Watts a 117 VCA	97.00	97.00
1	Instalación y accesorios	545.41	545.41
Total estimado			2,727.06

* Los precios manejados en este programa han sido recabados en diferentes hojas electrónicas de fabricantes y distribuidores de equipo fotovoltaico.

Fig. 5.9 Resumen del sistema.

⁽³⁾ <http://www.conae.gob.mx/manuales/fv2.0>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES:

Vivimos en un mundo lleno de sorpresas, con una riqueza de fenómenos indescriptibles por su vastedad y compleja simplicidad, que seguramente nunca terminaremos de conocer y de comprender. En todos los niveles, desde lo muy extenso como es nuestra misma galaxia, hasta las partículas más pequeñas que la conforman, se cierra la maravillosa y misteriosa esencia de todo el universo.

El conocimiento que hemos adquirido gradualmente sobre el mundo en que vivimos ha permitido el avance tecnológico y por lo tanto, la transformación de nuestro entorno, causando que el ser humano haya transitado desde el homínido con que inicio su evolución, hasta el *homo sapiens* de la actualidad. En otras palabras, la comprensión de la naturaleza que nos rodea ha causado el avance de la tecnología que, a su vez, ha transformado al mundo y a los seres humanos, lo que ha generado mas y mejores conocimientos, en una cadena sin fin, mientras la especie humana subsista sobre la superficie terrestre.

Como sabemos la generación de energía a través de métodos convencionales como son el de las termoeléctrica, la hidroeléctrica y la geotérmica utilizan recursos naturales, pero en combinación con combustibles es como se genera la electricidad que abastece la republica mexicana, y este gasto económico cada día se incrementa y las líneas de transmisión tienen un promedio de vida estimado, y genera un gasto adicional para poder remplazar estas líneas de transmisión, pero con la generación de energía alterna se podrá disminuir el costo de generación de energía, además de tener una fuente inagotable de generación como es el sol, y la implementación de módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos tienen un promedio de vida aproximado de 20 años, el cual no requiere de gran mantenimiento y su costo en un principio es un poco elevado pero con el tiempo de utilidad se recupera la inversión.

Esta es una fuente alterna de energía la cual debemos de pensar en ella a futuro ya que la generación de energía convencional utilizando combustible tiende a

desaparecer gradualmente y esta forma de generación de energía es inagotable, en esta investigación se trata de hacer más fácil para el lector el manejo y uso de este tipo de generación de energía, además de facilitar los cálculos con el programa incluido, este programa esta avalado por la CONAE (Comisión Nacional de Ahorro de Energía) en el cual nos muestra la cotización aproximada del costo en dólares de la instalación completa, además de poder diseñar el sistema de generación mas adecuado de acuerdo a las necesidades de cada persona, incluye bases de datos de medición de intensidad solar aproximada, incluye lista de materiales de la mejor calidad, así como marcas de prestigio desarrolladas por las mejores empresas en el ramo de esta generación de energía, es un buen momento para que demos paso a las fuentes alternas de energía, además de que no es tan sencillo conseguir información actualizada de este tipo de generación, hay que asistir a conferencias organizadas por la CONAE y por organismos o asociaciones privadas interesadas en esta temática, pero en la presente investigación encontraran la información recopilada referente a este tema de una manera sencilla y dinámica la cual sin mayores tecnicismos para que el lector pueda llevar a cabo su propio proyecto de generación de energía a través de módulos fotovoltaicos.

desaparecer gradualmente y esta forma de generación de energía es inagotable, en esta investigación se trata de hacer más fácil para el lector el manejo y uso de este tipo de generación de energía, además de facilitar los cálculos con el programa incluido, este programa esta avalado por la CONAE (Comisión Nacional de Ahorro de Energía) en el cual nos muestra la cotización aproximada del costo en dólares de la instalación completa, además de poder diseñar el sistema de generación mas adecuado de acuerdo a las necesidades de cada persona, incluye bases de datos de medición de intensidad solar aproximada, incluye lista de materiales de la mejor calidad, así como marcas de prestigio desarrolladas por las mejores empresas en el ramo de esta generación de energía, es un buen momento para que demos paso a las fuentes alternas de energía, además de que no es tan sencillo conseguir información actualizada de este tipo de generación, hay que asistir a conferencias organizadas por la CONAE y por organismos o asociaciones privadas interesadas en esta temática, pero en la presente investigación encontraran la información recopilada referente a este tema de una manera sencilla y dinámica la cual sin mayores tecnicismos para que el lector pueda llevar a cabo su propio proyecto de generación de energía a través de módulos fotovoltaicos.

Acimut

Arco del horizonte entre el punto Norte y el círculo vertical que pasa por un cuerpo celeste, se mide desde el N en sentido de las manecillas del reloj de modo que Norte es 0°, Este 90°, Sur 180°, Oeste 270° y otra vez Norte 360°.

Ánodo

Componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado convencional del circuito a un medio conductor como un electrolito o un gas de carga positiva.

Átomo

La unidad más pequeña posible de un elemento químico. En la filosofía de la antigua Grecia, la palabra "átomo" se empleaba para referirse a la parte de materia más pequeña que podía concebirse. Esa "partícula fundamental", por emplear el término moderno para ese concepto, se consideraba indestructible. De hecho, átomo significa en griego "no divisible". A lo largo de los siglos, el tamaño y la naturaleza del átomo sólo fueron objeto de especulaciones, por lo que su conocimiento avanzó muy lentamente.

Cátodo

Componente de un circuito eléctrico que conecta el cableado convencional del circuito a un medio conductor como un electrolito o un gas de carga negativa.

Cenit

Punto del cielo que corresponde verticalmente a un lugar en la tierra.

Corriente Eléctrica

Si dos cuerpos de carga igual y opuesta se conectan por medio de un conductor metálico, por ejemplo un cable, las cargas se neutralizan mutuamente. Esta neutralización se lleva a cabo mediante un flujo de electrones a través del

conductor, desde el cuerpo cargado negativamente al cargado positivamente (en ingeniería eléctrica, se considera por convención que la corriente fluye en sentido opuesto, es decir, de la carga positiva a la negativa). En cualquier sistema continuo de conductores, los electrones fluyen desde el punto de menor potencial hasta el punto de mayor potencial. Un sistema de esa clase se denomina circuito eléctrico. La corriente que circula por un circuito se denomina corriente continua (c.c.) si fluye siempre en el mismo sentido y corriente alterna (c.a.) si fluye alternativamente en uno u otro sentido.

Diodo

Componente electrónico que permite el paso de la corriente en un solo sentido. Los primeros dispositivos de este tipo fueron los diodos de tubo de vacío, que consistían en un receptáculo de vidrio o de acero al vacío que contenía dos electrodos: un cátodo y un ánodo. Ya que los electrones pueden fluir en un solo sentido, desde el cátodo hacia el ánodo, el diodo de tubo de vacío se podía utilizar en la rectificación. Los diodos más empleados en los circuitos electrónicos actuales son los diodos fabricados con material semiconductor. El más sencillo, el diodo con punto de contacto de germanio, se creó en los primeros días de la radio, cuando la señal radiofónica se detectaba mediante un cristal de germanio y un cable fino terminado en punta y apoyado sobre él. En los diodos de germanio (o de silicio) modernos, el cable y una minúscula placa de cristal van montados dentro de un pequeño tubo de vidrio y conectados a dos cables que se sueldan a los extremos del tubo.

Electrón

Tipo de partícula elemental que, junto con los protones y los neutrones, forma los átomos y las moléculas. Los electrones intervienen en una gran variedad de fenómenos. El flujo de una corriente eléctrica en un conductor es causado por el movimiento de los electrones libres del conductor. La conducción del calor también se debe fundamentalmente a la actividad electrónica

Los electrones tienen una masa en reposo de $9,109 \times 10^{-31}$ kg y una carga eléctrica negativa de $1,602 \times 10^{-19}$ culombios. La carga del electrón es la unidad básica de electricidad. Los electrones se clasifican como fermiones porque tienen espín semientero; el espín es la propiedad cuántica de las partículas subatómicas que indica su momento angular intrínseco. La partícula de antimateria correspondiente al electrón es el positrón.

Fotón

Cantidad mínima de energía de la luz u otra radiación electromagnética. Max Planck y Albert Einstein obtuvieron el Premio Nóbel de Física por su descubrimiento de que la luz, que muchas veces se comporta como una onda, a veces se comporta como si estuviera compuesta por un haz de pequeñas partículas o cuantos de energía. La energía E de un fotón se expresa mediante la ecuación $E = h u$, donde h es una constante universal (la constante de Planck) y u es la frecuencia (número de oscilaciones por segundo) de la luz.

Helióstato

Instrumento geodésico para hacer señales a larga distancia reflejando un rayo de luz solar en dirección siempre fija.

Mecánica Cuántica

En unos pocos años, aproximadamente entre 1924 y 1930, se desarrolló un nuevo enfoque teórico de la dinámica para explicar el comportamiento subatómico. El nuevo planteamiento, llamado mecánica cuántica, comenzó cuando el físico francés Louis de Broglie sugirió en 1924 que no sólo la radiación electromagnética, sino también la materia podía presentar una dualidad onda-corpúsculo. La longitud de onda de las llamadas ondas de materia asociadas con una partícula viene dada por la ecuación $\lambda = h/mv$, donde m es la masa de la partícula y v su velocidad. Las ondas de materia se concebían como ondas piloto que guiaban el movimiento de las partículas, una propiedad que debería llevar a

que en condiciones adecuadas se produjera difracción. Aunque por lo general la mecánica cuántica sólo se necesita en fenómenos microscópicos (la mecánica newtoniana sigue siendo válida para sistemas macroscópicos), ciertos efectos macroscópicos como las propiedades de los sólidos cristalinos sólo pueden explicarse de forma satisfactoria a partir de los principios de la mecánica cuántica.

Profundidad de Descarga

Este parámetro se describe la fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería como regla general, mientras menor sea la cantidad de energía que se extrae de la batería, durante cada ciclo mayor será la vida útil de la misma.

NREL

Sigla en inglés de la asociación nacional de energía renovable.

Oxidación

Término que se aplica en química moderna a ciertas reacciones (aunque no entre en ellas el oxígeno), en que la partícula de sustancia oxidada (átomo o ión) pierde electrones, su complemento es la reducción en que la sustancia oxidante absorbe los electrones perdidos por la primera. Así pues no puede haber oxidación sin una complementaria reducción. Las reacciones oxidación-reducción ocurren en los casos de combinación directa o síntesis (sodio y cloro para formar sal común) descomposición o análisis y sustitución simple.

Silicio

De símbolo Si, es un elemento semimetálico, el segundo elemento más común en la Tierra después del oxígeno. Su número atómico es 14 y pertenece al grupo 14 de la tabla periódica. Fue aislado por primera vez de sus compuestos en 1823 por el químico sueco Jöns Jakob Berzelius.

Se prepara en forma de polvo amorfo amarillo pardo o de cristales negros-grisáceos. Se obtiene calentando sílice, o dióxido de silicio (SiO_2), con un agente reductor, como carbono o magnesio, en un horno eléctrico. El silicio cristalino tiene una dureza de 7, suficiente para rayar el vidrio, de dureza de 5 a 7. El silicio tiene un punto de fusión de $1.410\text{ }^\circ\text{C}$, un punto de ebullición de $2.355\text{ }^\circ\text{C}$ y una densidad relativa de 2,33. Su masa atómica es 28,086.

Telemetría

En ingeniería, el uso de equipos eléctricos o electrónicos para detectar, acumular y procesar datos físicos en un lugar, para después transmitirlos a una estación remota donde puedan analizarse y almacenarse. Un ejemplo de la utilidad de la telemetría es la medida, transmisión y grabación de magnitudes físicas que realizan aviones, cohetes y naves espaciales. Esos datos pueden ser, por ejemplo, la temperatura del aire, la velocidad del viento o la intensidad de la radiación en el espacio exterior.

La medición a distancia es, sin embargo, relativa, ya que la telemetría también se utiliza para obtener información en lugares cercanos pero de acceso difícil, peligroso e incluso imposible. Por ejemplo, se introducen en el cuerpo humano muchos tipos de sensores biológicos que transmiten información médica a detectores externos. Otras aplicaciones son: probar motores, detectar errores o cambios de comportamiento de sistemas industriales y para obtener datos de instalaciones nucleares. Los meteorólogos utilizan diferentes dispositivos telemétricos para recabar información sobre las capas más altas de la atmósfera que después interpretan para realizar sus pronósticos. Las aplicaciones para la meteorología fueron, de hecho, las primeras para las que se desarrollaron las técnicas de radió telemetría.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Morales Acevedo Arturo
La electricidad que viene del sol
una fuente de energía limpia
Editorial Iberoamericana
Edición 1996

Por varios autores bajo la coordinación de:
Mompín Poblet José
Director de la revista mundo electrónico
Energía solar fotovoltaica
Editorial Marcombo
Edición 1985

Manrique José A.
Energía Solar Fundamentos y aplicaciones fototérmicas
Editorial Harla Harper and Row Latinoamericana
Edición 1984

Edward Mazria
El libro de la energía solar pasiva
Ediciones G. Gill, S. A.
Edición 1983

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SITIOS WEB DE CONSULTA

<http://www.siemenssolar.com/spanish>

<http://www.conae.gob.mx>

<http://www.solarelectric.com>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN