

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA
PARA OBTENCION DE ENERGIA ELECTRICA**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA**

POR

ALEJANDRO GRAMAJO CASTILLO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, AGOSTO DE 1996

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**ESTUDIO DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA
PARA OBTENCION DE ENERGIA ELECTRICA**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



ALEJANDRO GRAMAJO CASTILLO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Fernando Waldemar de León Contreras
VOCAL 5o.	Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Mauro Oroxon
EXAMINADOR	Ing. Rony Castillo
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Orosco
SECRETARIO	Ing. Francisco González López

Guatemala, 31 de Mayo de 1996.-

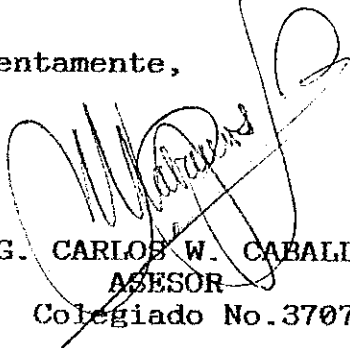
Ingeniero
Luis Herrera.
Director Area de Electrotécnica,
Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Ciudad de Guatemala.

Estimado Ingeniero.

Me permito manifestarle que he revisado el trabajo de Tesis elaborado por el Ingeniero Infiere ALEJANDRO GRAMAJO CASTILLO, el cual se titula " ESTUDIO DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA PARA OBTENCION DE ENERGIA ELECTRICA".

Considero el mencionado trabajo de óptima calidad y me complace dar la aprobación a esta Tesis e indicar que el autor y su asesor, el Ing. Carlos Willy Caballeros Barillas, son responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,



ING. CARLOS W. CABALLEROS B.
ASESOR
Colegiado No.3707

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

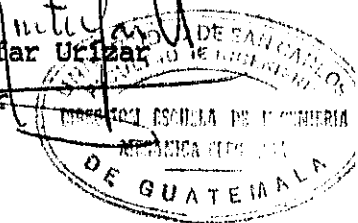
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante Alejandro Gramajo Castillo, titulado: **Estudio de energía solar concentrada para obtención de energía eléctrica**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Edgar F. Montúfar Urizar

Director



Guatemala, 25 de julio de 1,996.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

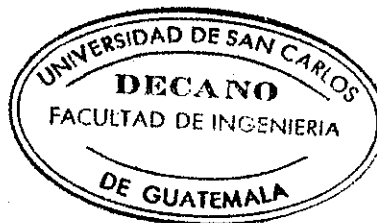
El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis:

ESTUDIO DE ENERGIA SOLAR CONCENTRADA PARA OBTENCION DE ENERGIA ELECTRICA, del estudiante **Alejandro Gramajo Castillo**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck
DECANO

Guatemala, agosto de 1,996



PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

Dr. Alejandro Gramajo S.
Lydia Castillo de Gramajo

A MIS HERMANOS

Vivian, Eugenia, Silvia, Flor de
María y Phillip

A MIS SOBRINOS

Phillip Alexander y David

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS

A G R A D E C I M I E N T O

ING. CARLOS WILLY CABALLEROS

ING. SERGIO RENE QUEME POC

ING. FRANCISCO GOMEZ CRISTIANI

ING. BYRON RENE DEL CID HERNANDEZ

ING. DOUGLAS VICTORES

Y A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE EN UNA U OTRA FORMA
COLABORARON EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO

I N D I C E

	pagina
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	
ASPECTOS TEORICOS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS	
1.1 COMPORTAMIENTO DE LOS SEMICONDUCTORES	1
1.2 TIPOS DE SEMICONDUCTORES	3
1.3 EL DIODO DE UNION P-N	6
1.3.1 ELEMENTOS DE LA CONVERSION FOTOVOLTAICA DE LA ENERGIA SOLAR	8
1.4 FUNCIONAMIENTO Y CONSTITUCION DE LA FOTOCELDA	9
1.4.1 CONSTITUCION DE LA FOTOCELDA	9
1.4.2 FISICA DE LA CELDA SOLAR	10
1.4.3 COMO FUNCIONA LA CELDA SOLAR	13
1.5 CARACTERISTICAS DE LAS CELDAS SOLARES	13
1.5.1 GENERALIDADES DE LAS CELDAS SOLARES	13
1.5.2 CELDAS SOLARES DE SILICIO, ESTRUCTURA Y FACTORES QUE LIMITAN SU RENDIMIENTO.	15

CAPITULO 2

CARACTERISTICAS DE LA RADIACION SOLAR

2.1 EL SOL COMO FUENTE DE ENERGIA	18
2.2 SOLARIMETRIA E INSOLACION	21

CAPITULO 1

ASPECTOS TEORICOS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

1.1 COMPORTAMIENTO DE LOS SEMICONDUCTORES

El dispositivo de fotoconversión de energía que tiene la más alta eficiencia es el dispositivo de unión P-N; para entender el proceso de conversión fotovoltaico, es necesario comprender primero el dispositivo de unión P-N y el comportamiento de los semiconductores. Por lo tanto, dirigiremos la atención sobre este tema.

La disponibilidad y el flujo de electrones en los materiales semiconductores, tales como el Germanio y el Silicio, depende de procesos diferentes, cuando éstos ocurren en dispositivos de vacío o metales. Una diferencia notable entre los materiales semiconductores y metales, ocurre en la composición de la estructura cristalina interna. En los materiales semiconductores, la estructura cristalina es una formación cúbica uniforme repetida, forma un solo cristal.

Los metales, en cambio, generalmente tienen una estructura caracterizada por cristales que son muy pequeños, de arreglo irregular y de aspecto no uniforme. Además, en un metal, los electrones de valencia (esto es en órbitas más exteriores), son completamente libres y vagan de átomo en átomo; mientras que, en un semiconductor, los movimientos de los electrones de valencia de un átomo están coordinados con los movimientos de los electrones de valencia de un átomo adyacente, tal que un enlace covalente está colocado entre ellos, y los une firmemente. El resultado es tal, que bajo condiciones ordinarias hay pocos electrones libres, si acaso los hay en un elemento semiconductor puro. Realmente, para ser útil, el semiconductor puro debe ser alterado, para incrementar significativamente su capacidad de proporcionar portadores de carga.

Afortunadamente, esto puede lograrse por el incremento de pequeñas cantidades de impurezas, dentro del material semiconductor. Así, la adición de arsénico pentavalente proporciona un electrón libre por átomo de arsénico, aprovechable para conducir, y así la combinación de impurezas germanio-arsénico, lo convierten en un semiconductor apropiado. Debido al limitado número de electrones libres que pueden lograrse por medio de este proceso, la conductividad del semiconductor es menor que la de un metal; sin embargo, lo importante es habilitar a nuevos portadores de carga. Así, solamente se requiere introducir impurezas dentro de un material caracterizado por enlaces covalentes. Con un alto contenido de impurezas, es mayor la conductividad del semiconductor.

La descripción de la banda de energía de un conductor metálico está representada en la fig. 1.1.

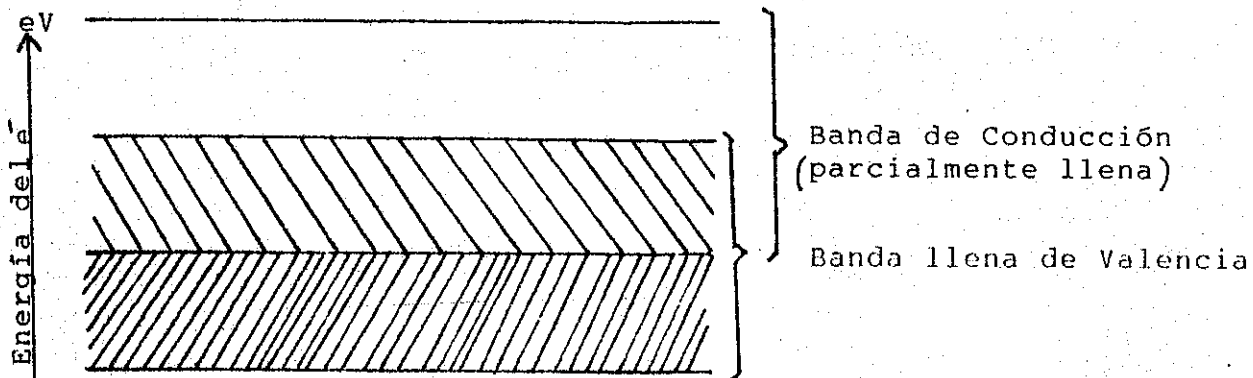


Fig. 1.1 Descripción de la banda de energía de un conductor metálico.

La banda parcialmente llena se refiere a los electrones libres o de valencia, que poseen el nivel más alto de energía. Obsérvese que si una pequeña cantidad de energía es agregada al cristal, tales electrones son llevados a niveles más altos de energía, sin ningún obstáculo.

Esto puede no afirmarse para aquellos electrones con niveles de energía que se encuentran en la banda llena. Por otra parte, si se aplica energía a este material en forma de un campo eléctrico, aplicado exteriormente, se establece que la conducción ocurrirá. Por esta razón la banda más exterior es también llamada la banda de conducción.

En un material semiconductor sin impurezas, la descripción de la banda de energía aparece como se muestra en la fig. 1.2.

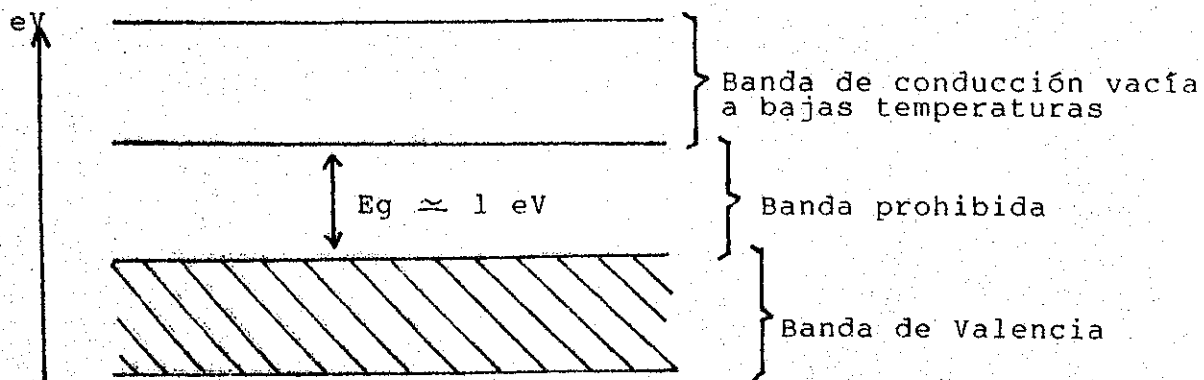


Fig. 1.2 Estructura de la banda de energía de un semiconductor

El factor significativo aquí es la brecha de energía prohibida, que separa la banda de valencia llena, y la banda de conducción vacía es cerca de 1 eV (electron-voltio).

De acuerdo con esto, si la temperatura es aumentada, los electrones cuyos niveles de energía son aumentados, irán más allá del nivel de la brecha, que serán liberados de sus enlaces covalentes y estarán disponibles para la conducción. A temperatura ambiente, aproximadamente uno de cada 10 átomos tiene electrones liberados de esta manera.

1.2 TIPOS DE SEMICONDUCTORES

Las celdas solares están construidas con base en los materiales semiconductores, que tienen dos características fundamentales que son: a) Tienen una estructura molecular cristalina.

b) Permiten el paso de corriente eléctrica cuando se les aplica un voltaje.

Existen en la naturaleza muchas formas de estructuras cristalinas, que constituyen semiconductores, como el silicio, y el germanio. Dicha estructura se forma por las uniones covalentes de cada uno de los cuatro electrones que tienen cada átomo en su capa exterior.

Existen otros materiales obtenidos de aleaciones que tienen estructuras cristalinas diferentes, pero que se distribuyen en forma similar.

Algunas de estas aleaciones son:

Galio	-	Arsénico	(GaAs)
Cadmio	-	Azufre	(CdS)
Cadmio	-	Telurio	(CdTe)
Galio	-	Fósforo	(GaP)

Los investigadores del efecto fotoeléctrico están experimentando también con composiciones químicamente más complejas. Consideramos ahora los tipos de impurezas de los semiconductores en términos del concepto de las bandas de energía, pero primero consideramos el semiconductor intrínseco del germanio, el cual no contiene impurezas.

La energía térmica asociada con la temperatura ambiente es suficiente para desalojar un electrón de un enlace covalente. Como ya fue mencionado, esto ocurre en cerca de cada 10 átomos. La fig. 1.3 a) describe esta situación en términos de la distribución de la estructura cristalina, y la fig. 1.3 b) la describe por medio del diagrama de la banda de energía. Obsérvese la presencia del electrón en la banda de conducción.

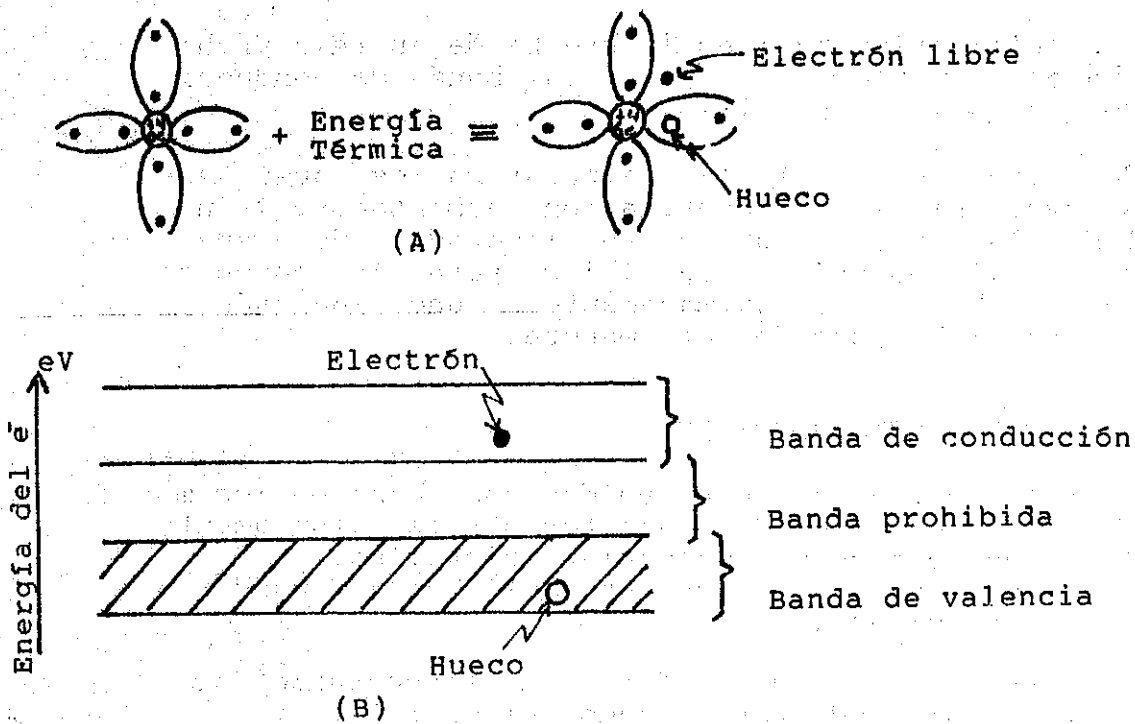


Fig. 1.3 a) Creación de un par electrón-hueco por medio de agitación térmica.
b) Semiconductor intrínseco a temperatura ambiente.

Cuanto más energía térmica es incrementada, más electrones están disponibles para la conducción. Así se explica por qué el material semiconductor llega a ser un mejor conductor para temperaturas más elevadas. Un contraste bien definido sucede con la conductividad de los metales, la cual disminuye con el aumento de la temperatura, lo que representa una vibración más fuerte de los átomos en la composición interna y viene a ser el mayor impedimento para el libre flujo de electrones. Obsérvese también que el flujo de la corriente es ahora posible de dos formas: del flujo de los electrones, como también del desplazamiento de los huecos.

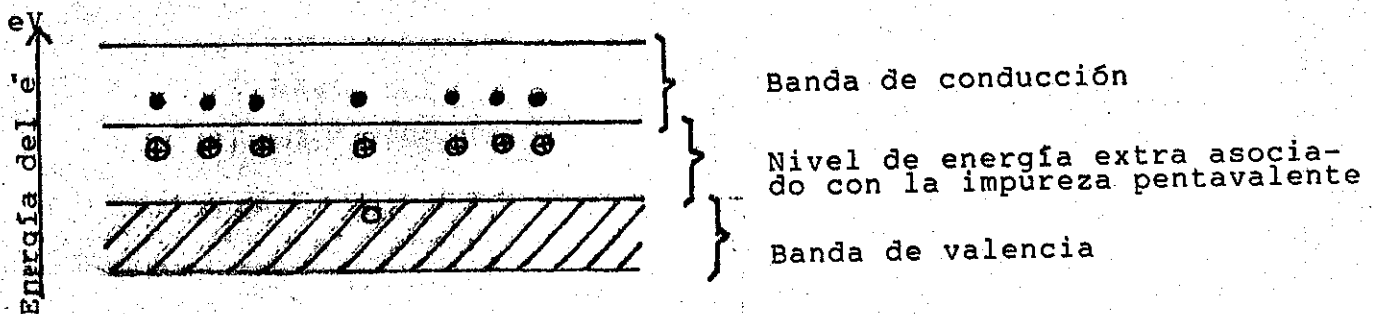


Fig. 1.4 Estructura de las bandas de un semiconductor impuro tipo "N". Los electrones son portadores mayoritarios; los huecos son portadores minoritarios.

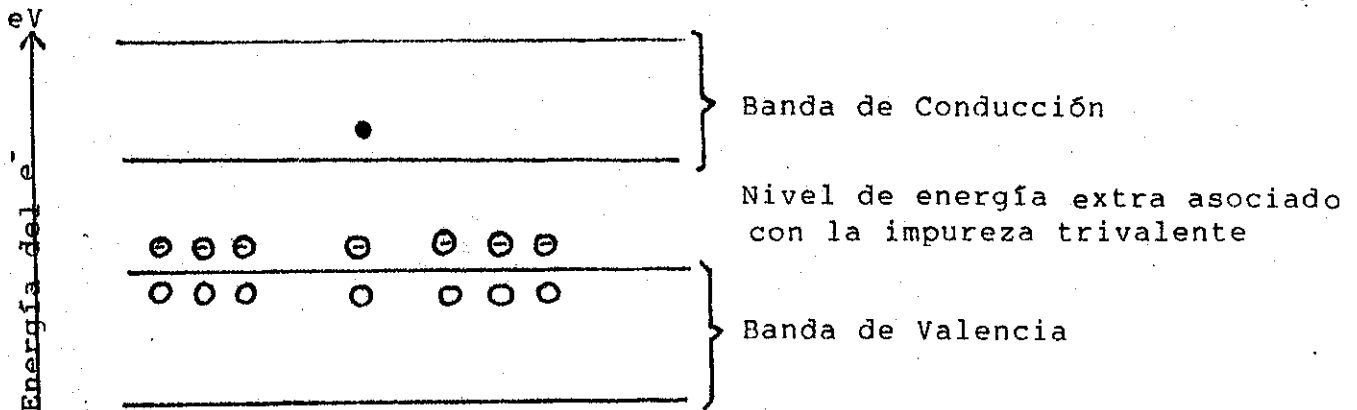


Fig. 1.5 Estructura de la banda de un semiconductor impuro tipo "P". Los huecos son portadores mayoritarios, y los electrones son los portadores minoritarios.

La descripción de la estructura de las bandas de un semiconductor impuro del tipo "N" está descrita en la fig. 1.4.

Las impurezas son agregadas normalmente en una razón cercana de una por cada 10 partes. Según esto, el diagrama de energía para las impurezas permanece discreta, debido al espaciamiento relativamente amplio entre los átomos de impurezas. Esta situación está indicada en la fig. 1.8 por medio de la descripción de los átomos de impurezas individuales. Además, está establecido que hay niveles de energía adicional, los cuales están localizados justo y escasamente, debajo del nivel más bajo de la banda de conducción, por aproximadamente 0.01 eV. Debido a esta pequeña diferencia en los niveles de energía, la energía térmica de la temperatura ambiente suministra la suficiente energía a cada electrón excedente del átomo de impureza, como para llevarlo dentro de la región de conducción.

Entonces, muchos electrones, en los enlaces covalentes, adquieren la energía necesaria como para ser transportados al nivel de energía adicional, de tal manera que a temperatura ambiente, todos los huecos de los átomos de impurezas son llenados. Las impurezas, podemos decir, que están ionizadas en un cien por ciento. Este proceso de ionización, por supuesto, libera huecos en la banda de valencia, los cuales están libres para moverse hacia otros sitios. La agitación térmica de los átomos del germanio puro, también genera pares electrón-hueco, y se agrega entonces éstos al número total de huecos presentes en la banda de valencia.

1.3.1 ELEMENTOS DE LA CONVERSION FOTOVOLTAICA DE LA ENERGIA SOLAR.

El efecto fotovoltaico puede definirse como la aparición de un voltaje en las terminales de un sólido, cuando éste es irradiado por una fuente de energía determinada.

La conversión fotovoltaica de la energía solar se realiza mediante un dispositivo conocido como celda solar, que hace uso del efecto fotovoltaico y que convierte el espectro de energía electromagnética de la radiación solar directamente en energía eléctrica.

El modelo más simple de un material semiconductor (Fig. 1.9), está constituido por un sistema de dos niveles (bandas), de energía E_1 y E_2 .

Un semiconductor tipo N es uno en el que el transporte de cargas eléctricas es asegurado por el intermedio de cargas negativas (electrones), en tanto que en un semiconductor tipo P, el transporte de carga es por medio de cargas positivas (huecos).

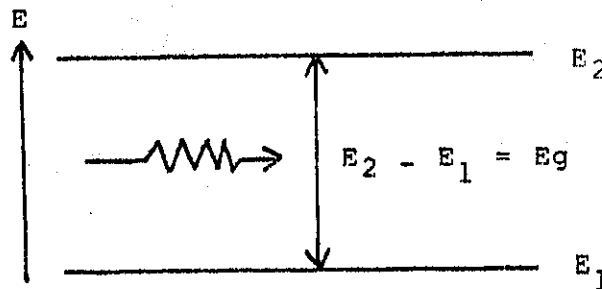


Fig. 1.9 Modelo energético simple de un material semiconductor.

En este modelo, los electrones no pueden poseer las energías comprendidas entre E_1 y E_2 .

Estos pueden encontrarse sobre los niveles E_1 y E_2 . Un fotón que posea una energía inferior a $E_g = E_2 - E_1$, no es absorbido. El semiconductor es completamente transparente para el fotón.

Un fotón que transporte una energía igual o superior a E_g , es absorbido íntegramente, y transfiere su energía a un electrón situado en el nivel 1, que incrementará su energía potencial, subiendo al nivel 2. El electrón dejará un lugar vacío en el nivel 1 (hueco).

1.4 FUNCIONAMIENTO Y CONSTITUCION DE LA FOTOCELDA.

1.4.1 CONSTITUCION DE LA FOTOCELDA

La celda solar de silicio SI es la más ampliamente usada porque se basa en la amplia experiencia de la industria de los semiconductores.

Fue BEQUEREL, en 1839, quien descubrió este fenómeno con materiales de Ag, Cl y Pt inmersos en un electrolítico, y obtuvo un rendimiento del 1%. Debido al bajo rendimiento, sólo se destacó el aspecto físico. Posteriormente en 1954, cuando se logró crecer Silicio Monocristalino, la BELL TELEPHONE realiza la primera celda solar con un rendimiento del 7%. Situación que estimula diversos estudios en esta dirección.

La celda solar comercializada es la Unión P-N, llamada así porque está formada por la unión de silicio tipo "P" y silicio tipo "N".

El silicio tipo "N" es aquel que tiene electrones en exceso, sobre las concentraciones de equilibrio en el volumen del semiconductor; a estos electrones se llaman portadores mayoritarios. Similarmente, el Silicio tipo "P" es el que tiene huecos en exceso sobre las concentraciones de equilibrio del semiconductor; los huecos, en este

caso, son llamados también portadores mayoritarios.

Al ponerse en contacto ambos tipos de semiconductores, habrá un flujo de electrones de la región "N" a la región "P" y de huecos de la región "P" a la región "N", y se creará una zona libre de portadores mayoritarios cerca de la unión, a la que se denomina Zona de Carga Espacial, W.

En esta zona, sólo quedan Iones localizados negativos en el lado "P" e Iones localizados positivos en el lado "N", debido a las impurezas, y generan por consiguiente un campo eléctrico, E, ver fig. 1.10.

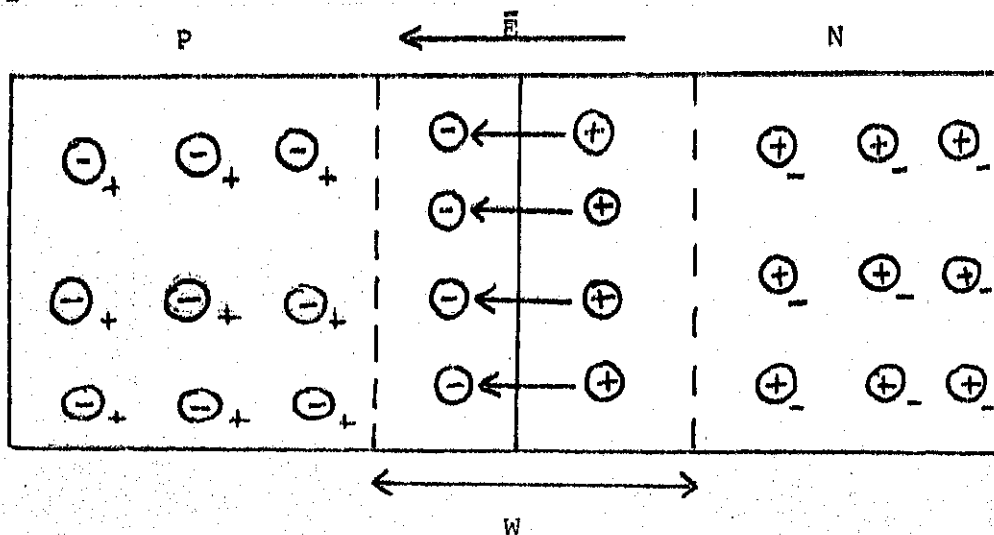


Fig. 1.10 Unión P-N

E campo eléctrico

W Zona de Carga Espacial.

Si al dispositivo de la fig. 1.10 se le coloca una capa de un material que evite la reflexión de la luz y se colocan contactos eléctricos, se ha fabricado entonces una celda solar de unión P-N. En el esquema de la fig. 1.11, se ilustra esta situación.

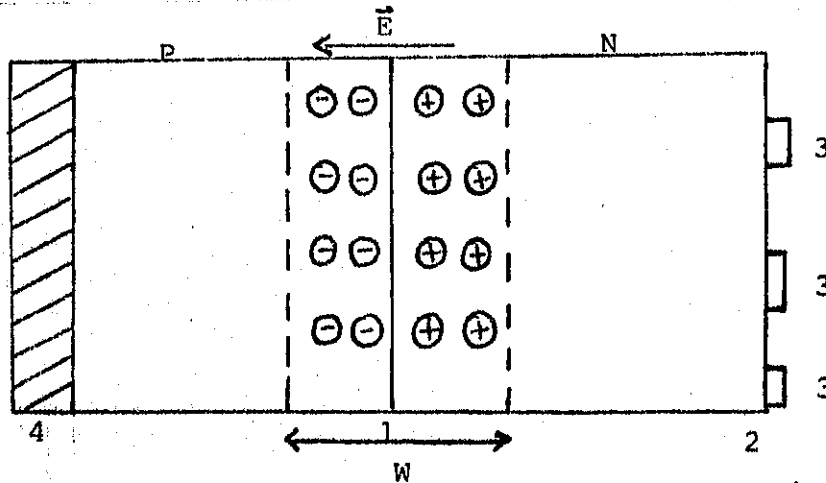


Fig.11 Corte esquemático de una celda solar de unión P-N.

1. Unión o Junta
2. Capa que evita la reflexión de la luz
- 3 y 4. Contactos metálicos
- E campo eléctrico
- W Zona de carga espacial.

1.4.2 FISICA DE LA CELDA SOLAR

Una celda solar no iluminada (se dice en lo obscuro), se puede representar como lo indica la fig.1.12. Si ésta se polariza en directa, la corriente que circula por la celda se puede expresar como:

$$I = I_0 \left\{ \frac{e^q}{AKT} (V - IR_s) - 1 \right\} \quad (\text{ec. 1.1})$$

Donde I es el flujo de corriente en la unión. I_0 la corriente de saturación inversa y V es el voltaje aplicado (T es la temperatura en $^{\circ}K$ y K la constante de Boltzmann; a $T=25^{\circ}C$, $K=0.25$ eV).

Con la iluminación de la Celda, resulta una corriente de iluminación I_L . El modelo del circuito que contiene este efecto se muestra en la fig. 1.13.

Analíticamente esta situación estará representada por:

$$I = I_0 \left\{ \frac{e^q}{AKT} (V - IR_s) - 1 \right\} - I_L \quad (\text{ec. 1.2})$$

Para condiciones de circuito abierto ($R_c = \infty$), se tiene el máximo fotovoltaje .

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad (\text{ec. 1.3})$$

Debido a que la curva característica del dispositivo, I vrs. V no es lineal, existirá un punto de potencia máxima entregada (representado por el máximo rectángulo inscrito en la curva I vrs. V).

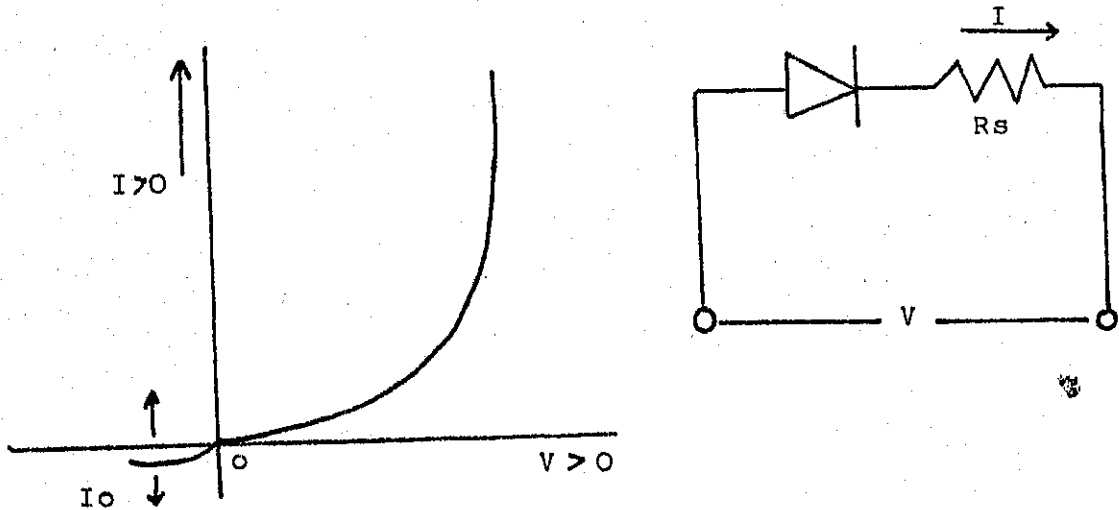


Fig. 1.12 Circuito eléctrico equivalente a un diodo de unión P-N y su curva característica I-V en la obscuridad.

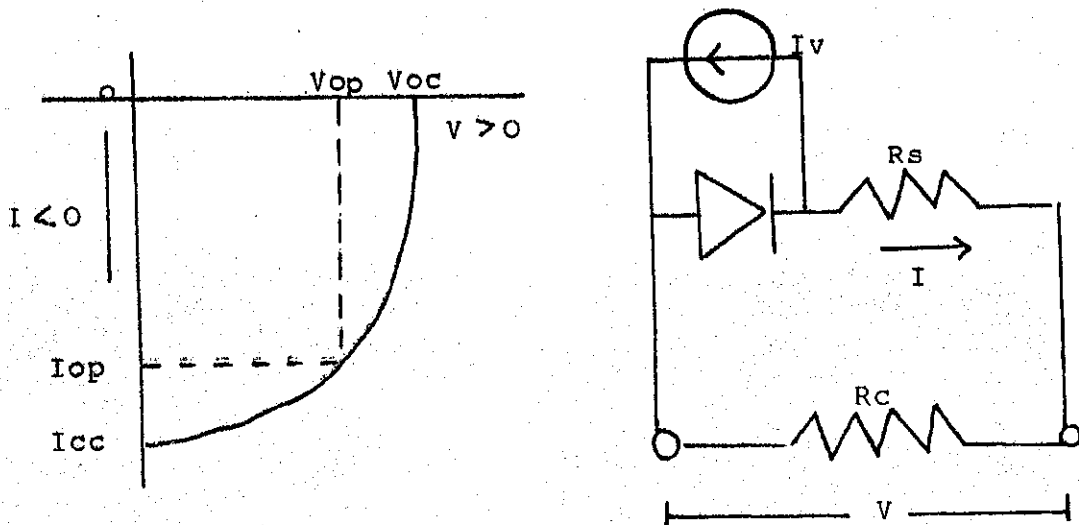


Fig. 1.13 Circuito eléctrico equivalente de foto-diodo y su curva característica I-V bajo iluminación.

En estas condiciones para una radiación solar incidente determinada, $P_{inc.}$, la potencia máxima estará dada por:

$$P_{max.} = V_{op} I_{op}. \quad (ec. 1.4)$$

y la eficiencia de la Celda Solar será:

$$\eta = \frac{V_{op} \times I_{op}}{P_{inc}} \quad (ec. 1.5)$$

Tanto V_{op} como I_{op} dependerán de la curva característica I vrs. V de la Celda (I_0 , A , R_s) y del valor I_L de la corriente de iluminación. Para tomar en cuenta este hecho, es conveniente definir un factor experimental F_c , factor de curva, como:

$$F_c = \frac{V_{op} \times I_{op}}{V_{op} \times I_L} \quad (ec. 1.6)$$

η = Eficiencia de la celda solar V_{op} = Voltaje de operación
 I_{op} = Corriente de operación I_L = Corriente de iluminación
 F_c = Factor de curva I_0 = Corriente de saturación
 V_{oc} = Máximo voltaje en condiciones de circuito abierto

Así la eficiencia de la celda podrá expresarse:

$$\eta = \frac{F_c \times V_{oc} \times I_L}{P_{inc}} \quad (ec. 1.7)$$

De esta manera, una celda será más eficiente conforme crezca

$$F_c \left\{ V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \right\} \quad (ec. 1.8)$$

y la relación I_L/I_0 sea lo más grande posible.

Aunque aparentemente un factor A ("Factor adicional de curva") grande aumentaría V_{oc} ; éste no es el caso, ya que puede mostrarse que un coeficiente " A " mucho mayor que la unidad, es indicio de mecanismo de transporte no ideales, que aumentan la corriente de saturación I_0 .

1.4.3 COMO FUNCIONA LA CELDA SOLAR

- * Al llegar la radiación solar sobre el lado "N", parte se refleja y parte penetra a la celda. La función de la capa antirreflejante es minimizar la reflexión de la radiación solar.
- * De la radiación que penetra a la celda, sólo los fotones, cuya energía es igual o ligeramente mayor de 1.1 eV (para el caso del Silicio), y que penetren hasta la unión o lleguen a una distancia próxima de ella, donde son absorbidos.
- * Dicha radiación consiste en que los fotones de la radiación solar ceden toda su energía para formar pares electrón-hueco (rompen el enlace covalente del semiconductor).
- * Estos pares electrón-hueco, así producidos, son separados por el campo eléctrico interno, E.
- * Luego, los electrones y huecos, que fueron separados, son colectados por los contactos eléctricos, y generan en los extremos de la celda, un fotovoltaje que puede utilizarse para proveer energía a cualquier carga.

1.5 CARACTERISTICAS DE LAS CELDAS SOLARES

1.5.1 GENERALIDADES DE LAS CELDAS SOLARES

En general, se caracterizan las celdas por medio de los siguientes parámetros, que permiten evaluar y controlar los procesos:

IL= Densidad de corriente de corto circuito (mA/cm^2)
Densidad de corriente de saturación.

Fc= Factor de curva
Rs, Io, A.

Rs= Resistencia serie (Ohms)
Máximo punto de potencia.

A= Factor de curva adicional
Uniformidad de fusión. procesos de recocido,
precipitación de elementos metálicos.

e= Eficiencia eléctrica
Pérdidas por drenaje de corriente en la unión P-N

La densidad de corriente de saturación, el factor de curva adicional y la resistencia serie, pueden evaluarse experimentalmente, determinando las características reales de la unión P-N, por medio de técnicas de iluminación variable y con base en el modelo simplificado de la fig. 1.13.

Relacionando todos estos parámetros con el efecto rectificador y el efecto fotovoltaico de la Celda, y que junto con ciertos factores estructurales de ella, se define su eficiencia global (η) como transformador de energía radiante en eléctrica.

En la fig. 1.14, se muestra un espectro de irradiancia solar de referencia (fuera de la atmósfera terrestre). Un fotón de longitud de onda (λ) transporta una energía $E = h\nu = hc/\lambda$ donde h es la constante de Planck ($h=6.62 \times 10^{-34}$ Joule-seg), c la velocidad de la luz y ν la frecuencia.

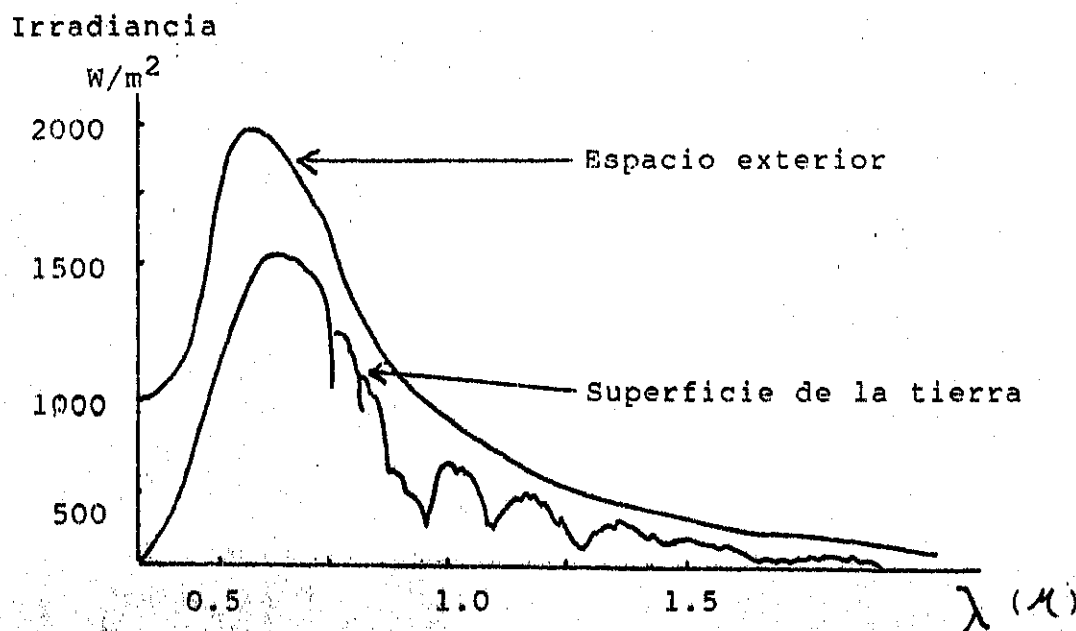


Fig. 1.14 Irradiancia Espectral del Sol

Se supone que los mecanismos de relajamiento (caída del electrón excitado del nivel 2 al 1 del electrón), son suficientemente lentos para que éste sea colectado. El voltaje de salida de una celda solar "ideal" será igual por esto a la ganancia de energía potencial de los electrones excitados: E_g/q (q carga del electrón). La corriente en esta celda solar "ideal" (todos los electrones excitados son colectados), será igual a la suma de todos los fotones absorbidos (energía mayor que E_g).

La potencia máxima proporcionada será igual a IE_g/q y el rendimiento ideal estará dado por :

$$\eta = \frac{IE_g}{qM} \quad (\text{ec.1.9})$$

Donde M es la potencia total proporcionada por el sol.

1.5 CELDAS SOLARES DE SILICIO; ESTRUCTURA Y FACTORES QUE LIMITAN SU RENDIMIENTO

La estructura de una celda solar de silicio se presenta en la fig.1.15.

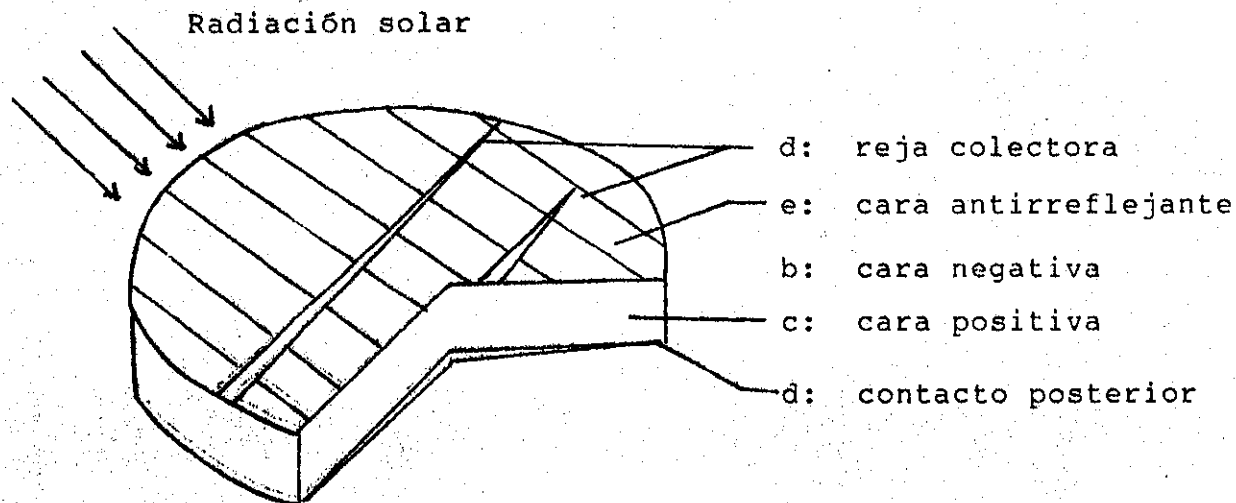


Fig.1.15 Estructura de la celda solar.

Consta de las siguientes partes:

- A) Un sustrato tipo P. de aproximadamente 250 micras de espesor.
- B) Una zona tipo N. difundida a alta temperatura sobre el sustrato de espesor aproximado a 0.5 micras.
- C) Un contacto metálico posterior
- D) Un contacto en forma de reja sobre la faz iluminada, que permite recoger la corriente y dejar llegar la luz hasta el semiconductor.
- E) Una capa antirreflejante

Esta estructura simple nos permitirá analizar rápidamente cuáles son los factores que limitan el rendimiento de la celda. Se puede considerar que éstos son de dos tipos:

- 1) Aquellos que provienen de la naturaleza física de los fenómenos en juego y que por lo tanto son difícilmente manejables o mejorables. Entre ellos, tenemos por ejemplo, la distribución energética del espectro solar, el valor de la banda prohibida del material, etc.
- 2) Aquellos que tienen origen en los procesos tecnológicos que intervienen en la fabricación de las celdas y que, en principio, pueden ser mejorados. Así por ejemplo: la profundidad de la unión, los estados de superficie, la naturaleza y calidad de los contactos metálicos, el diseño de la reja colectora, etc.

El espectro de irradiación solar posee fotones de energía comprendida entre el infrarrojo lejano y el ultravioleta. Para que el efecto fotovoltaico tenga lugar, es necesario que el fotón incidente posea una energía suficiente para excitar un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción.

Para fotones de energía menor, el material será transparente y por lo tanto, toda la energía del espectro solar que corresponde a fotones de energía inferior a la banda prohibida del material, no es aprovechable en conversión. Esta fracción es de 25% para el silicio.

Por otra parte, para fotones de energía superior a la banda prohibida, la única energía aprovechable es la correspondiente a la banda prohibida. Es decir, que un fotón que tenga una energía doble de ésta, excitará al electrón a un nivel muy por encima de la banda de conducción. Este electrón perderá este exceso de energía en forma de calor, que no contribuye al fenómeno de conversión. Esto corresponde a pérdidas del orden del 30%.

En el cuadro de la fig. 1.16, se resumen los principales factores de pérdida en el rendimiento de la conversión de energía solar a eléctrica.

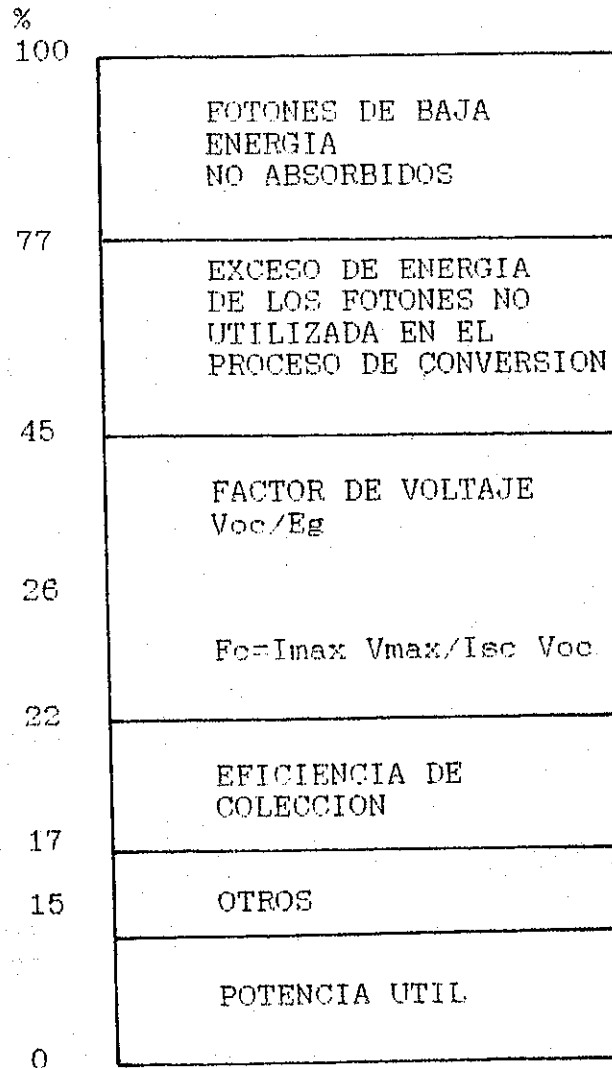


Fig. 1.16 Pérdidas en la conversión fotovoltaica.

Cada onda porta pequeñas cantidades de energía llamadas fotones, los cuales son como paquetes de un tamaño y poder determinados, así la cantidad de energía depende de la longitud de onda y al llegar a la atmósfera exterior de la tierra, las ondas muy cortas (cósmicas, gamma y rayos X) se hallan en proporción pequeña, y las ondas muy largas (radio, etc.) no son abundantes y portan poca energía, por tanto, energéticamente hablando interesan más las siguientes ondas.

Porcentaje de portación energética:

Ondas menores	7 %
Luz visible	48%
Infra rojo	39%
Ondas mayores	6%

Sin embargo, no toda la radiación ultravioleta (UV) y la radiación infrarroja (IR) son aprovechables, y se estima que sólo un 86-87% de toda la energía del espectro electromagnético es virtualmente aprovechable. Esto se debe a que las UV muy cortos son muy penetrantes y no es fácil atraparlos y los IR muy largos no tienen verdadera calidad energética que valga la pena y no interesan.

La radiación solar, al atravesar la atmósfera terrestre, experimenta una fuerte absorción por el ozono, vapor de agua, polvo, etc. De esta distribución espectral que atraviesa la atmósfera, sólo una pequeña porción es utilizable en la conversión fotovoltaica. En el caso particular de las celdas fotovoltaicas de silicio, cuya energía de la banda prohibida es de 1.1 eV, sólo se utilizan los fotones de la radiación solar que tienen una energía igual o ligeramente mayor que la energía de la banda prohibida.

La tierra intercepta una minúscula fracción del total de la energía irradiada por el sol (cerca de dos millonésimas). Y aun cuando el sol esta perdiendo masa en este proceso de transformación de energía, a una razón de 4.5 millones de toneladas por segundo, su masa es tan grande (cerca de 10^{27} toneladas), que su producción podría continuar en esta razón de pérdida de masa por varios millones de años.

El 50% más o menos no llega al nivel del suelo. El otro remanente si lo hace y allí es aprovechado para calentar los mares y continentes, y da origen a las diferencias de climas y pone en movimiento la meteorología terrestre. Otro porcentaje es devuelto hacia el espacio, como calor irradiado por los continentes y mares, este tiende a ser atrapado conforme se incrementa la concentración de CO₂ y otros contaminantes más, y calienta al planeta en su atmósfera. Un porcentaje muy chico es aprovechado en conversión fotosintética por plantas y algas marinas, y da origen a la vida y sus ciclos. Como se ve, la naturaleza aprovecha y desaprovecha el recurso solar. El hombre apenas comienza aprovechar el recurso solar para generar un poco de calor y algo de electricidad, fotovoltaicamente o eólicamente.

Se Debe ~~hacer~~ notar que el aprovechamiento térmico es principalmente por captación de energía como luz visible y un poco de IR, pero que las celdas fotovoltaicas aprovechan parte del UV y luz visible de más corta longitud (azul, añil, y violeta), y no es adecuado el IR.

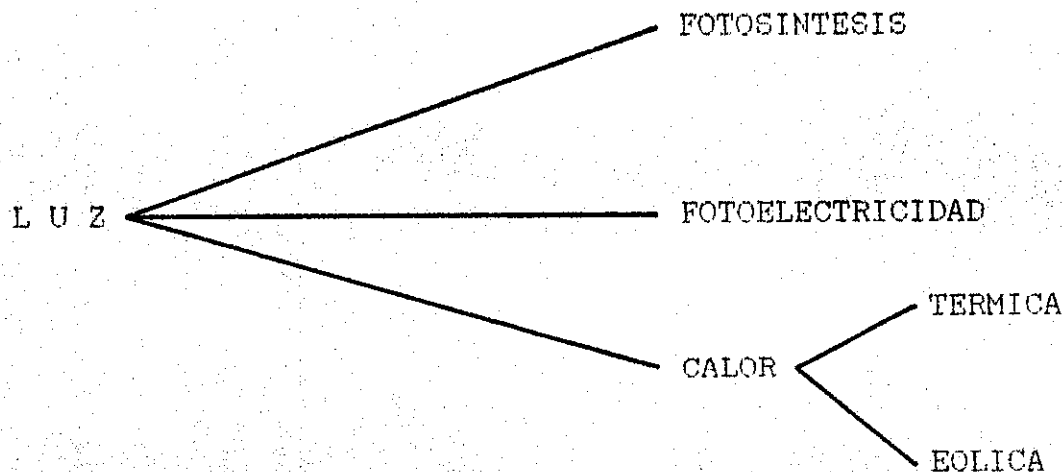
El ser humano puede aprovechar este recurso de cuatro formas, de las cuales tres son en forma directa y una indirecta. Primero puede convertirse la energía portada por el sol en energía química, fenómeno conocido como FOTOSINTESIS y que es base para la agricultura y la vida en general. Si se diseñan especies genéticamente controladas de manera que el aprovechamiento efectivo de la luz del sol se incremente, por medio de ingeniería genética, y obtener más cosechas por año o producir más biomasa en menor tiempo.

La segunda conversión de tipo lumínico-térmica, o sea convertir la luz en calor y con ello calentar algún medio líquido o gaseoso, inclusive sólidos.

La tercera conversión que poco a poco cobra auge, consiste en convertir la luz en electricidad; fenómeno interesante que se discutirá con algún detalle.

Finalmente, se puede decir que se puede aprovechar la Energía Solar indirectamente, por medio de aprovechar los vientos y las diferencias de temperatura en masas oceánicas.

CONVERSIONES



Se puede concluir que la energía solar es una fuente limpia, barata y virtualmente inagotable de energía, pero que a su vez es intermitente, variable y poco intensa, de manera que su aprovechamiento debe hacerse en aquellos casos en que la termodinámica y el artificio que se va a usar lo permitan, y en algunos casos o lugares no es conveniente utilizarla. El trabajo del aplicador honrado y consciente consiste en saber cuándo debe usársele. Los usos son innumerables y los lugares en los que puede servir son virtualmente mucho más.

Entre las características generales están:

Ventajas y desventajas de la energía solar:

Ventajas: Muy limpia
 Sin costo
 Inagotable
 Abundante

Desventajas: Variable
 Poco concentrada
 Impredecible

2.2 SOLARIMETRIA E INSOLACION

Toda actividad que el hombre realiza a la intemperie se ve influenciada por las condiciones climáticas y por su variabilidad, por lo tanto, el éxito o el fracaso de la misma, dependerá en gran parte del conocimiento de las variaciones climatológicas.

De igual manera, se debe conocer el comportamiento de la radiación y el brillo solar durante todo el año, por lo cual se necesita un estudio cuantitativo del potencial energético del sol, durante épocas y períodos estacionales o interestacionales de mayor aprovechamiento.

El instrumento más común para medir la radiación solar es el **PYRANOMETRO**, comúnmente llamado **SOLARIMETRO**, el cual mide la radiación solar global compuesta de la radiación solar directa y de la radiación solar dispersa, llamada también radiación difusa.

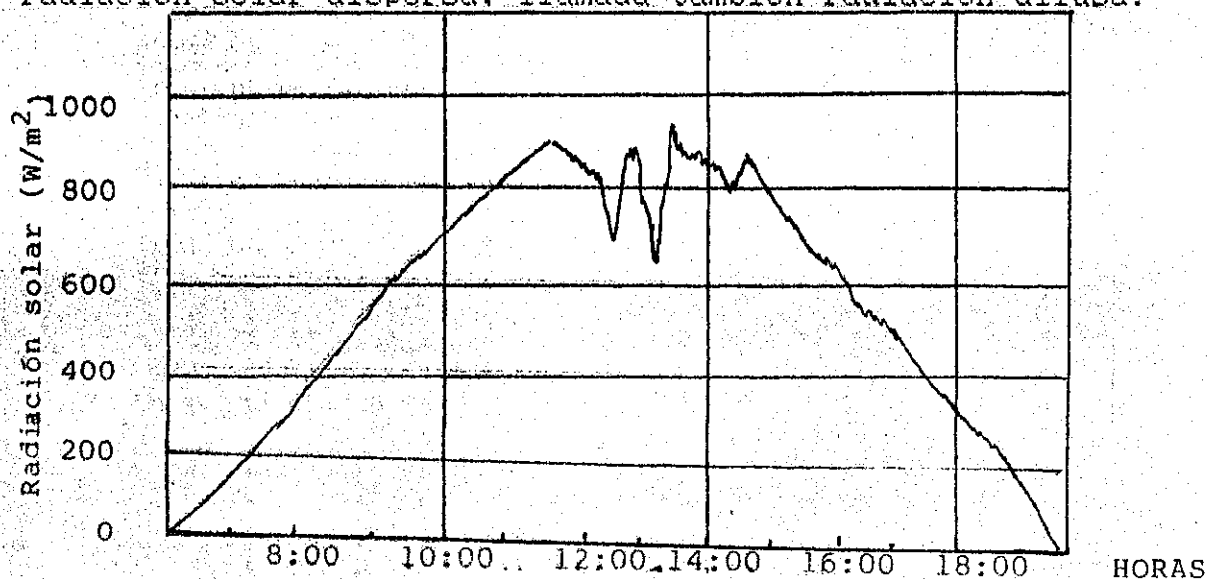


Fig. 2.1 Registro de radiación global sobre una superficie horizontal, en un día claro.

En un día claro, la radiación global medida se incrementa desde cero, cuando sale el sol, alcanza su máximo cuando éste está en el Cenit y decrece a cero nuevamente cuando el sol se oculta. En cualquier momento, las nubes pueden interceptar la radiación solar y la energía decrece a valores bajos, fenómeno que puede apreciarse en la fig. 2.2.

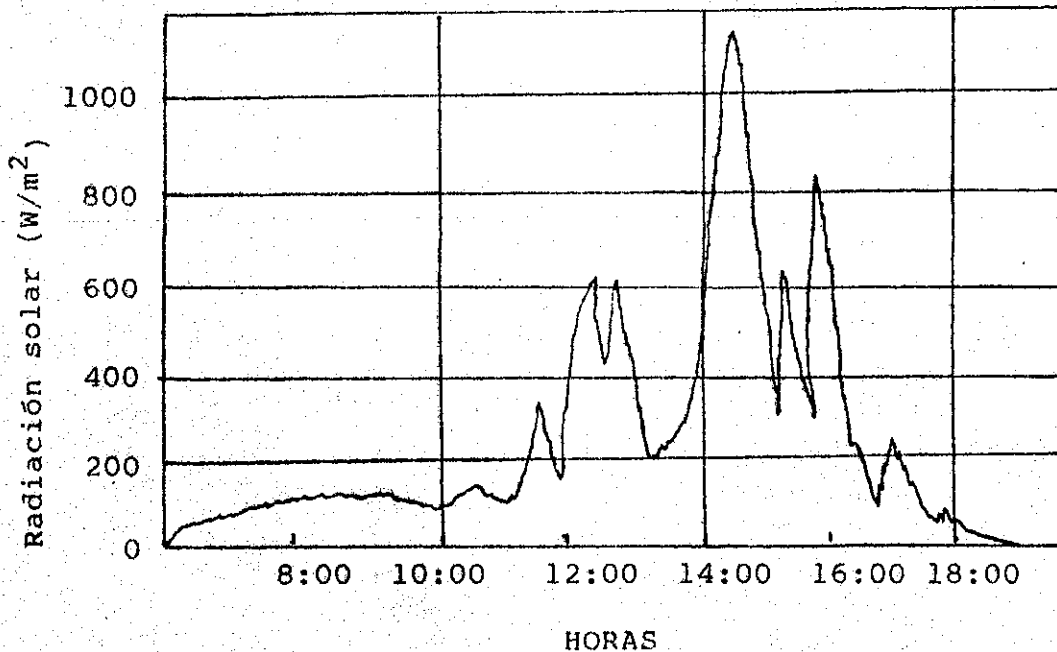


fig. 2.2 Registro de radiación global sobre una superficie horizontal, en un día nublado.

La energía del sol nos llega de tres formas diferentes:

1. DIRECTA: si entre el sol y el punto de captación no se interpone obstáculo y la dirección del rayo solar no se altera.
2. DIFUSA: cuando el rayo solar nos llega a través de nubes, copos de nieve, etc., o sea objetos translúcidos o transparentes, que refractan dicho rayo y le cambian de dirección.
3. REFLEJADA: cuando un objeto reflectivo (conocido como reflector) hace rebotar un rayo luminoso que luego incide en el punto de captación.

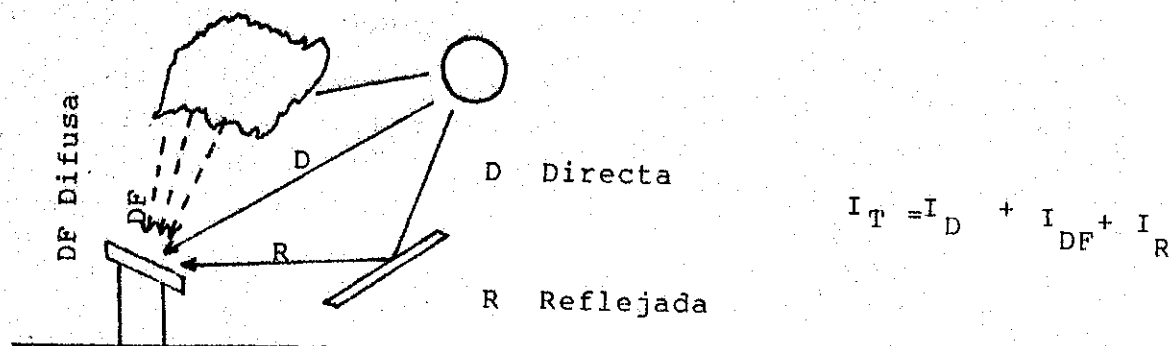


Fig. 2.3 Tipos de insolación

La mejor calidad energética la tiene los rayos directos, pero en el caso de Guatemala, predomina la insolación difusa en algunas regiones o épocas del año. se puede decir que para conversión fotovoltaica se aprovecha tanto la luz directa como la difusa, al igual que para fotosíntesis y para los colectores térmicos.

Hay que aclarar que generalmente se pueden tener dos parámetros generales para medir; son ellos la cantidad de BRILLO SOLAR o sea el número de horas por día en que se recibe sol directo. Se emplea para su medición un aparato consistente en una esfera sólida de cristal que concentra los rayos solares directos en una tira de papel que se quema con el rayo concentrado. El dato que ofrece se expresa en horas-sol y el aparato tiene varios nombres tales como Heliógrafo, bolómetro, esfera de Cambell-Stokes.

El segundo parámetro es conocido como INSOLACION O RADIACION medida por medio de un aparato conocido como piranómetro que básicamente mide la cantidad de energía que incide por unidad de área y por unidad de tiempo. Las medidas usuales se expresan como Langley/tiempo siendo que un "Langley" equivale a 1 cal/cm^2 . Otra forma típica, muy de moda es expresar la insolación en W/m^2 . De aquí se deriva otra unidad muy utilizada, la Hora-Pico que equivale a decir por cuántas horas al día se puede tener una insolación promedio de 1 kW/m^2 .

Así los meteorólogos expresan la insolación o radiación en Langley/día, los energetistas en W/m^2 y los fotovoltaicos en Horas-Pico.

Sus equivalencias son:

$$1 \text{ Hora-Pico} = 1 \text{ kW/m}^2 = 1000 \text{ W/m}^2 = 86 \text{ Langley/día}$$

$$1 \text{ Hora-Pico} = 1.21 \text{ HS} \quad 1 \text{ HS} = 71 \text{ L/día}$$

Los piranómetros miden insolación global; los pirheliómetros miden insolación directa, y también pueden medir la insolación de ciertas bandas de longitud de onda, con el empleo de sensores especiales o bien filtros solares específicos, y son entonces los piranómetros UV o IR.

Es útil decir que el número de horas-sol y el número de horas-pico dan idea clara si el aprovechamiento puede ser fotovoltaico o fototérmico preferiblemente. Si las horas-sol son altas y las horas-pico bajas, predomina la luz directa con insolación tenue aún aprovechable por sistemas fototérmicos y no por fotovoltaicos. Si HS es bajo y HP alto (sol fuerte por pocas horas), pueden trabajarse los sistemas fotovoltaicos con seguridad, y también los fototérmicos, pero en este caso se debe adicionar un banco de acumuladores al sistema fotovoltaico, a fin de acumular energía suficiente en esas pocas horas disponibles.

Como se puede apreciar, es esencial conocer datos en horas-sol y en horas-pico antes de diseñar sistemas de captación solar, y no confundir las horas-sol con la duración del día u horas luz.

CLIMATOLOGIA Y SEGUIMIENTO SOLAR

El número de horas sol y el número de horas pico son funciones de muchos parámetros: son las principales: el ángulo solar y la pureza ambiental.

El ángulo solar que se tenga, o sea el ángulo sustentado entre el rayo incidente y el plano de captación, debe ser mayor de 60 grados sexagesimales y de preferencia cercano a los 90 grados, pues así se optimiza la captación energética. La pureza ambiental está relacionada con el microclima local y la contaminación aérea. Mucha humedad (vapor, humo, copos de nieve) pueden convertir sol directo muy provechoso en sol difuso, menos aprovechable.

Así lo que debemos conocer es la posición del sol y el microclima. La posición del sol fácilmente se determina conociendo dos ángulos: El azimut y la altura solar, los cuales son función de: latitud, época del año y hora del día.

El azimut es una apertura de ángulo que se apoya en el norte geográfico y se desplaza sobre el plano horizontal del lugar estudiado se describe hacia el Este (por la mañana) pasando por el sur (Azimut 180 grados) al medio día y finaliza por el Oeste (por la tarde). Una vez ubicado el ángulo Azimutal, se puede ubicar al sol, si del plano horizontal levantamos el ángulo de altura solar hacia el Zenith. (Ver fig. 2.3)

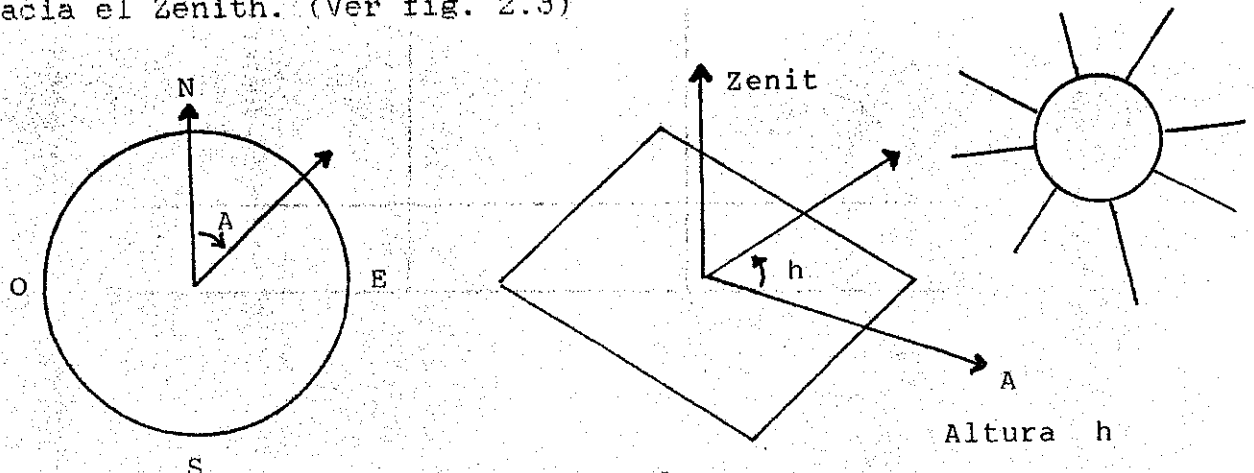


Fig. 2.3 Posición Solar y altura solar.

El microclima tiene diversas variables, pero las más importantes son: altitud sobre el nivel del mar (entre más elevado mejor insolación), orografía local (mejor llanuras que valles), Nubosidad (despejado equivale a tener sol directo), contaminación de polvo, humo niebla, vapores y copos de nieve (todos ellos reflejan, defractan o absorben energía radiante y son perjudiciales).

En resumen, evaluar radiación solar y brillo solar es complejo y se requiere de ambas informaciones para evaluar la factibilidad técnica de las alternativas o proyectos antes de calcular el mismo, para dimensionar los captadores térmicos o fotovoltaicos.

Finalmente es útil conocer, si es posible, el número probable de días consecutivos sin sol (nublados), lo que puede hacerse en base a las horas de sol diarias, llamado día "sin sol", aquel que tiene menos de tres Horas-Sol por día.

A continuación, se presentan algunos datos del recurso solar en Guatemala; desafortunadamente Guatemala tiene una configuración muy especial, con una gran diversidad de climas en áreas relativamente contiguas, además de esto, el hecho de que las estaciones no necesariamente se ubican necesariamente en puntos representativos de regiones de clima definido. Así en nuestro país es un poco aventurado regionalizar los datos.

Los datos contienen tres valores, que son: horas-luz, horas-sol, y horas-pico, en promedio mensual, los meses van de enero a diciembre y al final el promedio anual.

LUGAR CIUDAD DE GUATEMALA (TEMPLADO SECO)

MES	HORAS-LUZ	HORAS-SOL	HORAS-PICO
ENERO	11.2	8.0	5.75
FEBRERO	11.5	8.1	6.2
MARZO	11.9	8.28	6.8
ABRIL	12.3	8.0	6.97
MAYO	12.7	6.45	6.29
JUNIO	12.85	5.15	5.66
JULIO	12.77	6.25	6.14
AGOSTO	12.47	5.93	6.02
SEPTIEMBRE	12.07	4.8	5.3
OCTUBRE	11.65	5.75	5.41
NOVIEMBRE	11.1	7.3	5.13
DICIEMBRE	11.1	7.3	5.3
PROMEDIO ANUAL	12.0	6.8	5.96

LUGAR COBAN (TEMPLADO HUMEDO)

MES	HORAS-LUZ	HORAS-SOL	HORAS-PICO
ENERO	11.19	5.18	3.7
FEBRERO	11.5	5.5	4.2
MARZO	11.9	7.28	5.3
ABRIL	12.35	6.9	5.37
MAYO	12.72	6.62	5.22
JUNIO	12.9	4.94	4.39
JULIO	12.81	5.4	4.6
AGOSTO	12.5	5.2	4.5
SEPTIEMBRE	12.0	4.6	4.1
OCTUBRE	11.6	4.1	3.6
NOVIEMBRE	11.27	4.5	3.5
DICIEMBRE	11.1	4.7	3.4
PROMEDIO ANUAL	12.0	5.44	4.34

PROMEDIO NACIONAL ANUAL

HORAS PICO = 5.33
 HORAS SOL = 6.47

LUGAR MAS PROPICIO = HUEHUETENANGO
 LUGAR MENOS PROPICIO = COBAN
 MEJOR MES = MARZO, ABRIL
 PEOR MES = SEPTIEMBRE, OCTUBRE
 MAXIMA RADIACION = HUEHUETENANGO, MARZO Y ABRIL 7.67 H-P
 MINIMA RADIACION = COBAN, DICIEMBRE 3.39 HORAS PICO

Estos datos muestran que en la República de Guatemala es una región muy propicia para las diferentes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Aun en Cobán, que es la región con índices más bajos, se pueden instalar estos sistemas y funcionar óptimamente; se ha determinado que en Guatemala no transcurren más de cuatro días de lluvia intensa continua y los sistemas fotovoltaicos se pueden diseñar para que las baterías almacenen energía para cinco días de uso.

La República de Guatemala posee un buen nivel de radiación solar promedio que es de 1 kW/m^2 durante casi todo el año, y la hacen una región apta para este tipo de tecnología.



CAPITULO 3

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.1 GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

A través de los años, se han practicado diferentes métodos y fuentes de energía para la generación eléctrica.

En la actualidad, se genera electricidad a partir de diferentes fuentes de energía, tales como el petróleo, carbón, vapor extraído de la tierra, procesos de fisión nuclear, fuentes eólicas, recursos hidráulicos y el sol.

La forma generalizada de producir electricidad, por su relativo bajo costo de producción, inversión y mantenimiento es la energía obtenida a partir de los recursos hidráulicos, a través de las centrales hidroeléctricas.

En Guatemala, la fuente principal de energía eléctrica lo constituye los recursos hidráulicos; en segundo lugar, los recursos geotérmicos y en tercer lugar lo ocupa la generación eléctrica, por medio de las plantas térmicas, accionadas por los derivados del petróleo, de los métodos convencionales de producción de energía eléctrica; este último constituye el método más caro de producción debido al costo del combustible.

En las diferentes formas de producción de energía eléctrica, algunos métodos presentan más inconvenientes que otros, para el caso en los procesos en los cuales se usan los combustibles, provenientes del petróleo; primeramente existe el inconveniente en cuanto a la limitación de su disponibilidad, ya que es un recurso natural no renovable, y en segundo lugar, por su alto grado de contaminación que ocasiona al medio ambiente.

La generación por medio de procesos nucleares en la actualidad, aún presenta inconvenientes respecto a la seguridad de las plantas nucleares; aparte de los problemas que ocasionan los desechos radioactivos; Los generadores eólicos no son aplicables en todas partes, y depende de la posición geográfica y que las corrientes de viento sean fuertes y constantes, para que se puedan implantar estos sistemas.

En cuanto a la generación hidroeléctrica que es la más eficiente de todas las antes mencionadas, tomando en cuenta costo de inversión, aspectos de seguridad humana y mantenimiento, presenta también algunos inconvenientes; por lo general, estas centrales generadoras se sitúan alejadas de los centros de carga, obliga a construir largas líneas de transmisión, y eleva así el costo de estos proyectos, así como las limitaciones de carácter geográfico que existan. Al no quedar disponibles sitios convenientes en donde situar nuevas centrales hidroeléctricas, no se puede incrementar la capacidad de suministro de más energía eléctrica.

Todos estos métodos de generación de energía eléctrica conllevan, a partir de la fuente de energía, a la producción de un torque mecánico en el eje del generador eléctrico, para la obtención de electricidad; se constituye éste en un método indirecto de transformación de energía eléctrica, como puede observarse en la fig. 3.1. Para efectuar el proceso que permita convertir la energía proveniente de la fuente en electricidad, se utilizan etapas intermedias para llevar a cabo la transformación.

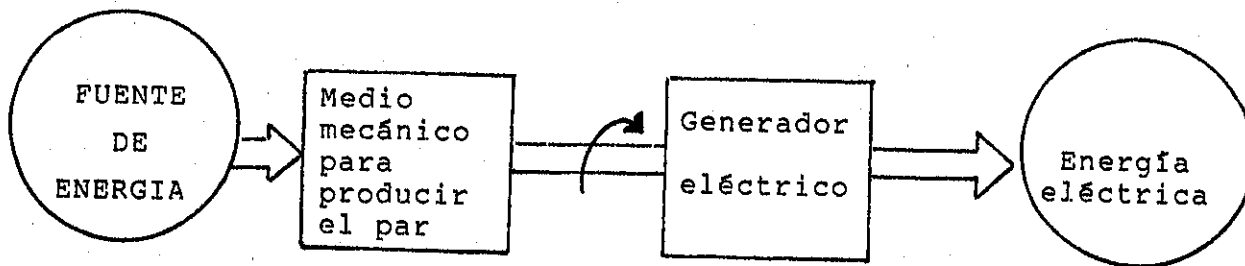


Fig. 3.1 Conversión de energía mecánica en eléctrica.

En la búsqueda de nuevas fuentes de energía, en los últimos años, se ha estado desarrollando la obtención de energía eléctrica a partir de la radiación solar: la conversión de la energía solar en energía eléctrica, se puede efectuar por dos métodos:

- a) Por conversión termoeléctrica: Concentrando el calor proveniente de la radiación solar en una termocopla, para así producir en ésta un efecto termoeléctrico, que genera una diferencia de potencial entre sus terminales.

- b) Por conversión fotovoltaica: Que utiliza la luz proveniente de la radiación del sol, incidiendo en una celda solar, la cual convierte la luz en electricidad.

De éstas dos formas de conversión de energía solar, la conversión fotovoltaica ha experimentado un evolucionado desarrollo y presenta más eficiencia en el proceso de conversión de energía eléctrica, debido a que esta constituye una forma de conversión de energía directa. Se dice así porque entre la energía solar y la energía eléctrica, solo se encuentra el medio transformador que es la celda solar, como puede verse en la fig. 3.2. Además la utilización de energía solar no produce contaminación ambiental, es silenciosa y limpia, es una fuente inagotable de energía, los equipos solares requieren de poco mantenimiento y su operación es muy sencilla. Estas características hacen de estos sistemas una muy buena alternativa para generar energía eléctrica y poder utilizarla en diferentes aplicaciones.

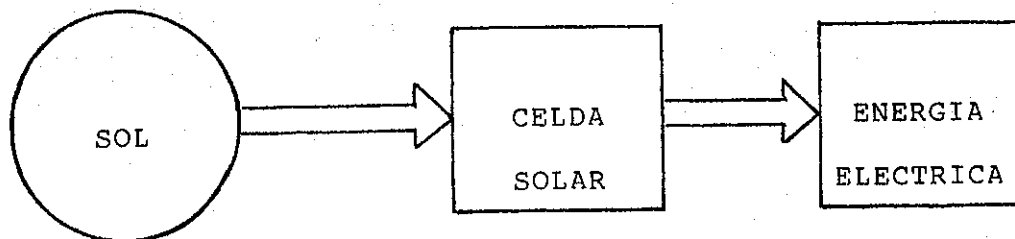


Fig. 3.2 Conversión de energía directa.

Como consecuencia de la mayor eficiencia que presentan los Sistemas Fotovoltaicos, con respecto a los Sistemas Termoeléctricos, el presente trabajo se desarrollará en torno a la obtención de energía eléctrica, a través de los Sistemas Fotovoltaicos.

3.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Como una solución alternativa a la búsqueda de nuevos medios que proporcionen energía eléctrica, los sistemas fotovoltaicos pueden dar una respuesta a las necesidades de electricidad, sobre todo en los lugares en donde no se dispone de esta forma de energía.

La tecnología y las investigaciones sobre los sistemas fotovoltaicos, aún se encuentran en desarrollo, de tal forma que si en la actualidad no ocupan un lugar preponderante como un medio productor de electricidad, sin lugar a dudas, en el futuro será una de las fuentes principales de energía eléctrica, dada a la naturaleza de la fuente que estos utilizan: el sol, el cual es prácticamente inagotable.

Otra ventaja de los sistemas fotovoltaicos es que poseen poco equipo para operar, ocupan poco espacio; por no tener piezas en movimiento no hay desgaste por fricción y no contaminan el ambiente con ruidos molestos ni gases de ningún tipo.

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos por cuatro elementos que a continuación se detallan:

- a) El generador solar
- b) El regulador-cargador
- c) El sistema de acumulación
- d) El inversor (si la carga requiere corriente alterna).

Cada una de estas partes se describe como sigue.

3.2.1 EL GENERADOR SOLAR

El generador solar es la parte modular de los sistemas fotovoltaicos. Está compuesto de celdas solares fotovoltaicas, las cuales según el tipo de carga que se va a alimentar, se agrupan en módulos, paneles o arreglos fotovoltaicos.

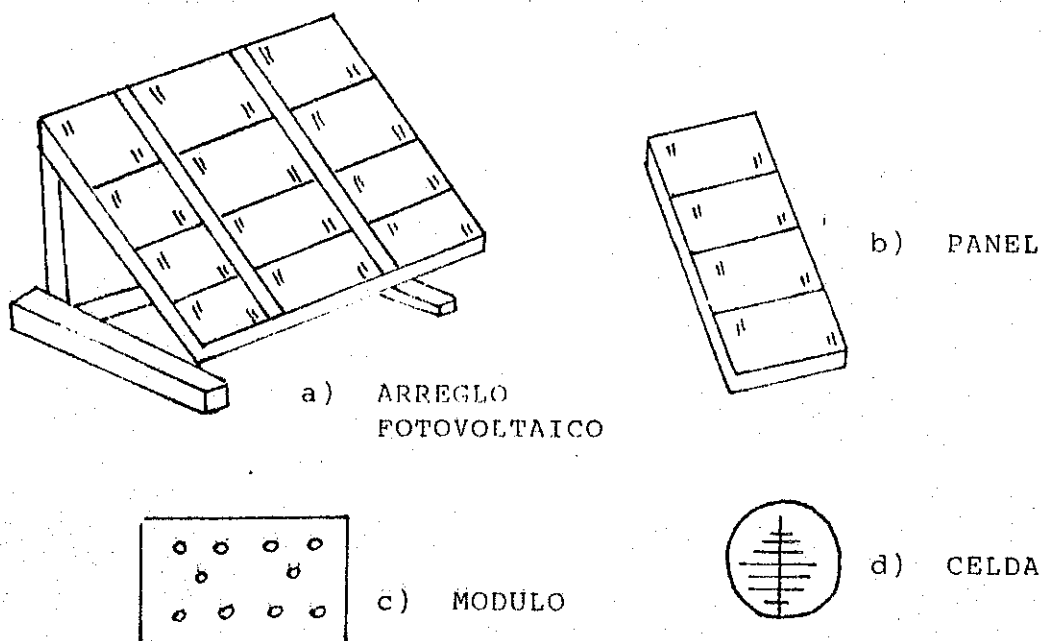


Fig. 3.3 a) Arreglo fotovoltaico
b) Panel
c) Módulo
d) Celda solar

El panel es un conjunto de módulos interconectados eléctricamente; el arreglo fotovoltaico es un conjunto de paneles, tal como puede verse en la fig. 3.3.

3.2.2 REGULADOR-CARGADOR

El regulador-cargador es un subsistema electrónico, el cual se encarga del aprovechamiento de la radiación solar, mantener la calidad de operación del sistema fotovoltaico y efectuar la tarea de cargar el sistema de acumulación.

3.2.3 SISTEMA DE ACUMULACION

Como una forma de garantizar que el equipo que se encuentra conectado al sistema fotovoltaico, tenga un constante suministro de energía eléctrica, se utilizan los sistemas de acumulación de energía eléctrica, que por lo general son bancos de baterías de plomo ácido, cuando los niveles de radiación solar son muy bajos, que son ocasionados por días nublados o durante la noche.

En la fig. 3.4. se muestra cómo está configurado un sistema fotovoltaico.

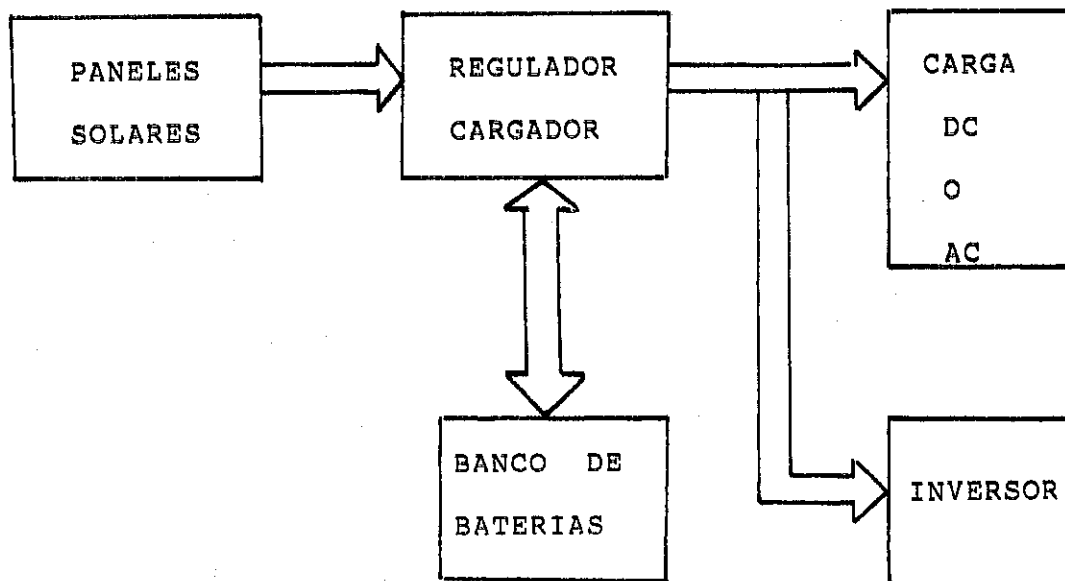


Fig. Sistema fotovoltaico.

3.2.4 EL INVERSOR

La corriente, proporcionada por los paneles solares, es continua (D.C.) y en algunas aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos, los equipos que la van alimentar funcionan con corriente alterna, por lo que es necesario contar con un medio que convierta la corriente directa en alterna; es ésta la función del inversor.

3.3 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En la actualidad, el uso de sistemas fotovoltaicos en lugares donde ya se dispone de energía eléctrica, obtenida por métodos convencionales, no representa ninguna ventaja económica debido al alto costo del kWh obtenido por transformación fotovoltaica, respecto a los métodos convencionales.

El costo de invertir en un sistema fotovoltaico es relativo, pues se vuelve caro o barato, y depende del lugar donde se instale.

En lugares remotos y con poca demanda de energía eléctrica, en donde llevar el servicio eléctrico, implica la construcción de un tendido eléctrico de muchos kilómetros, y los sistemas fotovoltaicos se convierten en una solución económica más factible, ya que en estos casos el costo de inversión representa una fracción del costo que se tendría que incurrir al construir un sistema eléctrico convencional.

3.3.1 APLICACION DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN AREAS RURALES

A los precios actuales del kWh, obtenido por transformación solar, resulta 3.3 veces más caro que el kWh diesel. Para que el costo de kWh solar y el kWh diesel se encuentren en equilibrio, el precio del kWh solar debe de bajar de Q 1.50 a Q 0.46, aproximadamente.

Si tomamos en cuenta que, en la actualidad, la construcción de un tendido de distribución de energía eléctrica de 34.5 kV monofásico cuesta Q 53.000/km y el sistema a 13.8 kV monofásico tiene un costo de Q 46.000/km, cualquier sitio remoto en la zona rural puede electrificarse más económicamente con celdas solares, aún a Q 1.50 el kWh, y además en un período de tiempo de instalación muy corto.

3.3.2 USOS ACTUALES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A continuación, se detallan las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos, que en la actualidad ya se encuentran en práctica:

A) Agricultura, ganadería y pesca

- Bombeo de agua para abrevadero de ganado
- Bombeo de agua para regadíos
- Refrigeradoras para centros de inseminación
- Congelamiento de pescado

B) Servicio social y comunitario

- Bombeo de agua potable
- Servicio eléctrico en viviendas aisladas
- Equipos de sonido y televisión
- Refrigeración
- Puesto de socorro en carreteras

C) Aplicaciones especiales

- Estaciones metereológicas
- Repetidoras de radio
- Luces de alerta
- Boyas de señalización marina
- Estaciones sismológicas
- Satélites

Del total de energía consumida actualmente en Guatemala, el 55% corresponde a la leña, 36% a productos derivados del petróleo, el 8% a la electricidad y el resto a diversas fuentes (bagazo de caña de azúcar, cascarrilla de café, alcohol etc).

Por estas razones, los sistemas fotovoltaicos son ideales en regiones rurales donde todavía no hay esperanza de obtener energía eléctrica por medios convencionales a largo plazo.

Los sistemas fotovoltaicos son fáciles de instalar (en un día se puede instalar un sistema en una casa). No contaminan el medio ambiente, no producen ruido, y ayudan a que se evite la tala inmoderada de árboles para la obtención de leña.

CAPITULO 4

DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE CAPTACION DE ENERGIA SOLAR

4.1 GENERALIDADES

La forma de captación más importante, tanto desde el punto de vista de su magnitud como desde el punto de vista de eficiencia ocurre en las plantas verdes, por medio del cual, la energía luminosa es transformada en energía bioquímica; esta energía, a su vez, se aprovecha en los procesos de mantenimiento y crecimiento vegetal.

El hombre puede captar la energía solar, para aprovecharla en muy diversos procesos útiles. Los dispositivos hechos por el hombre para captar la energía solar, se denominan genéricamente con el nombre de " colectores solares " .

Tales dispositivos, que pueden construirse para conversión energética de la radiación solar, tienen diferentes grados de eficiencia debido a los mecanismos físicos de operación.

Un factor importante en cuanto a la eficiencia de un sistema son; los regímenes de variación de la incidencia de la radiación, de tal manera que, para los proyectos de aprovechamiento energético, es muy importante conocer, en detalle, el régimen de variación de la radiación solar como tipo de dispositivos que se utilizarán.

4.2 SISTEMAS DE CAPTACION DE ENERGIA SOLAR

Los sistemas de captación se pueden clasificar en cinco tipos:

- Pasivos
- Colectores planos
- Semiconcentradores
- Concentradores
- Sistemas de fotoceldas

4.2.1 SISTEMAS PASIVOS

Los sistemas pasivos son los que menos exigencias tienen en cuanto al régimen de variación de la radiación; generalmente son diseñados desde un punto de vista de conservación y uso racional de todos los recursos energéticos involucrados en el lugar de aplicación, y por lo tanto aprovechan adecuadamente la radiación solar que se presente. Generalmente aplicado en la construcción de las casas y edificios.

4.2.2 COLECTORES PLANOS

Los colectores planos utilizan la radiación difusa y directa, es decir, que pueden funcionar tanto en días claros como en días nublados, al variar la intensidad de la radiación; aunque la eficiencia varíe, siempre producen la conversión de radiación a calor.

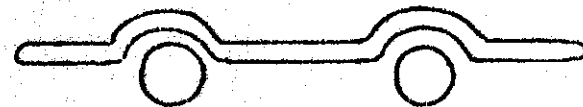
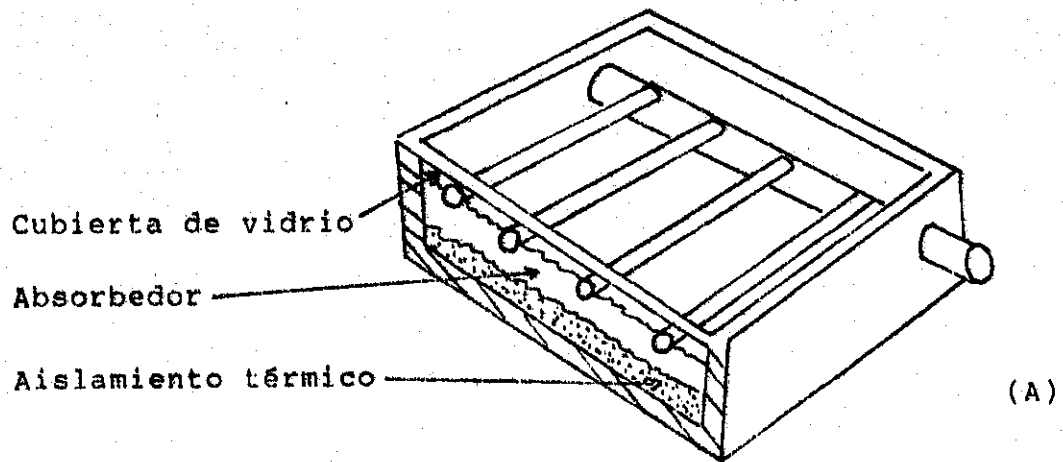
Los colectores planos pueden instalarse fijos en su posición, aunque pueden ser movidos cada cierto tiempo para ajustarlos, según sea la estación del año.

PARTES FISICAS

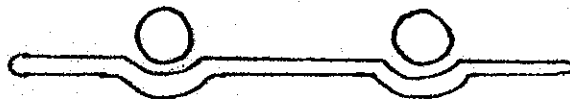
La mayoría de los colectores planos tienen la forma de una cajuela, cuya parte superior (cubierta) es transparente o traslúcida, y cuyo fondo es una superficie plana y sólida (absorbedor) y directamente debajo del absorbedor se coloca una capa de aislante térmico.

EL ABSORBEDOR

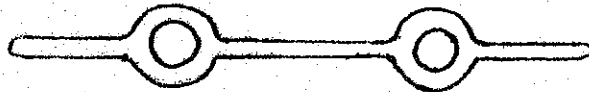
Puede ser una placa metálica plana (cobre, aluminio, hierro) pintada de negro, ya que con este color se logra mayor absorción de la energía radiante, a la vez que se reduce a un mínimo la reflexión de ésta. En cierto tipo de absorbedor, se puede usar un material plástico; por ejemplo, polietileno negro. La función principal de un absorbedor es convertir en calor la radiación solar recibida. (Ver fig.4.1)



Tubo abajo Absorbedor



Tubo arriba Absorbedor



Tubo incluido en el absorbedor

(B)

Fig. 4.1 A) Colector plano tipo múltiple "Manifold"
B) Tres tipos de colocación del tubo en el absorbedor.

LA CUBIERTA

Este elemento tiene tres funciones: la primera es permitir el paso de la radiación solar (en la que predominan las radiaciones de onda corta). Estas radiaciones producen una elevación de temperatura en el absorbedor, el cual en estas condiciones emite radiación de onda larga (infrarroja). La segunda función es la de detener estas radiaciones, ya que se comporta como un cuerpo opaco a la radiación infrarroja (un cuerpo opaco se puede definir como un cuerpo que no permite el paso de luz a través de él).

La tercera función es impedir que circule aire frío en el absorbedor y que el aire, que ya está calentado dentro del colector, salga al exterior.

EL AISLANTE TERMICO

Por ser de un material conductor de calor (metal), el absorbedor resulta calentado en su cara interior, en la que no recibe insolación; para evitar que por esta cara se pierda calor hacia la atmósfera, se coloca una capa de material aislante térmico (material de baja conductividad térmica). Esta capa evita, tanto las pérdidas por convección (ya definida), como las pérdidas por conducción (que se puede definir como el proceso mediante el cual el calor fluye desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, dentro de un medio sólido, líquido o gaseoso).

Los materiales más usados como aislante térmico en colectores son: lana de fibra de vidrio, espuma de poliuretano, poliestirelo.

4.2.3 SISTEMAS SOLARES CONCENTRADORES Y SEMICONCENTRADORES

Se denomina "concentrador solar" a todo aquél dispositivo que de alguna manera permite enfocar la insolación recibida en un área extensa llamada "apertura", sobre un área pequeña llamada "convergencia". Para el caso en que se disponga de instalaciones de equipos concentradores y semiconcentradores, se dirá que dichos equipos trabajan principalmente con la radiación directa; generalmente se persiguen grandes temperaturas y elevadas eficiencias, las cuales se logran con sistemas ópticos que deben estar perfectamente alineados a la posición del sol. Como en el punto de conservación de alta temperatura, se necesita la incidencia de todos los rayos directos del sol, resulta que cualquier variación de la radiación directa repercute drásticamente en el desempeño de estos dispositivos.

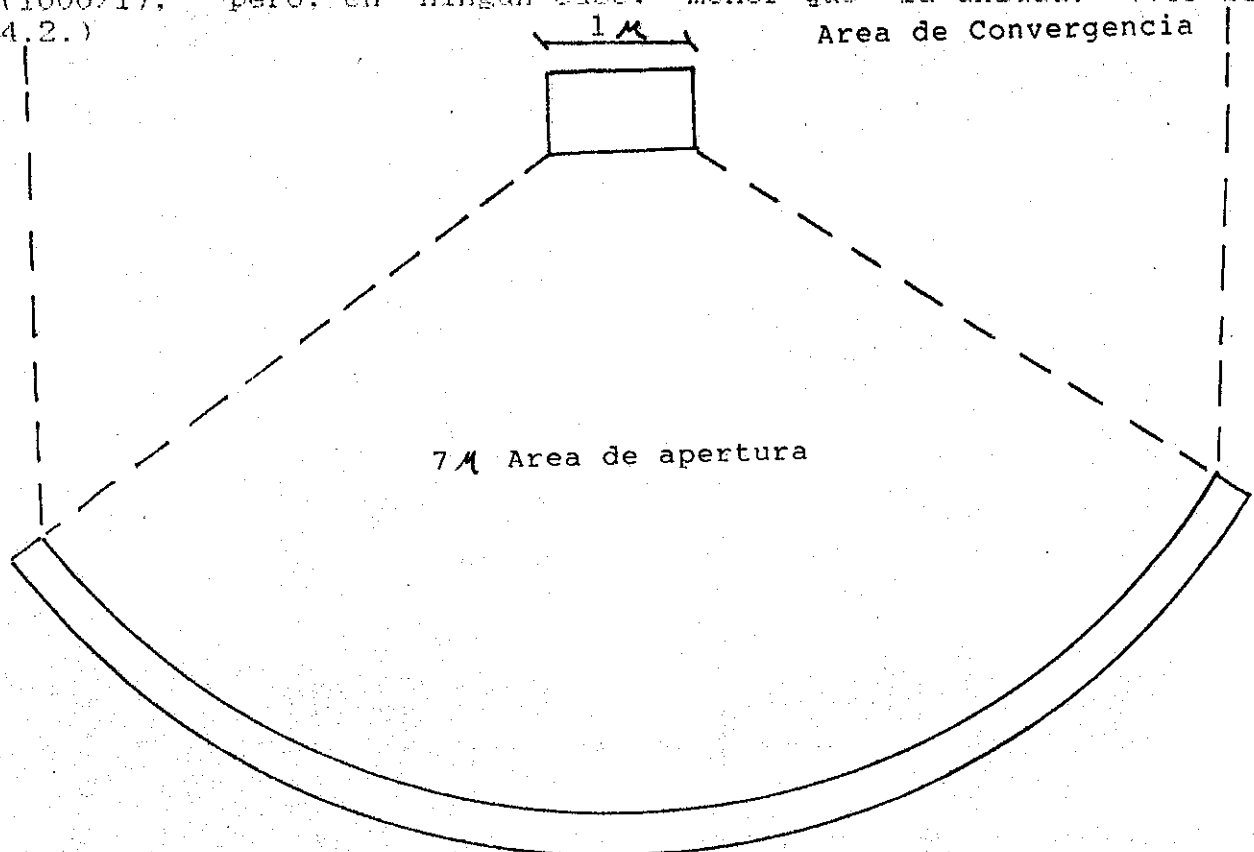
Desde el punto de vista energético, se prevé que para la conversión a gran escala de energía solar, se hacen necesarios los sistemas concentradores, los cuales tienen un costo elevado: por lo tanto, deberán operar con gran confiabilidad.

Desde un punto de vista de Ingeniería, se pueden diseñar dispositivos que den rendimiento satisfactorio, cuando se cumplan determinadas condiciones estables de la radiación solar: el problema de la confiabilidad se agrava cuando no se tiene el conocimiento que garantice la resistencia de tales condiciones de diseño.

Las características de diseño más descriptiva de un concentrador solar es la "razón" de concentración, (RC), que es el cociente de dividir la apertura (A) entre la convergencia (C).

$$RC = \frac{A}{C} \quad (\text{ec. 4.1})$$

La razón de concentración puede ser baja (10/1) o muy alta (1000/1), pero, en ningún caso, menor que la unidad. (Ver fig. 4.2.)



$$RC = \frac{A}{C} = \frac{7 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 7$$

Fig. 4.2 Razón de concentración (R.C.)

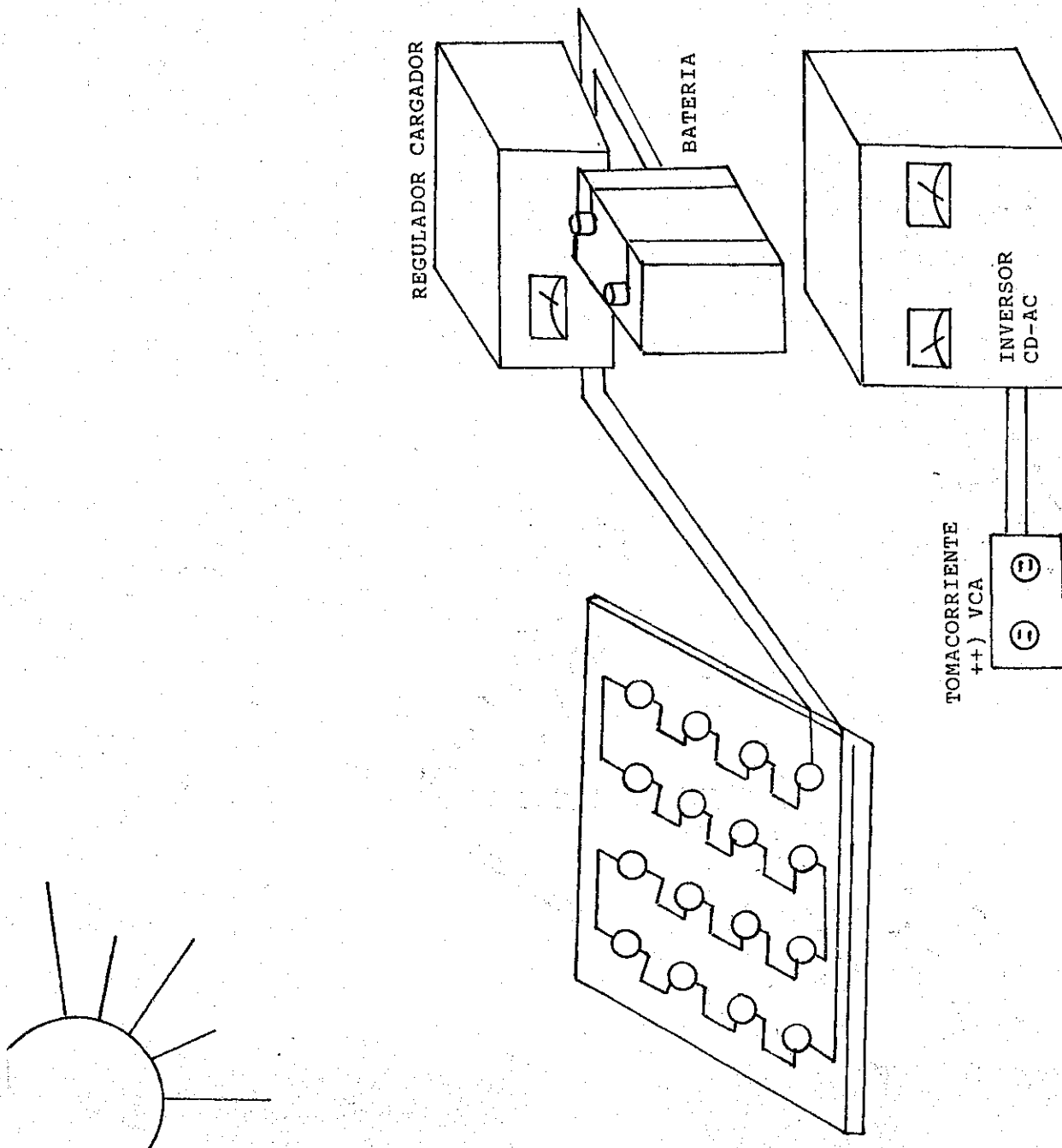


Fig. 4.4 Elementos principales de un sistema de corriente alterna.

La fig. 4.4 muestra los elementos de un sistema de corriente alterna. Este sistema es igual al de corriente directa, excepto que usa un aparato adicional que es el inversor, el cual es un aparato electrónico de potencia que convierte corriente directa en energía eléctrica de corriente alterna, según sea el caso, de la aplicación podemos usar sistemas fotovoltaicos en D.C. (12VDC) o en A.C. (110VAC).

En la mayoría de las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos, los aparatos que se conectan a éstos, funcionan con niveles de voltaje directo (VDC), pero si en alguna aplicación se requiere de voltaje alterno, para ello se utilizará el inversor.

Los sistemas para A.C. o D.C., anteriormente descritos, pueden representarse esquemáticamente por medio de las figuras 4.5, y 4.6.

Para D.C.

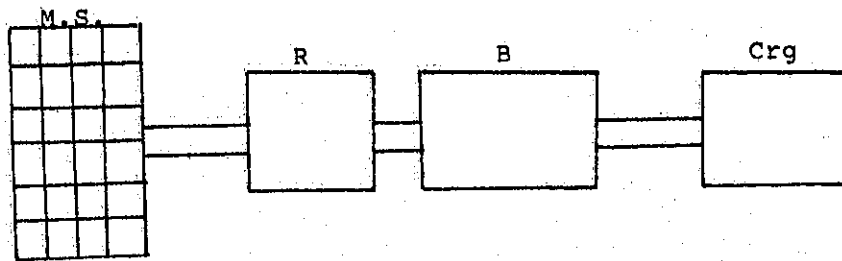


Fig. 4.5 Sistema en D.C.

M.S. Sistema de Módulos Solares

R Dispositivo Regulador/Cargador

B Banco de baterías

Crg Sistema de Carga (sistema C.D.)

Para A.C.

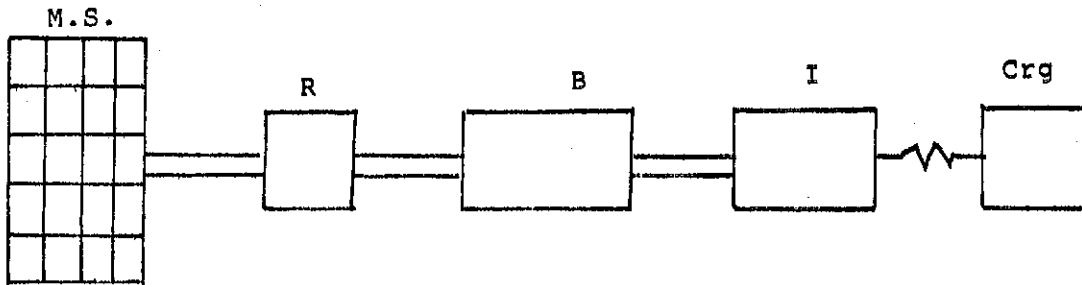


Fig. 4.6 Sistema en A.C.

- M.S. Sistema de módulos solares
- R Dispositivo regulador/cargador
- B Banco de baterías
- I Dispositivo Inversor
- F Fusible (Protección para sistemas Generación-Carga)
- Crg Sistema de carga (Sistema A.C.)

Es importante hacer aquí la observación de que, cuando se haga el desarrollo del procedimiento para diseñar un sistema de generación fotovoltaico, se harán las consideraciones con base en los dispositivos y los sistemas mencionados en las figuras anteriores. El desarrollo del procedimiento es el objetivo del próximo capítulo.

CAPITULO 5

CRITERIOS DE DISEÑO PARA LOS SISTEMAS DE GENERACION FOTOVOLTAICA

El objetivo del presente capítulo es presentar el procedimiento para desarrollar el diseño de sistemas de generación fotovoltaica. El procedimiento de diseño permite dimensionar cada una de las partes que componen el sistema fotovoltaico, que en términos generales consta de cuatro subsistemas:

- Campo de celdas solares
- Regulador-cargador
- Banco de baterías
- Inversor

En el diseño de los sistemas fotovoltaicos, las especificaciones de los cuatro subsistemas resultan afectadas según las condiciones de cada aplicación.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Bajo este tema, se describirá el sistema al cual se le pretende suministrar la potencia producida por los paneles solares. Se considerarán los niveles de demanda de potencia promedio a través del día, ya sea un sistema que funcione con Corriente Alterna (A.C.) o Corriente Directa (D.C.), expresada en W, o vatios y kW (kW), o kilovatio.

La información antes mencionada se presentará a través de un ejemplo por medio de una figura: será un sistema de ejes coordenados y en el que se graficará: W o kW (en el eje vertical) contra horas (en el eje horizontal); Y así, para cada intervalo de horas considerado, le corresponderá el consumo propio en W o kW. Ver fig. 5.1

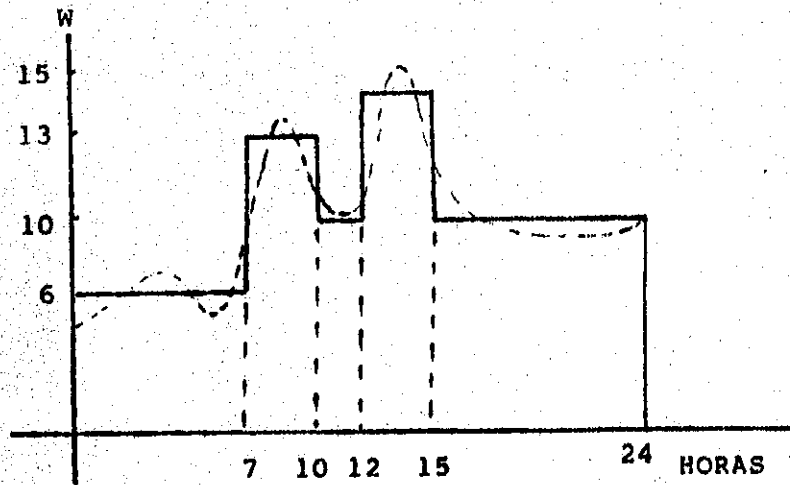


Fig. 5.1 Los segmentos rectos representan la potencia promedio propia de cada intervalo de tiempo. La línea curva representa la demanda real de potencia.

En la fig. 5.1, se observa que durante las 12:00 horas y las 15:00 horas se da el pico de potencia del día y tiene un valor de 15 W. También se puede leer el nivel más bajo de potencia, que sucede de las 0 horas (media noche) y las 7:00 de la mañana, y tiene un valor de 6 W. La Energía demandada (ED) viene dada por la expresión:

$$ED = \int_{t_0}^{t_1} P dt \quad (\text{Wh}), \text{ o } (\text{kWh}) \quad (\text{ec. 5.1})$$

Donde el integral indica que la energía demandada viene a ser el área bajo la curva. Si se desea conocer la energía que será demandada al sistema de generación, de las 10:00 horas a las 15:00 horas; la ec. 5.1 se desarrollará así:

$$ED = \int_{t_0}^{t_1} P dt = \int_{10}^{12} P dt + \int_{12}^{15} P dt$$

$$ED = 10(12-10) + 15(15-12) = 10(2) + 15(3) = 20 + 45 = 65 \text{ Wh}$$

Las otras características necesarias para la descripción del sistema son:

- a) El nivel de voltaje nominal (V_{sist} , Voltios) para AC o DC.
- b) La corriente máxima del sistema (I_{sist} , Amperios) en AC o DC.

Esta última viene dada por la fórmula:

$$I_{sist} = \frac{P_{sist \max}}{V_{sist}} \quad (\text{Amperios}) \quad \text{AC o DC} \quad (\text{ec. 5.2})$$

Donde:

P_{sist} : potencia del sistema (W o kW)

V_{sist} : voltaje del sistema (Voltios, AC o DC)

Habrá que considerar que al sustituir la potencia del sistema (P_{sist}) en la ec. 5.2 y sea un sistema en donde existen variaciones en los niveles de potencia, se tomará al máximo nivel de potencia que posea el sistema o pico de potencia para cualquier sistema. Se toma este valor para que cuando se presente el pico de potencia, el sistema de paneles solares sea capaz de suministrar la potencia que le será demandada. Esta situación se puede reconocer fácilmente por medio de la gráfica antes mencionada.

5.2 CARACTERISTICAS DEL SITIO CONSIDERADO

Las características del sitio considerado por las condiciones propias del lugar donde se proyecte montar el sistema de generación fotovoltaica, tales como: las radiaciones promedio anual y las horas de luz solar. Esta información es necesaria, pues con base en la radiación promedio anual y las curvas características corriente vs. voltaje, del funcionamiento de paneles solares, se determinarán los valores de operación de los mismos.

Si se planifica montar un sistema de generación fotovoltaica en alguna región de la república de Guatemala, habrá que conocer la radiación promedio anual del sitio. Dicha información se puede obtener a través del INSIVUMEH.

La radiación promedio anual para Guatemala es de :

$$503.46 \text{ mWh/cm}^2 \quad (432.9 \text{ cal/cm}^2)$$

Habrá que considerar las condiciones metereológicas que se presentan en el lugar.

Así, se obtiene que el mes de septiembre es el mes que normalmente es el más copioso del año (en cuanto a lluvia se refiere) y debido a los fenómenos atmosféricos se propician precipitaciones fluviales de mayor magnitud, que se manifiestan en "temporales" que se caracterizan por lluvias no tan intensas, pero de carácter intermitente, que ocurren a cualquier hora del día. Las situaciones de "temporal" pueden tener una duración de 4 a 5 días y un promedio de 3 días soleados. Al mismo tiempo se establece que junio y septiembre son los meses en que se tiene menos luz solar por día.

La información, antes mencionada, habrá que considerarla cuando se proyecte diseñar un sistema de generación fotovoltaica para sistemas, en donde se hace necesario suministrar una potencia promedio continua durante las 24 horas del día, sistemas tales como radar, repetidoras de microondas o telecomunicación en general; así, una vez determinadas las horas de luz solar por día, se poseerá la capacidad de diseñar un sistema de generación adecuada a las demandas de potencia que poseen los sistemas antes mencionados.

Para sistemas donde exista un régimen de demanda variable (pequeña industria en general), será adecuado hacer coincidir la reducción de actividades productivas con los meses que poseen los promedios menores de luz solar por día (junio y septiembre), por consiguiente, se podría disponer de más luz solar por día en los restantes diez meses del año.

En caso de planificar un sistema en un lugar donde no exista información necesaria, se debe considerar un sitio cercano que posea características similares y del cual exista información.

5.3 DETERMINACION DE LOS VALORES DE OPERACION

Una vez determinada la radiación promedio anual y con base en a la curva característica, corriente vrs. voltaje de funcionamiento de módulos solares, sobre la curva correspondiente a la radiación promedio anual, se determinarán los valores de operación, o sobre la curva de radiación promedio de una condición particular.

Los valores de operación se obtendrán, luego de considerar que se ha inscrito bajo la curva de radiación solar correspondiente al máximo rectángulo permisible. Es por esta razón que se tomarán los valores donde la curva se "quiebra" (en el "codo" de la curva), y se obtiene así la potencia máxima para la operación.

El hecho de trabajar con la radiación promedio anual es para asegurar la confiabilidad en el sistema de generación fotovoltaica.

La potencia máxima del módulo para operación (P_{mx}) será el producto V_{op} , por I_{op} , luego:

$$P_{mx} = V_{op} I_{op} \quad (\text{ec. 5.3})$$

Para efectos generales de diseño, se deberá conocer las radiaciones y determinar cómo esas variaciones influyen en los estados con carga y sin carga del sistema.

5.4 TIEMPO DE AUTONOMIA

Para establecer el tiempo de autonomía (t_a), el cual se puede definir como el tiempo (expresado en horas) en que el banco de baterías será capaz de suministrar la potencia demandada. Esto depende de la naturaleza de la carga del sistema.

Una vez analizadas las condiciones específicas descritas bajo el tema de " Descripción del Sitio " y para posteriormente determinar el tiempo de autonomía (t_a ; horas), se deberá considerar:

- i) Para sistemas en donde se hace necesario suministrar una potencia promedio en una forma continua; número mínimo de días : 5 (cinco) .
- ii) Para sistemas en donde exista un régimen de demanda variable de potencia y con una reducción de actividades para junio y septiembre; número de días: 2 (dos) .

La anterior limitación se ha hecho asegurar la confiabilidad del sistema de generación fotovoltaica, como también un mejor rendimiento.

5.5 CARACTERISTICAS DEL INVERSOR (DC - AC)

El inversor es un equipo eléctrico que contiene los dispositivos y las conexiones para transformar corriente directa (DC) en corriente alterna (AC).

Para determinar las características del inversor, se investigarán los valores de potencia, voltaje y corriente, tanto a su salida como a su entrada. La posición de este equipo será entre los sistemas de generación y de carga, de tal forma que sus valores de salida serán los que le presenta el sistema de carga; mientras que en su entrada, poseerá los valores que sea capaz de proporcionar el sistema de generación fotovoltaica. Esta situación se ilustra por medio del siguiente esquema:

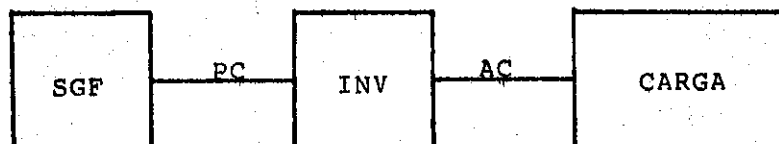


Fig. 5.2

Donde:

- SGF : sistema de generación fotovoltaica
 INV : dispositivo inversor
 CARGA : carga (sistema de régimen de potencia variable)

Debido a las múltiples ventajas que posee este dispositivo y la alta confiabilidad en su funcionamiento, posee una alta eficiencia. Gracias a esto, se le podrá asociar una eficiencia promedio de 90%, así $\eta_{inv} = 90\%$.

- i) Voltaje de salida del inversor (VSI) es el voltaje del sistema de carga (V_{sit})

$$V.S.I. = V_{sist} \quad (AC) \quad (ec\ 5.4)$$

- ii) Corriente de salida del inversor (I.S.I) estará definida por la ecuación (5.2). Habrá que considerar de nuevo que al sustituir el valor " P_{sist} " en la ecuación antes mencionada se tomará el máximo valor de potencia presente en el sistema de régimen variable. Los valores de salida y de entrada para el inversor, como para cualquier dispositivo eléctrico, están relacionados por medio de su eficiencia. Esta última está definida por:

$$\eta_{inv} = \frac{P. S. I. \times 100 \%}{P. E. I.} \quad (\text{ec } 5.5)$$

Donde:

η_{inv} : Eficiencia del inversor (en %)
 P. S. I. : Potencia de salida del inversor (W o kW)
 P. E. I. : Potencia de entrada del inversor (W o kW)

Al sustituir, en la ecuación (5.5), la potencia de salida del inversor (P. S. I.) por valor. habrá que considerar que el sistema (que representa la carga), posee un máximo nivel de potencia y este valor precisamente. el que tomará P.S.I. Hecha esta consideración y definida la eficiencia del inversor (η_{inv}), se podrá obtener la potencia de entrada del inversor (P.E.I.), para cuando el sistema opere a plena carga.

La entrada del inversor estará caracterizada por :

- i) Voltaje de entrada del inversor (V. E. I) : en este punto. mantendrá un nivel de voltaje (DC) comprendido dentro del rango de voltajes, del banco de baterías y además. que simplificará los dispositivos para su manejo y será un nivel de voltaje adecuado (desde el punto de vista económico).
- ii) Corriente de entrada del inversor (I.E.I.): este valor estará relacionado con la potencia de entrada del inversor (P.E.I.) y el voltaje de entrada del inversor (V.E.I.), según la ecuación:

$$I.E.I. = \frac{P.E.I.}{V.E.I.} \quad \text{Amp (DC)} \quad (\text{ec } 5.6)$$

Para evaluar la Eec (5.6), se hará necesario calcular en primer lugar la potencia de entrada del inversor (P.E.I.), la cual se podrá obtener por medio de la ecuación (ec. 5.5), con las consideraciones antes mencionadas.

5.6 DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERIAS:

Para determinar el dimensionamiento del banco de baterías se habrá de analizar sus regímenes de descarga y de recarga. Cada uno de estos regímenes, se analizarán en seguida bajo el correspondiente sub-tema:

5.6.1 REGIMEN DE DESCARGA:

El régimen de descarga se puede definir como el número de amperios-hora (AH) que le será demandado al banco por la carga del sistema al que se pretende suministrar potencia, por medio de módulos solares.

La corriente de salida del banco (I.S.B.) vendrá dada por la expresión:

$$I.S.B. = \frac{P.S.B.}{V.S.B.} \text{ Amp (DC)} \quad (\text{ec.5.7})$$

Donde:

P. S. B. = Potencia de salida del banco de baterías
(W o kW).

V.S.B. = Voltaje de salida del banco (Voltios DC)

La potencia de salida del banco (P.S.B.), será precisamente la potencia demandada por el sistema impuesta a él. Aquí es importante hacer la observación que cuando se analice un sistema de generación que incluya un inversor, la potencia de salida (P.S.B.) vendrá a ser la potencia de entrada del inversor (P.E.I.), la cual puede ser obtenida de acuerdo con la ec. 5.5; y, en este caso, se tomarán todos los niveles de potencia que se presenten en el sistema en cuestión.

Cuando el sistema de generación no contenga un dispositivo inversor, la potencia de salida del banco (P.S.B.) tomará directamente los distintos niveles de potencia que pueda presentar la carga del sistema que se estudie.

El voltaje de salida del banco (V.S.B.) será el voltaje de entrada del inversor (V.E.I.) cuando éste exista, y esto es así pues, el banco de baterías y el inversor son dispositivos contiguos para sistemas de A.C. El V.S.B. será el nivel de voltaje de la carga, cuando el sistema de carga analizado utilice D.C.

La corriente de salida del banco (I.S.B.), ec. 5.7, se calculará tantas veces como niveles de potencia presente el sistema de carga.

Con un análisis de las horas y del número de días mínimo, ya señalado bajo el tema, "tiempo de autonomía", para mantener la debida concordancia de criterios, se podrá desarrollar la siguiente tabla:

TABLA 5.1

Descripción de equipos o sistemas. (W o kW)	Amperios demandados (Amperios)	Tipo de funcionamiento. (h/d)	Días mínimos (de día)	Producto Amp.X hora X día
			TOTAL =	Σ Amp-horas

Explicación:

En la columna "Amperios Demandados", se colocarán las distintas corrientes demandadas por los distintos equipos o sistemas.

Este valor se obtendrá por medio de la ec. 5.8 haciendo las consideraciones inherentes a esta ecuación.

Para la columna "Tiempo de funcionamiento", de donde se trasladarán los distintos intervalos de tiempo asociado a cada nivel de potencia presente en el sistema de carga.

Bajo el encabezamiento de "Días Mínimos", 4a. columna, se colocará el número de días señalados en el tema "Tiempo de Autonomía", según sea el sistema que se analice.

En la última columna, se colocará el producto que resulte de multiplicar las tres anteriores columnas en sentido horizontal, para establecer los AH por día.

Luego se sumarán los distintos productos de la última columna en sentido vertical y el resultado representará el régimen de descarga (RD) al cual estará sometido el banco de baterías. Matemáticamente expresado, ésto es:

$$R.D. = \sum \text{ Amp X horas (AH)} \quad (\text{ec. 5.8})$$

La ec. 5.8 está de acuerdo con el sistema de que se trate y tendrá 2 o 5 días de 24 horas en las cuales suministrará la potencia demandada.

5.6.2 REGIMEN DE RECARGA:

Para este tema, se debe considerar que los módulos solares deberán ser capaces de suministrar potencia, tanto para la recarga del banco de baterías como para la carga útil.

Para recargar el banco, se hará con la condición de que se dispone de un cierto número de hora luz solar por día (representada por N h/día). Este número se determinará en base en las características propias de cada sistema que se estudie y de acuerdo con esto, su valor se tomará del valor proporcionado por el INSIVOHMEH.

Si se considera una recarga rápida para el banco de baterías, se elevaría el número de módulos solares con una elevación de costos; por otra parte, si se reducen los paneles, el banco de batería no será capaz de recargarse debidamente.

Por lo tanto, se considera un promedio de recarga de 3 (tres) días, se propone constante este valor para asegurar la confiabilidad en el sistema fotovoltaico y evitar la dependencia del tipo de estación que se presente en el año, ya sea estación seca (Noviembre, Abril) o estación lluviosa (Mayo, Octubre), luego se podrá definir el tiempo de recarga (TRc) como el producto del número de horas de luz solar por día (N h/día) y 3 días para recargar.

$$TRc = 3N \quad \text{hora} \quad (\text{ec. 5.9})$$

Para determinar la corriente de recarga, se obtendrá con base en la siguiente ecuación:

$$IRc = \frac{1.1 R.D.}{TRc} \quad \text{Amperios (D.C.)} \quad (\text{ec. 5.10})$$

Donde:

R.D. : régimen de descarga (AH)
 TRc. : tiempo de recarga (horas)
 IRc. : corriente de recarga (Amperios)

La aplicación de esta ecuación se justifica por el hecho de aparecer el factor 1.1: por medio de ésta, está reflejada la condición de no linealidad entre los regímenes de carga y descarga del banco de baterías.

R.P. = 503.46 mWh/cm² día (432 cal/cm² día)

Se podrá ahora determinar el régimen de recarga del banco (R.Rc), el cual tendrá su valor dado por la siguiente ecuación:

$$R.Rc. = I.Rc \times T.Rc \quad (\text{AH, D.C.}) \quad (\text{ecu. 5.11})$$

Donde:

I.Rc : corriente de recarga. (Amperios)
 T.Rc : tiempo de recarga. (horas)

5.7 ESTUDIO DEL REGULADOR/CARGADOR

El regulador/cargador es un dispositivo eléctrico para regular la potencia entregada: en este caso, de los módulos solares hacia el banco de baterías y el sistema de carga (y si lo hay, al inversor).

Esto es así, pues los módulos poseen variaciones en su corriente, y su voltaje cuando existen variaciones en la cantidad de luz solar, o bien debido a la demanda de potencia.

Se usa este dispositivo para proteger al banco de baterías y la carga cuando existan variaciones de radiación solar, pues el campo de módulos fotovoltaicos, está diseñado para trabajar en condiciones críticas de radiación, y cuando hay un buen nivel de radiación, el voltaje del sistema fotovoltaico se puede elevar mucho. Para la regulación de potencia, se pueden mencionar dos tipos de reguladores.

REGULADORES TIPO "A"

Estos son convertidores DC-AC, que debido a las variaciones de intensidad de radiación solar incidente en los paneles, están diseñados para operar con variaciones de voltaje en su entrada y mantener en su salida un nivel de voltaje constante. Como en todo proceso de operación eléctrico, existe una potencia involucrada en dicha operación que está representada por un incremento de voltaje de un 10% a un 20% en su entrada respecto de su salida.

Así, a variaciones de radiación solar, corresponderán variaciones de voltaje en la entrada de este tipo de reguladores, manteniendo una salida de voltaje constante y estable. Por ejemplo, puede poseer un voltaje de 100V en su entrada y en su salida tener un voltaje de 48 V; también se puede dar el proceso inverso. Estos reguladores poseen buena eficiencia.

REGULADORES TIPO "B"

En este tipo de reguladores, la regulación de potencia hacia la carga y el banco de baterías se puede llevar a cabo mediante la inserción regulada de resistencia de carga en el circuito de salida. Esto permite mantener un nivel de voltaje constante debido a las pérdidas que se dan en las resistencias en el nodo donde están conectadas.

Se puede decir entonces que, de acuerdo con incremento de radiación solar, se dará un incremento de potencia, aprovechable en su entrada. Luego, para evitar el incremento de voltaje en su salida debido al exeso de potencia, tal exeso es regulado por medio de las resistencias controladas por el regulador.

Estos reguladores, que se caracterizan por su pobre rendimiento, se ven compensados por su bajo costo.

La corriente de salida del regulador /cargador (I.S. R/C) es la que proporciona la expresión:

$$I.S. R/C = I_{crg} + I_{Rc} \quad (\text{ec. 5.12})$$

A continuación, se dará el significado de cada término:

I_{crg} : Corriente de carga (Amperios)
 I_{Rc} : Corriente de recarga (Amperios)

Para la evaluación de la ec. 5.12. se deberá considerar:

Que la corriente de carga (I_{org}) será la que demande el sistema de carga, cuando exista el "pico" en la demanda.

Una vez determinado el tipo de reguladores que se usará y según el sistema de carga que se estudie, se le asociará una eficiencia, y con base en el siguiente esquema, se definirá, posteriormente, la relación entre sus potencias de entrada y de salida. (Ver fig. 5.3)

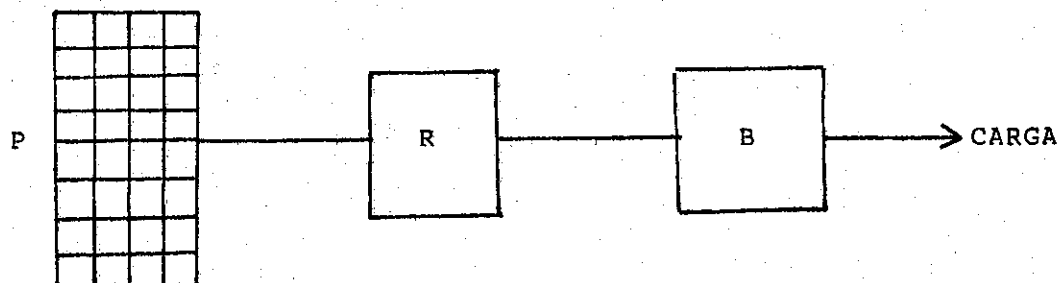


Fig. 5.3

Donde:

P : Distribución de los paneles solares
 R : Dispositivo regulador/cargador
 B : Banco de Baterías.

Carga : carga del sistema que se estudia.

Luego la expresión de la eficiencia (η_R) aplicada al regulador, se podrá escribir:

$$\eta_R = \frac{P.S.R.}{P.E.R.} \times 100\% \quad (\text{ec. 5.13})$$

El significado de cada término es:

η_R : Eficiencia del regulador (en %)
 P.S.R.: Potencia de salida del regulador (W o kW)
 P.E.R.: Potencia de entrada del regulador (W o kW)

Habrá que considerar que la potencia de salida del regulador (P.S.R.) equivale a la potencia entregada al banco y a la carga, que es el producto del nivel de voltaje del sistema (que es igual al nivel de voltaje a la salida), y la corriente del sistema I.S. R/c, ec. 5.12. Luego se podrá expresar lo descrito anteriormente, por medio de la ecuación:

$$P.S.R. = V.E.B. \times I.S. R/C \quad (\text{ec. 5.14})$$

Donde:

V.E.B. : voltaje de salida del banco (Voltios)
I.S. R/C : corriente de salida del cargador (Amperios)

Entonces, de la ec. 5.13, se obtendrá:

$$P.E.R. = \frac{P.S.R.}{\eta_R} \quad (\text{W o kW}) \quad (\text{ec. 5.15})$$

5.8 DISTRIBUCION DE LOS PANELES O MODULOS

En el tema anterior, se habrá determinado la potencia de entrada del regulador (P.E.R.), que para el sistema de módulos solares representa el nivel de potencia que deberán administrar. Se investigará, a continuación, la corriente que suministrará el sistema de paneles, el nivel de voltaje de salida. Esto se deducirá fácilmente de la fig. 5.3.

Habrá que observar que el nivel de voltaje de entrada del regulador (V.E.R.), será de acuerdo con la clasificación a la que pertenece.

Así el voltaje total de los paneles (V.T.P.) podrá expresarse como:

$$V.T.P. = V.E.R. \quad (\text{Voltios D.C.}) \quad (\text{ec. 5.16})$$

La corriente total de los paneles (I.T.P.), será:

$$I.T.P. = \frac{P.E.R.}{V.T.P.} \quad (\text{Amperios DC}) \quad (\text{ec. 5.17})$$

La potencia de entrada del regulador (P.E.R.) estará dada por la ec. 5.15 y el voltaje total de los paneles de la ec. 5.16.

5.8.1 METODO PARA OBTENER EL NUMERO DE PANELES EN SERIE

Para obtener el número de paneles en serie, se efectuará el cociente: voltaje total de los paneles y el voltaje de operación del módulo solar, que se obtuvo en el tema "Determinación de los valores de operación"

Expresando esto en una relación matemática, es:

$$N.P.S. = \frac{V.T.P.}{Vop} \quad \text{Paneles} \quad (\text{ec. 5.18})$$

Donde:

N.P.S. : Número de paneles en serie (Paneles)
 V.T.P. : Voltaje total de los paneles (Voltios)
 Vop : Voltaje de operación del panel (Voltios por panel)

5.8.2 METODO PARA OBTENER EL NUMERO DE FILAS EN PARALELO

Se obtendrá el número de filas en paralelo, al efectuar el cociente de la corriente total de los paneles y la corriente que proporcionará cada fila, que es la corriente de operación del módulo (ver tema "Determinación de los valores de operación").

Habrá que considerar que la corriente permanece constante cuando circula por dispositivos colocados en serie. En forma de ecuaci3n, se escribir :

$$N.F.P. = \frac{I.T.P.}{I_{op}} \quad \text{Filas} \quad (\text{ec. 5.19})$$

Donde:

N.F.P. : número de filas en paralelo (Filas)
 I.T.P. : corriente total de los paneles (Amperio D.C.)
 I_{op} : corriente de operaci3n del panel (Amperios por fila)

5.8.3 METODO PARA OBTENER EL NUMERO TOTAL DE PANELES

Luego el número total de paneles (N.T.P.) será el producto del número de paneles en serie (N.P.S.) y el número de filas en paralelo (N.F.P.)

$$N.T.P. = N.P.S. \times N.F.P. \quad (\text{Paneles}) \quad (\text{ec. 5.20})$$

Si se tienen accesibles las medidas físicas del m3dulo solar, se podrá determinar su  rea. Efectuando la multiplicaci3n del número total de paneles y el área de cada uno, se encontrará el área total de los paneles (A.T.P.), y se expresar  el resultado en metros cuadrados (m²), así:

$$A.T.P. = N.T.P. \times A_p \quad (m^2) \quad (\text{ec. 5.21})$$

Donde:

A.T.P. :  rea total de paneles (m²)
 N.T.P. : número total de paneles (paneles)
 A_p :  rea del panel (m² por panel)

CAPITULO 6INSTALACION Y PRUEBAS DE UN MODELO TIPICO

6.1 DISEÑO DE UN MODELO TIPICO

El sistema fotovoltaico que más se aplica aquí en Guatemala consiste de cuatro elementos básicos: un panel fotovoltaico de 20 a 60 W, una batería de plomo y ácido de ciclo profundo, de 105 A-H, un regulador de voltaje, con su controlador de carga, y la instalación de conductores o alambres y la carga que va a instalarse al sistema fotovoltaico que para un sistema económico rural puede ser: una TV/BN de 14", 3 lámparas de 12 V de alta eficiencia de 9 W y un radio de transistores pequeño.

La TV se usaría 4 horas, el radio 3 horas, y las lámparas 3 horas por la noche.

Este sistema es el más apropiado para el medio rural guatemalteco, en donde las casas tienen de uno a tres ambientes; también se puede aplicar en escuelas, clínicas, y pequeños negocios que están aislados de la red eléctrica.

El sistema fotovoltaico que se usó en el proyecto tiene un costo aproximado de \$ 900.00 dolares americanos incluido todo el equipo y su instalación.

6.1.1 PANEL FOTOVOLTAICO

El panel es lo que en realidad produce la electricidad para el sistema. El panel instalado en el proyecto es de 51 W, produce un voltaje de 16.9 voltios bajo condiciones de prueba y da un amperaje de 3.02 Amperios. Cuando el panel está conectado a la batería a través del regulador, produce aproximadamente 12.5 Voltios.

El panel utilizado es marca: KYOCERA, CORPORATION, hecho en Japón, con 15 años de garantía, modelo: LA361G51S.

6.1.2 LA BATERIA

La batería es un componente muy importante en el sistema, porque los usuarios quieren luz de noche cuando no hay sol. Entonces la batería actúa como un acumulador de electricidad, es decir, que el panel va cargando la batería durante el día y de esta los usuarios consumen la potencia de electricidad que necesitan en cualquier momento aunque no haya mucho sol. Aun cuando haya sol, si los usuarios no están consumiendo la electricidad, ésta sigue acumulandose en la batería.

Hay varios tipos de baterías: las baterías que se usan en los sistemas fotovoltaicos son del tipo de plomo y ácido con un voltaje de alrededor de 12 voltios.

Estas baterías de plomo y ácido están construidas de placas de plomo con un baño de ácido sulfúrico.

Hay baterías de plomo y ácido que aguantan la descarga completa, y otras que no. Las que pueden aguantar la descarga completa se usan en los autos eléctricos, en las industrias o en barcos y son bastante apropiadas para sistemas fotovoltaicos. Se le llaman baterías de "ciclo profundo". Las que se utilizan en los automóviles son las que no soportan descarga completa con mucha frecuencia. Estas baterías de automóvil no son tan buenas para el sistema fotovoltaico.

Para el sistema fotovoltaico del proyecto usamos una batería de 105 A-h, 12 VDC, marca DELTA, dos años de garantía, con bornes roscados y mariposas roscadas, conectores para cable calibre #12. Las compañías especifican la capacidad de sus baterías en términos de Amper-hora. Para saber la capacidad de la energía en Wh, se utiliza la siguiente fórmula:

Capacidad (Wh) = capacidad (Ampere-hora) x Voltaje

Capacidad (Wh) = 105 A-h x 12.5 Voltios

Capacidad (Wh) = 1.312.5 Wh

Esta batería puede almacenar 1.312.5 Wh como máximo. En este diseño, el máximo consumo diario (20% de la capacidad de la batería) es 20% de 1.312.5 Wh que es 262.5 Wh.

En los días lluviosos, la batería se descarga más, pero se dispone de aproximadamente cuatro días de reserva en la batería antes de una descarga completa. Para evitar la descarga completa y para conservar la vida de la batería, se debe restringir el uso de energía cuando está lloviendo.

6.1.3 CAJA DE CONTROL CON SU REGULADOR DE VOLTAJE

La caja de control tiene cinco partes con las funciones siguientes: 1) La caja tiene terminales que sirven como punto para conectar varios alambres a la batería, al panel y a los aparatos de una manera organizada. 2) La caja tiene un fusible que da protección contra sobrecargas, y en caso de un cortocircuito, el fusible se quema antes de quemar los conductores de la instalación. 3) Tiene además un indicador de voltaje con luz indicadora que indica el estado de carga que tiene la batería. (El voltaje de la batería es más alto cuando está cargado y más bajo cuando está descargado). 4) también tiene un diodo de bloqueo que elimina la posibilidad de que salga corriente de la batería hacia el panel durante la noche.

5) La caja está provista de un interruptor del panel porque el panel puede sobrecargar y eventualmente dañar la batería, si no hay consumo de energía durante varios días.

Se usó un control de carga de 8 Amperios, 12 VDC marca SCI, inc. modelo: PR/SC-ASC 12/8, de 1 año de garantía, con protección contra corriente inversa.

6.1.4 INSTALACION DE CONDUCTORES Y LAMPARAS

Se utilizan comúnmente lámparas fluorescentes de 9 W en el sistema: esta lámpara es muy eficiente, es decir, produce mucha luz con poca electricidad. La lámpara fluorescente produce tres veces más luz que la que produce un bombillo incandescente de los mismos vatios. Pero la lámpara fluorescente representa una inversión de 30 a 50 dólares.

En el proyecto se usaron 3 lámparas de 9 W, 12 VDC, capaz de operar en ambientes húmedos, de un año de garantía en el balastro.

Hay que instalar el conductor de un calibre que sea adecuado para que no haya una caída de voltaje significativo en el sistema. Un alambre largo y fino siempre sostiene una caída de voltaje más grande que uno corto y grueso.

Para el radio que consume 0.8 Amperios en una habitación que está a 25 metros de distancia de la caja de control. ¿Qué calibre de alambre sería el más adecuado?

La radio consume 0.8 A, pero como no hay datos de 0.8 A usamos 1 A. La tabla indica que el alambre #16 se puede llevar a 19 metros, que es menos de los 25 metros que necesitamos. El alambre #14 permite hasta 30 metros, lo que es ideal; por lo tanto, elegimos alambre #14 para mantener el nivel de voltaje ideal.

Se utilizaron 8 metros de cable paralelo SPT 2x12 AWG marca PHELPS-DODGE para conectar el panel al regulador cargador, para la batería y la caja de conexiones, y 40 metros de cable paralelo SPT 2x14 AWG marca PHELPS-DODGE de la caja de conexiones a las lámparas, y un tomacorriente.

Calibre del alambre

	#20	#18	#16	#14	#12
1.0	8	12	19	30	48
1.5	5	8	12	20	31
2.0	4	6	9	15	24
3.0	2	4	6	10	17
4.0	x	3	5	8	12
5.0	x	z	4	6	10

Largo máximo de alambre dúplex (metros)

x = no se recomienda

tabla 6.1 Tabla de conductores

6.2 SELECCION DEL SISTEMA Y EL USO DE APARATOS

Para seleccionar un sistema fotovoltaico hay dos consideraciones: la primera es la situación económica del cliente, es decir, cuánto dinero puede invertir en un sistema, y la segunda consideración es cuáles son los aparatos y el uso de éstos que desea el cliente. El precio del sistema varía de acuerdo con la capacidad en vatios que tiene el panel.

El usuario debe tomar una decisión equilibrando sus posibilidades económicas con sus requerimientos en cuanto a la capacidad en vatios horas diarios del sistema.

El usuario debe consumir diariamente el 20% de la capacidad que produce el panel. Esto asegura que no se descargue la batería, ni se sobrecargue.

Como calculamos el consumo de energía eléctrica en W vatios y la duración del uso diario en horas, multiplicamos la potencia de cada aparato por las horas de uso, que da como resultado el consumo de energía eléctrica de cada aparato en Wh; sumamos esto y encontramos el consumo total.

CONSUMO DE UNA CASA TIPICA DE FAMILIA

Aparato consumidor	Potencia	x	Horas	=	Energia
Lámparas Sala	9 W		3 h		27 Wh
Lámpara habitación	9 W		1 h		9 Wh
Lámpara de cocina	9 W		2 h		18 Wh
Radio	3 W		3 h		9 Wh
Televisión	15 W		4 h		60 Wh

CONSUMO TOTAL

129 Wh

En este caso, el consumo calculado cae un poco por debajo de la capacidad disponible del panel de 51 W; si el consumo fuera mayor a la capacidad del panel, la batería se descargaría, ocasionaría muchas molestias para la familia que utiliza dicho sistema. Hay dos opciones si el consumo que quiere el usuario es mayor que lo que puede dar el panel: el primero es que el usuario compre un sistema más grande. Si sus recursos económicos no se lo permiten, la segunda opción es eliminar un aparato o reducir el consumo de los aparatos. El usuario debe estar consciente del uso que puede dar el sistema.

Respecto a la batería, hay que usar una que tenga capacidad suficiente para que el usuario descargue solamente el 20% de su capacidad total, como máximo diario, si el usuario tiene recursos puede utilizar una batería de mayor capacidad. Con una batería más grande en capacidad, hay mayor reserva para los periodos en que haya mucho consumo de electricidad o haya poco sol.

6.3 INSTALACION DEL SISTEMA

La instalación del sistema sencillo se puede llevar a cabo en un solo día. Las principales herramientas que se necesitan son:

- Martillo para engrapar
- Desatornillador para montar interruptores y tomacorrientes.
- Pinzas para cortar alambre.
- Un Klinómetro para medir la inclinación
- Una brújula para orientar el panel.
- Un nivel para determinar la inclinación del panel.
- Un barreno con su respectiva broca para montar el panel en el techo, o en la base de un poste.
- Una llave ajustable para apretar los terminales de la batería.
- Un multitester para efectuar mediciones.

El panel se monta en el techo de la casa, pero si este es de paja habrá que utilizar un poste con base para montar aquí el panel.

Para la instalación de los paneles se recomienda ver el manual de instalación proporcionado por el fabricante para un mejor detalle sobre el montaje.

Este panel debe de estar orientado hacia el Sur (en el hemisferio Norte). Y con una inclinación que aproveche el sol todos los meses. Aquí en Guatemala se recomienda montar los paneles a un ángulo de 15 grados hacia el Sur.

Se debe ubicar el panel donde no le caigan sombras desde las 8:00 de la mañana hasta las 4:00 de la tarde. La sombra roba parte de la capacidad del panel.

Hay que fijar bien el panel al techo con tornillos y soportes de suficiente tamaño para facilitar la inclinación del mismo. Antes de fijarlo se conectan los alambres al panel y se pasan por un hoyo en el techo hasta la caja de control.

La caja de control y la batería se debería montar en un lugar de acceso conveniente y no muy lejos del panel. La batería debe estar colocada en un sitio seguro donde no jueguen los niños.

Hay que observar la polaridad de la batería y del panel, poniendo siempre positivo con positivo y negativo con negativo.

El proyecto se instaló en una casa modelo de dos ambientes de lámina, ubicada en el Departamento de Desarrollo del Ministerio de Energía y Minas en la 23 calle y Avenida Petapa Zona 12 de la Ciudad Capital; el tiempo de instalación y pruebas fue de seis horas, y aproximadamente una hora de instrucción en la operación y el manejo adecuado del equipo como también del mantenimiento requerido para el equipo.

Se hicieron mediciones de la radiación solar con un Pyranómetro marca DAYSTAR el día 29 de Mayo de 1996, y dio promedio de 1 kW/m², valor que es muy aceptable para proyectos con sistemas fotovoltaicos para que su funcionamiento sea eficiente.

En la instalación del panel solar, se utilizó un poste de madera de 3 metros de altura por 4 pulgadas de diámetro se busco el Sur con una brújula y usamos un Klinómetro marca MACKLANBURG-DUNCAN para medir una inclinación de 15 grados para mayor obtención de radiación solar.

Luego se instaló el regulador cargador, la batería sobre una base de madera para evitar su descarga prematura, y las 3 lámparas de 9 W cada una con sus respectivos interruptores marca bTicino, y un tomacorriente doble.

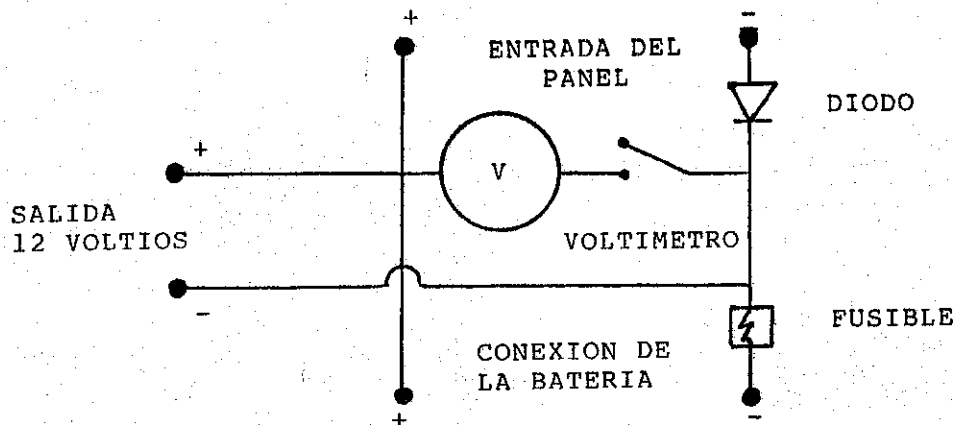
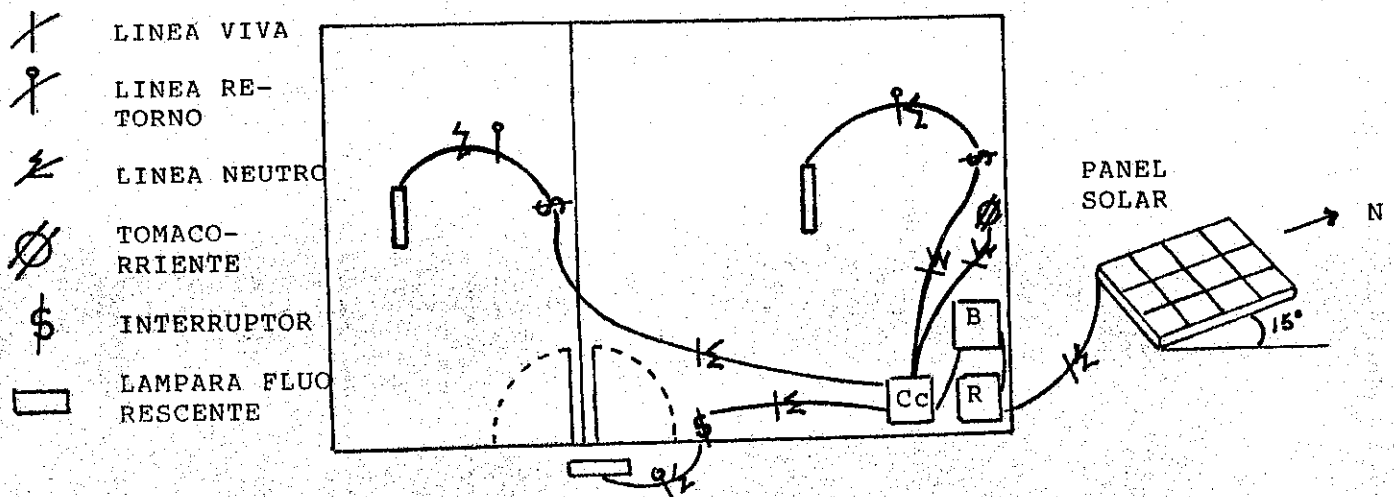
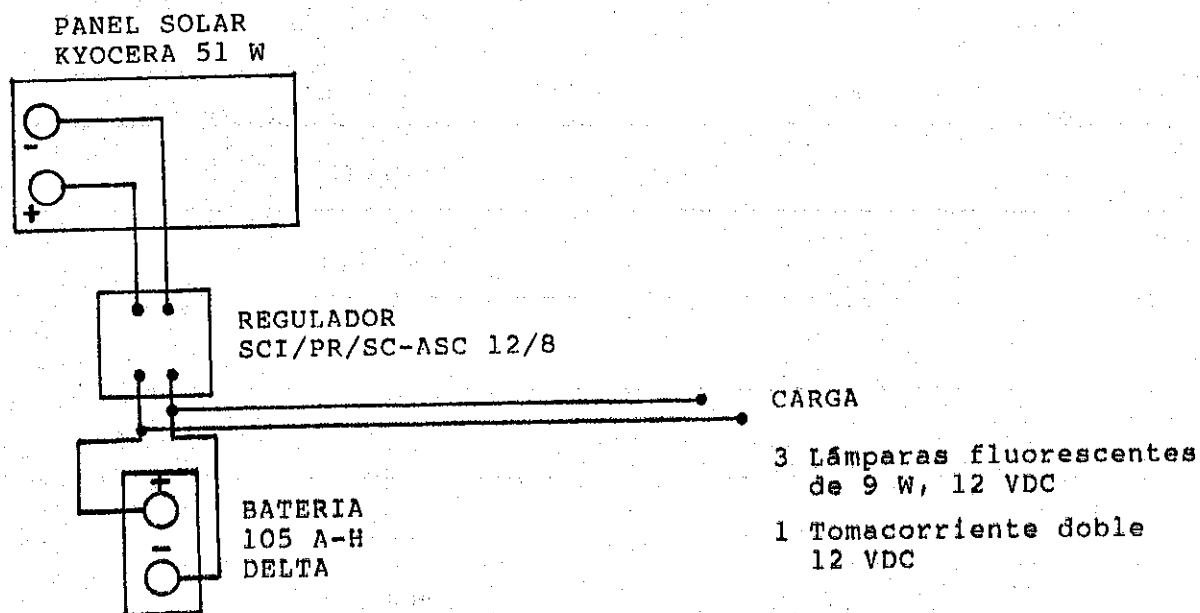


Fig. 6.2 Esquema eléctrico de la caja de control.



6.3 Esquema de la casa modelo y ubicación de accesorios.



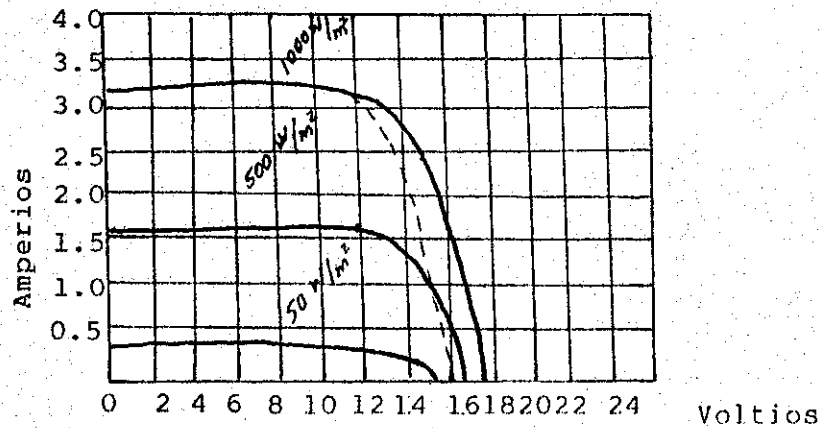
6.4 Diagrama eléctrico de conexiones.

ESPECIFICACIONES DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Potencia (típica +/- 10%)	51.00	W o vatios
Corriente (típica bajo carga)	2.90	Amperios
Tensión (típica bajo carga)	12.50	Voltios
Corriente (de cortocircuito)	3.02	Amperios
Tensión (de circuito abierto)	18.00	Voltios

Nota: las especificaciones se refieren a condiciones de prueba estándar de radiación de 1 kW/m^2 , y temperatura de las celdas de 25°C .

El rendimiento del panel solar se puede representar gráficamente con una curva de corriente contra voltaje.



Curva típica Amperaje-Voltaje de un panel solar

La curva indica el rendimiento del panel dependiendo de la irradiación del sol y la temperatura de las celdas. Estos dos factores influyen en la potencia real del panel. La energía que llega a la Tierra se puede medir en KWatts por metro cuadrado (kW/m^2). Con un sol fuerte en un mediodía despejado, la energía es de aproximadamente 1 kW/m^2 . Esta cantidad es más baja en la mañana y en la tarde o cuando hay nubes. El panel monocristalino puede captar un 15% de la energía. Es decir, al mediodía un panel del tamaño de 1 metro cuadrado rinde 150 W de potencia. Cuando se calienta, se produce menos voltaje. El panel convierte en electricidad la luz del sol y no el calor. Al contrario de lo que piensa mucha gente, el panel rinde más cuando está más frío.



GLOSARIO

ACUMULADOR: elemento de la instalación capaz de almacenar la energía eléctrica transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí en serie o en paralelo. Al contrario de las pilas comunes, el acumulador admite multitud de ciclos de carga/descarga.

CELDA SOLAR. CELDA FOTOVOLTAICA: elemento de la instalación en el que se verifica la transformación de la luz solar en energía eléctrica.

CENTRAL FOTOELECTRICA: conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO O INTENSIDAD DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO: intensidad de la corriente de un circuito cuando éste está cortocircuitado y sin cargas.

DIMENSIONAMIENTO: proceso por el cual se estima el tamaño de una instalación de energía solar fotovoltaica para atender unas necesidades determinadas con unas condiciones meteorológicas dadas.

EFEECTO FOTOVOLTAICO: conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

GENERADOR FOTOVOLTAICO: conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica necesarios para suministrar la energía a las distintas aplicaciones.

INVERSOR: convertidor continua-alterna; elemento capaz de transformar la corriente continua que suministran las baterías o el campo colector en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones.

MODULO FOTOVOLTAICO: es el conjunto formado por las distintas celdas fotovoltaicas, interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco en el resto. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.

POTENCIA PICO DE UN PANEL: potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto entre la tensión y la intensidad es máximo.

RADIACION SOLAR: cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinados.

REGULADOR: elemento de la instalación cuya misión es prevenir la sobrecarga de las baterías, una vez que hayan alcanzado un voltaje determinado. Además de esta misión, el regulador puede encargarse de prevenir la sobredescarga de las baterías y además proporcionar datos del estado de las mismas.

TENSION DE UN CIRCUITO ABIERTO: es la diferencia de potencial medida entre dos extremos de un circuito eléctrico, cuando éste está abierto y sin carga.

TENSION NOMINAL: diferencia de potencial específica, para la que se diseña un equipo o una instalación. Se le llama nominal, ya que la tensión puede variar por distintas circunstancias durante la operación.

VATIO PICO: unidad de potencia que hace referencia al producto de la tensión por la intensidad (potencia pico) del panel fotovoltaico.

ELECTRON DE VALENCIA: electrones en la orbita más exterior.

PYRANOMETRO: instrumento utilizado para medir la radiación solar.

SOLARIMETRO: nombre generalizado del pyranómetro, el cual mide la radiación solar global compuesta de la radiación solar directa y la radiación solar dispersa.

KLINOMETRO: aparato utilizado para medir la inclinación en un punto determinado. Su unidad son los grados sexagesimales.

DC/CORRIENTE DIRECTA: tipo de corriente eléctrica con polaridad constante. Es obtenida de las baterías, celdas solares u otras fuentes. Y utilizada regularmente en sistemas eléctricos para los automóviles.

AC/CORRIENTE ALTERNA: tipo de corriente eléctrica que tiene una polaridad cambiante. Es obtenida de plantas eléctricas y utilizada normalmente en casas y edificios conectados a una fuente de energía eléctrica.

VOLTIOS: término empleado cuando medimos la cantidad de potencial o presión eléctrica entre dos puntos en un circuito.

AMPERIOS: término usado cuando medimos la cantidad de corriente eléctrica que fluye a través de un circuito.

WATTS o VATIOS: término usado cuando medimos la cantidad de energía eléctrica, ya sea producido o usado en un circuito.

RF RADIO FRECUENCIA: transmisión de cualquier frecuencia de radiación de energía electromagnética, generalmente arriba de 150 MHZ.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de los sistemas fotovoltaicos se ve económicamente justificada en lugares remotos, en los cuales llevar la energía eléctrica por medios convencionales resulta demasiado caro.
2. Del total de energía consumida actualmente en Guatemala, el 55% corresponde a la leña, 36% a productos derivados del petróleo, y 8% a la electricidad; el resto a diversas fuentes (bagazo de caña de azúcar, cascarilla de café, alcohol etc.). Por estas razones, los sistemas fotovoltaicos son ideales en regiones rurales donde todavía no hay esperanza de obtener energía eléctrica por medios convencionales a largo plazo. Los sistemas fotovoltaicos son fáciles de instalar (en un día se puede instalar un sistema en una casa). No contaminan el medio ambiente, no producen ruido, y ayudan a que se evite la tala immoderada de árboles para la obtención de leña.
3. En cuanto a la factibilidad de instalación de los sistemas fotovoltaicos, ésta depende del nivel de radiación solar en el lugar de aplicación; para el caso de Guatemala, posee un buen nivel de radiación solar durante la mayoría del año; situación que hace factible la aplicación de este sistema de generación en el país.
4. En la mayoría de las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos, los aparatos, que se conectan a éstos, funcionan con niveles de voltaje directo (VDC), y así obtener la mayor cantidad de energía de los paneles solares.
5. No siempre los aparatos que se conectaran a los sistemas fotovoltaicos trabajan con voltaje directo, en usos domésticos, industria agropecuaria y otras; por eso requiere que la energía eléctrica sea en corriente alterna (VAC). El uso de inversores (DC-AC) facilita esta transformación.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario hacer conciencia a los usuarios de las limitaciones que existen en el uso de sistemas fotovoltaicos, y a que depende de la carga de las baterías, de la carga instalada (equipos a conectar), de la radiación solar en el lugar, época y año, y del tiempo de uso de los equipos.
2. Es necesario el mantenimiento, aunque sea mínimo, tanto de las baterías, como de los paneles solares, y conexiones, para que el equipo funcione óptimamente. Entre el mantenimiento preventivo recomendado, está: la limpieza con agua o cualquier líquido usado para limpiar ventanas con el cual limpiaremos la cara frontal del panel solar. Apretar y revisar todas las conexiones en todos los accesorios. Revisión de las baterías y el estado de carga de cada una de ellas. Revisión del estado de funcionamiento del regulador-cargador y del inversor.
3. Se debe incentivar al usuario en mantener una reserva económica o ahorro a largo plazo, para cuando haya necesidad de remplazar las baterías y las lámparas.
4. Es necesario hacer del conocimiento de los usuarios que este sistema es mucho más barato a largo plazo en lugares remotos donde no hay facilidad de introducción de energía eléctrica convencional, y además, que no contamina el medio ambiente, no produce ruido, ocupa poco espacio y su mantenimiento es mínimo.
5. En la instalación de sistemas fotovoltaicos, se recomienda una inclinación de 15 grados en las celdas solares para una mejor absorción de radiación solar.
6. Además, es necesario evitar cualquier obstáculo como sombras de ramas de árboles, edificios etc., que pudieran minimizar la absorción de radiación al panel solar.

BIBLIOGRAFIA

1. Departamento técnico de la división de estado sólido de RCA: circuitos de potencia de estado sólido. Editorial Arbó, S.A.C. ci. Buenos Aires, Argentina:1975.
2. Electronic experimenter's handbook. Ziff-Davis Publishing. U.S.A.: 1976.
3. HARDENER, John D. Jr. Power semiconductor applications. Corporated Research and Development. General Electric Company. U.S.A.: 1972.
5. MILLMAN, Jacob. Electrónica integrada. Hispano Europea. Madrid:1976.
6. MURILLO DE ESCOBAR, Ethelvina. Celdas solares fotovoltaicas. curso seminario de energía solar. Departamento de Física de la Universidad de El Salvador: 1983.
7. SERRANO MARTINEZ, Francisco. Manuales de energía renovables. Secretara General de la Energía y Recursos Minerales. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía. s.l.i., s.f.
8. SUTTON, George W. Direct energy conversion. Mc Graw Hill. U.S.A.: 1968.
9. DEL TORO, Vincent. Electromechanical devices for energy conversion and control system. Prentice hall, Inc. U.S.A.: 1968.
10. Seminario taller aplicaciones de celdas fotovoltaicas. Departamento de Física de la Universidad de El Salvador.: 1985.
11. VALLE, Victor O. Características de la radiación solar y su aprovechamiento energético. Sección de Ingeniería. Solar. s.l.i. 1982.
12. WEBER, Samuel. Circuits for electronics engineers. McGraw Hill- Inc. U.S.a.:1972.