

6
2ej^o



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**ABASTECIMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA A UNA
COMUNIDAD RURAL, POR MEDIO DE UNA
PLANTA FOTOVOLTAICA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

MARCO ANTONIO CERON CERON

CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO

MARZO 1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

Prólogo	1
Introducción	3
CAPITULO I.- FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA, APLICADAS A UNA COMUNIDAD RURAL	
Introducción.....	4
1.1. Recursos energéticos.....	5
1.1.1. Colector solar.....	8
1.1.1.a. Factibilidad económica del calentador solar.....	10
1.1.2. Colector concéntrico.....	11
1.1.3. Costo de la generación de electricidad mediante conversión fototérmica.....	17
1.2. Digestores. Introducción.....	18
1.2.1. Características del biogás.....	21
1.2.2. ¿Qué son los digestores?.....	23
1.3. Energía eólica.....	29
1.4. ¿Porqué celdas fotovoltaicas?.....	37
CAPITULO II.- LA FUENTE SOLAR.....	
2.1. Conceptos básicos.....	42
2.2. La constante solar.....	42
2.3. Distribución geográfica de la radiación solar... ..	44
2.4. La estructura de la atmósfera.....	47
2.5. La influencia de la atmósfera y la superficie terrestre en la climatología.....	47
2.6. Medida de la radiación solar en la superficie de la tierra.....	49
2.7. Características direccionales de la radiación solar.....	51
2.8. Sensores termoelectricos.....	53
2.9. Definición de ángulos de apertura.....	56
2.10. Calibración de instrumentos.....	56

2.11	Características comunes de los instrumentos.....	59
2.12	Disponibilidad de energía solar.....	59
	CAPITULO III.- FOTOCELIDAS.....	65
3.1.	Historia.....	65
3.2.	Características.....	65
3.3.	Funcionamiento.....	73
3.4.	Celdas solares de silicio: Estructura y factores que limitan su rendimiento.....	84
	CAPITULO IV.- TIPOS DE CELDAS Y SU TECNOLOGIA	
	CONSTRUCCION.....	91
4.1.	Componentes del sistema.....	100
4.2.	Pánel fotovoltaico.....	100
4.3.	Baterías.....	107
4.4.	Reguladores.....	115
4.5.	Inversores.....	120
4.6.	Cableado eléctrico.....	126
4.7.	Algunas aplicaciones de sistemas fotovoltaicos.....	128
	CAPITULO V.- SISTEMAS FOTOVOLTAICOS APLICADOS A UNA POBLACION RURAL.....	130
5.1.	Demanda de energía eléctrica requerida por la población.....	130
5.2.	Disponibilidad de energía solar en el lugar.....	135
5.3.	Diseño de la planta.....	143
5.4.	Procedimiento de cálculo preliminar.....	149
5.5.	Almacenamiento de energía.....	156
5.6.	Estudio económico del sistema.....	160
	CONCLUSIONES.....	171
	BIBLIOGRAFIA.....	172

P R O L O G O

El propósito de esta tesis es fomentar el uso de la energía solar, (en particular, la fotovoltaica) para la generación de energía eléctrica a pequeña y mediana escala (individual o colectivamente).

El Sol es el mayor reactor termonuclear de nuestro sistema, es una fuente de energía renovable, ya que se le ha calculado una vida entre 10 a 15 mil millones de años.

La importancia que puede adquirir en México la energía solar se mide por ejemplo en 2 partes: La primera es que México es un país en el cual incide gran cantidad de energía solar, ocupando el norte de la República (Sonora y Chihuahua) el primer lugar en radiación solar.

La segunda, es que en el país existen sin electrificar cerca de 80,000 localidades con población que va de 1 a 500 habitantes por cada región. El suministro de energía "comercial" a estas áreas, resulta costosa debido a que están mal comunicadas y sin infraestructura. El hallarse alejadas de las líneas de transmisión, ocasiona elevadas inversiones en instalaciones. Lo anterior, aunado a los bajos consumos -- que habría en estas zonas, constituye una carga financiera para el Estado. Sin embargo, los aspectos sociales hacen necesario dotar de energía a muchas áreas del país que no la tienen.

La investigación en el campo del uso de la energía solar es única en ciertos aspectos. Por ejemplo, existen diferentes ciencias y ramas de la Ingeniería como son la Física, la Química, la Meteorología, la Astronomía, la Ingeniería Química, la Ingeniería Mecánica e Ingeniería Eléctrica, mismas

que abarcan el estudio en esta área.

Por último, sabemos que donde hay agua y energía (eléctrica, mecánica, etcétera), puede haber todo lo indispensable para el desarrollo individual o colectivo en una comunidad y por lo tanto evitar la migración de personas a las grandes ciudades, (en el caso de la Ciudad de México, es de 800,000 al año).

I N T R O D U C C I O N

La energía solar tiene grandes cualidades: Es una fuente - abundante, imperecedera, no contaminante y gratuita. Tiene gran variedad de uso, desde doméstico hasta industrial, y - desde grandes plantas generadoras hasta pequeñas estaciones remotas. Pero cuenta con grandes inconvenientes: Es dispersa, lo que exige grandes superficies de colección con su correspondiente costo de materiales y su carácter periódico en cuanto a disponibilidad de hace necesario sistemas combinados con otras fuentes o costosos sistemas de almacenamiento.

Sin duda, el uso de la energía solar todavía significa un gran desafío a la inventiva de los científicos y tecnólogos.

Las cualidades y los inconvenientes antes descritos, hacen que exista gran variedad de usos de la energía a pequeña y mediana escala.

La utilización de los sistemas solares fotovoltaicos en el aspecto rural, cubre 2 áreas importantes. Uno de beneficio social y otro de servicios auxiliares profesionales. Ante la carencia del sector eléctrico en el medio rural mexicano, se contempla la imperiosa necesidad de buscar alternativas energéticas que puedan desarrollarse confiablemente. Los sistemas fotovoltaicos encuentran en esta problemática la solución al aislamiento de estas comunidades.

C A P I T U L O I

FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA APLICADAS A UNA COMUNIDAD RURAL.

INTRODUCCION.

El 53% del territorio nacional (103 millones de hectáreas) correspondientes a ejidos y comunidades del país, enfrentan una problemática muy compleja para su desarrollo. Esta situación ocasiona carencias a cerca de 8 millones de indígenas, muchos de los cuales carecen de tierra para cultivar o de alguna alternativa de desarrollo.

Algunas de las aplicaciones más importantes de la energía solar se puede llevar al medio rural, debido a sus tecnologías relativamente simples (esto se refiere a que hay equipos muy sofisticados y otros muy sencillos), pues gran parte de ellos son de autoconstrucción y su implantación podría ayudar a solucionar algunos problemas importantes, tales como:

- A) Calentamiento de agua para uso de baños, digestores de retano (para mantener temperatura entre 25°C y 35°C), cocinado, etc.
- B) Calentamiento de aire para secado de granos, frutas, chiles, madera, pescado, etc.
- C) Refrigeración solar para la conservación de alimentos.
- D) Cocinas solares para guisado de alimentos.
- E) Bombas solares para irrigación de tierra y alimentación

de agua a pequeñas comunidades.

F) Desalación de agua de mar o salobre existente en el subsuelo.

En general, obtener energía térmica-mecánica-eléctrica o directamente energía eléctrica para satisfacer sus necesidades principales.

1.1. RECURSOS ENERGETICOS

La energía proveniente del sol y sus diferentes métodos para transformarla en energía útil (fototérmica, fotovoltaica, biomas, eólica, etc.), presentan hoy en día, las mejores posibilidades de desarrollo en los planes del tercer mundo.

La Fig. 1.1. muestra la captación de la radiación solar en sus diversas formas, y los métodos para transformarla en energía eléctrica.

Ahora se mostrarán cada una de estas tecnologías para su aprovechamiento.

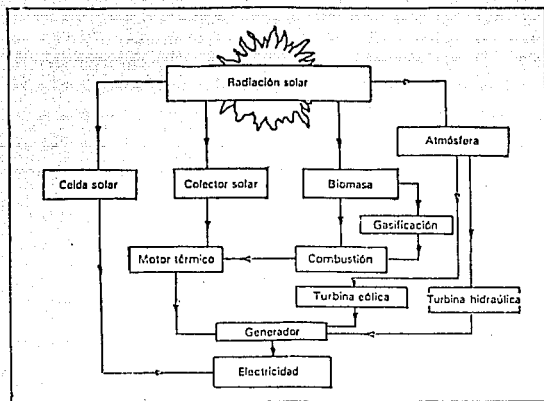


Figura 1.1 La Radiación Solar y distintos métodos para transformarla en Energía Eléctrica.

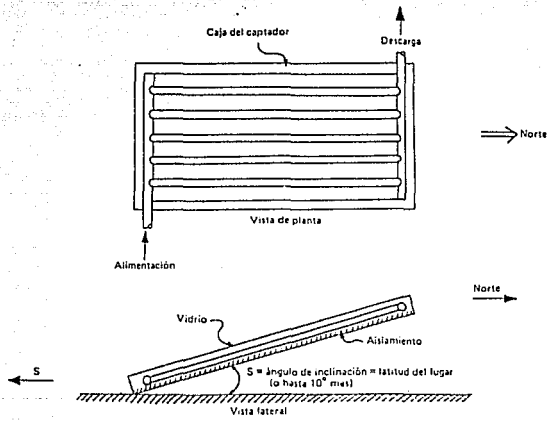


Figura 1.2 Colector Solar plano.

1.1.1. COLECTOR SOLAR.

Denominado también como sistema fototérmico, transforma la radiación solar absorbida en calor, que puede ser utilizado directamente o convertido en energía mecánica y eléctrica.

Se dividen en planos y concéntricos. Los primeros son aplicaciones de baja temperatura, es decir, para obtener temperaturas de trabajo de menos de 100°C, cuyas aplicaciones serían: calentadores de agua de uso doméstico, refrigeradores solares, secadores de granos y sistemas de acondicionamiento ambiental. Estos colectores tienen una posición invariante y al igual que los captadores concéntricos tienen 4 elementos principales:

- Cubierta transparente (vidrio o plástico).
- Placa absorbente (cobre, fierro o aluminio).
- Fluido de trabajo (agua, aceite o aire).
- Aislante (lana de fibra de vidrio).

En la Fig. 1.2 se muestra un colector solar plano.

Las recomendaciones para la instalación de colectores planos se muestran a continuación.

- Anclar perfectamente el equipo con tanques y tirantes contra el viento y zona sísmica.
- Asegurarse de no afectar la impermeabilización de la azotea (en caso de que en este lugar estuviese el colector).

- Estudiar detenidamente el arreglo hidráulico de los captadores.
- Prever conexiones de drenaje para vaciar el fluido de trabajo.
- Vigilar la estética de la instalación.
- Los paneles deben ser localizados para recibir la mayor cantidad de sol posible, por lo que se debe tener cuidado de que no estén sombreados por lo menos de 9 a.m. a 4 p.m., debiendo tomar en cuenta la proyección de las sombras en cada época del año.
- La orientación de los captadores deberán ser hacia el sur con desviación no mayores de 15° al este u oeste.
- La inclinación deberá ser la de la latitud del lugar, pero tomando en cuenta las épocas del año, hay que variar la inclinación en más o menos 10° (tolerancia).
- Se deben aislar las líneas de agua o aceite caliente - del captador al tanque térmico, para evitar grandes pérdidas de calor.
- Tomar en cuenta la altura de los tanques térmicos, la presión de la red del fluido de trabajo (aceite, aire, agua o la presión de sistemas mecánicos o hidroneumático según sea el caso, para evitar fugas o mal funcionamiento en el equipo.
- Para el funcionamiento del termosifón:
 - . No se puede colocar el tanque abajo del colector,
 - . Las tuberías horizontales deberán tener una ligera inclinación, al menos 3mm por metro hacia los puntos

altos,

- . El diámetro de los tubos debe permitir la circulación sin problemas fuertes de fricción.

Por lo que a mantenimiento se refiere, el principal problema de los equipos, se refiere a la limpieza del vidrio o material que haga el efecto de invernadero, por lo que se recomienda dejar un grifo en la parte baja del sistema para tomar agua y limpiarlo.

I.I.I.a FACTIBILIDAD ECONOMICA DEL CALENTAMIENTO SOLAR.

El calentamiento solar de agua, así como de aire para usos industriales y para calefacción, son factibles técnicamente. Consideraciones de índole económico gobiernan la decisión de adoptarlo o rechazarlo. Las comparaciones económicas -- suelen hacerse entre el costo inicial del sistema solar y el del combustible, más el mantenimiento de un sistema convencional.

Con los costos actuales del diesel (\$650 pesos/M3-1978, --- \$1105 pesos/M3-1985) y de gas LP (\$2.20 pesos/Kg.-1978, --- \$15.40 pesos/Kg.-1985), se calcula el costo de Kw-h térmico en 8 centavos (1978), 13.6 centavos (1985) para el diesel y en 18 centavos (1978), 126 centavos (1985) para el gas LP. Dado que el servicio mínimo que se espera de un calentador solar de agua es de 40°C, en 200 litros de capacidad cada día (aproximadamente 6Kwh-día) entonces debe compararse el costo inicial de un calentador solar, de unos \$8,600 pesos (1978) con el costo del combustible anterior más el de mantenimiento, que se ha calculado en \$3,320 pesos por año --- (1978) en un calentador diesel, y en \$770 pesos por año --- (1978) en calentadores de gas. Estas cifras parecen ser representativas de los costos actuales del mercado nacional.

La comparación entre los sistemas solar, de gas y diesel, se hacen en la forma convencional de "vapor presente", empleando un factor de inflación del precio del combustible de 10% por año y un valor del dinero en el tiempo de 20% -- por año. La eficacia de un sistema diesel no suele ser inferior a 75%, mientras que se ha encontrado que un calentador de gas de depósito, de operación automática, suele tener eficacia de 40% o menores.

Finalmente, en virtud del costo de mantenimiento, la operación del sistema de gas es mejor que la del diesel. Además un calentador solar se paga a sí mismo en no menos de 8 --- años, comparado con el gas. Los calentadores solares son la mejor opción a plazos mayores de 4 o 5 años (la vida útil de un calentador solar puede rebasar los 40 años).

1.1.2. COLECTOR CONCENTRICO.

Los concentradores son dispositivos en los que se obtiene alta densidad de energía sobre un absorbedor de la radiación concentrada, suficiente para lograr temperaturas mayores de 200°C, pudiéndose llegar hasta 3800°C. Para que los concentradores tengan buena eficiencia, es necesario que requieran de un mecanismo para seguir el movimiento virtual del Sol.

Existen diferentes métodos para seguir al Sol:

- A) Sistemas a base de computadoras de mando central que siguen un programa fijo debido a que el movimiento del Sol es perfectamente pronosticable (15°/hora).
- B) Sistemas a base de sensores electrónicos ligados a servomecanismos usualmente a base de celdas fotovoltaicas.

C) Sistemas a base de expansión de gases con efecto peris--
táltico invertido; estos sistemas son autónomos pues tra-
bajan con energía solar.

D) Sistemas a base de efectos bimetálicos.

Ventaja del empleo de concentradores:

- 1.- La cantidad de energía colectada por unidad de área sobre la superficie de absorción se aumenta, con lo cual se pueden alcanzar temperaturas aprovechables en algún ciclo termodinámico o en dispositivos termoeléctricos, magnetohidrodinámicos u otros.
- 2.- Reduciendo las pérdidas de calor al utilizar un absorbedor de menos área no sólo se mejoran las eficiencias térmicas sino que también se reducen efectos transitorios, ya que la masa térmica es mucho más pequeña que en colectores planos.

Principales desventajas de los concentradores:

- 1.- Trabajan sólo con la componente directa de la radiación solar. El criterio de selección de estos sistemas debe incluir características geográficas, quedando restringida su utilización a lugares de alta insolación.
- 2.- La calidad óptica de la superficie reflectora, requiere principalmente mantenimiento, y protección contra la intemperie para periodos de exposición prolongados.

Una aplicación importante de concentradores en países desarrollados o en vías de desarrollo sería en los procesos industriales, ya que las necesidades de calentamiento en dichos procesos, operando a temperaturas menores de 100°C, es

sólo de un 5% correspondiendo al restante a mayores temperaturas, por lo que un impacto significativo del empleo de energía solar en este sector sería con captadores de enfoque.

Tipo de concentradores.

- Temperatura de operación (menor o mayor de 100°C).
- Exactitud en el seguimiento aparente del Sol.
- Tipo de seguimiento que puede ser de un sólo eje o biaxial.

Conforme a estas características, se le destina el uso a los concentradores como podrían ser los siguientes; principalmente en una comunidad rural:

- Abastecimiento de energía eléctrica a una comunidad rural por medio de una planta fototérmica (Fig. 1.3.). Los lugares idóneos son la parte norte del país por contar con alta insolación, poca nubosidad principalmente.
- Abastecimiento de agua potable (Fig. 1.4). Por medio del proceso fototérmico se obtendría agua del subsuelo. Aproximadamente la mitad del agua potable del mundo se encuentra bajo tierra, a menos de 800m. de profundidad. Estos niveles son muy accesibles mediante bombas operadas con energía solar.
- Calentamiento de agua a más de 100°C, para cocinar. (Fig. 1.5).
- Tratamiento térmico de metales en el orden de miles de grados centígrados, esto para su uso industrial.

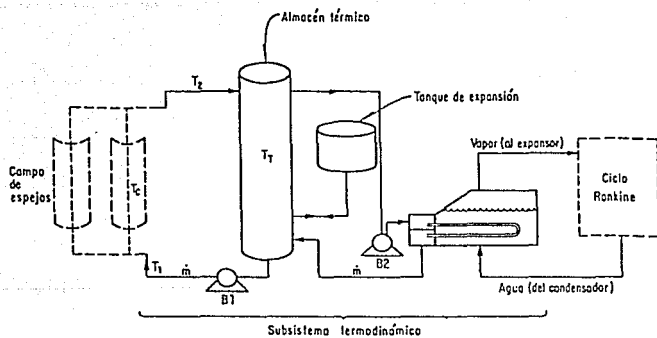
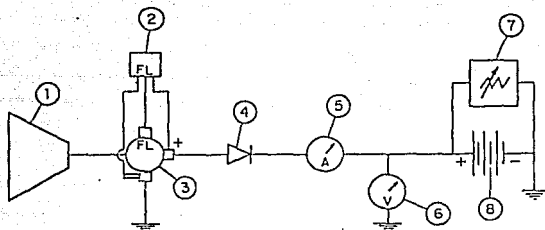


Figura 1.3 Planta experimental solar de Ciudad Universitaria.



1. Turbina

2. Regulador de Voltaje (FL=campo)

3. Alternador

4. Rectificador

5. Amperímetro

6. Voltímetro

7. Resistencia Variable

8. Banco de Acumuladores

Figura 1.4 Circuito utilizado para la generación de electricidad

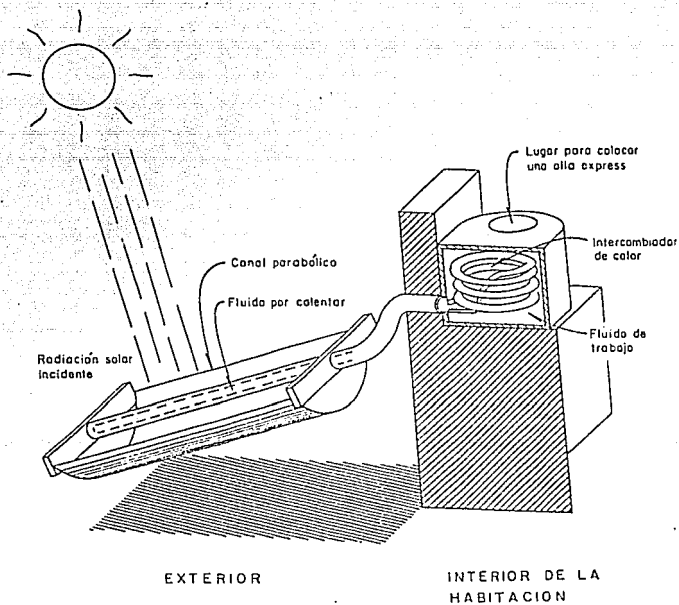


Figura 1.5 Calentamiento de agua a más de 100°C.

1.1.3. COSTO DE LA GENERACION DE ELECTRICIDAD MEDIANTE CONVERSION FOTOTERMICA.

El principal argumento en contra de la generación de electricidad por transformación fototérmica de la energía solar es un alto costo inicial. Existen 2 condiciones para optar por la generación de electricidad en aparatos solares.

La primera condición sería: cuando comiencen a agotarse las fuentes tradicionales y no quede más recurso que utilizar la energía solar, la nuclear y otras. Habrá buena oportunidad para la energía solar en la forma de pequeñas centrales, del orden de 1 a 5 MWe que suministren energía eléctrica a pequeñas poblaciones en las zonas de alta insolación.

La segunda, es que México es un país de alta insolación, y esto hace que compita la generación de electricidad por transformación fototérmica de la energía solar, con un motor-generator diesel o con la electrificación rural.

En las Figs. 1.6 y 1.7, se muestra el costo de la generación por Kw (valores del '78), que tendría la generación de electricidad en un poblado pequeño y apartado a unos 50 Km. de una línea principal de transmisión eléctrica y unos 200 Km. del centro de abastecimiento de combustible.

Para la insolación anual de precios de materiales, equipo y salarios, 7% anual.

Para la escalación anual de precios de combustible: 10%.

Para la vida útil (vida económica) en el ciclo de servicio, se consideró:

- | | |
|-----------------|---------|
| - Planta diesel | 10 años |
| - Planta solar | 20 años |

- Líneas de transmisión	30 años
- Planta termoeléctrica	30 años.
Gastos de mantenimiento:	
- Planta de diesel	20% anual/inversión.
- Planta solar	2% anual/inversión.
- Operación %	6 horas/día durante todo el año.
- Capacidad de la planta	35 Kw.

La energía solar será competitiva, desde el punto de vista del costo total a medida en que se incrementen los precios de los combustibles.

1.2. DIGESTORES.

INTRODUCCION.

El abastecimiento de energéticos comerciales como la electricidad, Keroseno, gas natural o licuado, y otros, al medio rural, tiene grandes restricciones, debido fundamentalmente al aislamiento, dispersión, falta de vías de comunicación, etc., de muchas de las comunicaciones rurales.

Una de las soluciones capaces de resolver en parte esta situación está en los digestores, que pueden operar a partir de casi toda materia orgánica, especialmente residuos agrícolas y basuras, así como de desechos animales y humanos. Por medio de este proceso se obtiene gas, combustible y --

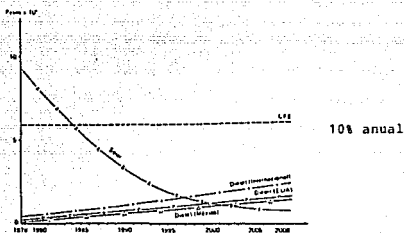


Figura 1.6

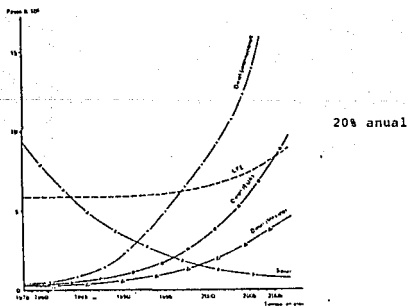


Figura 1.7 Costo de generación de energía eléctrica por KW.

fertilizantes, resolviendo al mismo tiempo serios problemas ambientales al convertir desechos que hacen proliferar larvas y moscos, en recursos útiles.

Por otra parte, estas instalaciones tienen la ventaja de -- adaptarse a las condiciones del medio rural, pudiendo ser -- sumamente sencillo en su construcción y mantenimiento.

Son bastante y variados los beneficios que se pueden obtener de uno de los digestores:

- 1.- Producen biogas, el cual puede ser utilizado directamente como combustible, para iluminación, calefacción, para hacer funcionar un motor pequeño (bomba de agua), etc.
- 2.- Los efluentes fermentados son excelentes como material abonero.
- 3.- La fermentación a temperaturas elevadas hace al excremento un complemento alimenticio para animales.
- 4.- Restringen la diseminación de parásitos.
- 5.- Economiza combustible.
- 6.- Ahorra mano de obra especializada.
- 7.- Ahorra leña y hierba que están desapareciendo.
- 8.- Reduce costos para los miembros de una comunidad rural al producir combustible y fertilizantes baratos.
- 9.- Alivia el trabajo de las mujeres, ya que reduce el tiempo de cocción de los alimentos.
- 10.- Promueve la mecanización en zonas rurales.

Los costos de construcción de los digestores son bastante aceptables y prontamente recuperables, lo que los hace que su uso deba ser intensiva y extensiva.

1.2.1. CARACTERISTICAS DEL BIOGAS.

El biogas es la mezcla de gases que se produce durante la fermentación anaeróbica (sin aire). Y está compuesto de la siguiente manera:

METANO	CH ₄	50-70 %
ANHIDRIDO CARBONICO	CO ₂	27 %
NITROGENO	N ₂	0.5 %
HIDROGENO	H ₂	1.0 %
MONOXIDO DE CARBONO	CO	0.1 %
OXIGENO	O ₂	0.1 %
ACIDO SULFIDRICO	H ₂ S	Trazas.

Lo óptimo sería una mezcla purificada, a fin de eliminar el CO₂ y el H₂S, principalmente al extraer el CO₂ aumenta el contenido energético por unidad de volumen, y éste se hace al burbujear el gas a través de agua, y al eliminar el H₂S se prescinde de los factores corrosivos que afectaría las instalaciones como son líneas de captación, conducción y almacenamiento de gas que generalmente son metálicos. Para eliminar el H₂S se le pasa a través de un tubo que contenga óxido férrico.

Con una concentración de metano (hidrocarburo) cercana al 70%, ésta nos daría un poder calorífico aproximado de --- 5780-6230 Kcal/m³ ó 1000 BTU/FT³).

El peso del metano licuado es de 350 g/l. Ahora bien, el poder calorífico que presenta el biogas permite que éste-

pueda ser utilizado en diversas actividades donde se requiere energía:

- A) Para cocinar. Una parrilla con el surtidor bien ajustado, nos da una flama azul, exenta de humo; alcanza la temperatura de 800-850°C. "Para poder prolongar el periodo de cocinar, algunos consumidores agregan hasta un 30% de aire de gas".
- B) Iluminación. Una lámpara que normalmente utiliza gas butano, puede ser adaptada a biogas y dar un buen rendimiento. La luz que produce éste tipo de lámparas adaptadas es de menor intensidad y brillantes, sin embargo, es una iluminación aceptable. Para una lámpara con una intensidad de 100 bujías se requiere un consumo aproximadamente de 1.1m³ de gas hora. La combustión es mejor con una presión de gas alta, pero no da una luz brillante y pareja, éste conectada a una lata de petróleo o aceite - solvente para enriquecer el gas que pasa por ella mejora.
- C) Calor. La obtención de calor se puede hacer directamente a partir de una flama de biogas incandescente. (inciso A).
- D) Fuerza Motriz. En el caso de motores diesel, lo que se hace es operarlos en forma dual (85% biogas, 15% diesel) para prevenir daños en los inyectores.

A continuación se muestra el consumo aproximadamente de biogas, según la forma como se utiliza.

Cocina (por persona al día)	0.35-0.45m ³
Para operar lámparas de gas (100 bujías intensidad)	1.1 m ³ /hora

Para operar motores de gasolina.	0.45m ³ /HP/hora
Para producir electricidad	0.6m ³ /KWh de electricidad
En lugar de gasolina	1.7m ³ /lt.
Refrigerador	2.7 m ³ /dfa
Alumbrado	0.023-0.028M ³ /dfa
Motor	0.5 m ³ /HP/hora
Estufa	0.39-0.52m ³ /hora

Equipo regulador para trabajar a presión de biogas de 120 a 180 mm. de columna de agua.

MOTOR	CONSUMO DE GAS (m ³ /hora)	GENERADOR MONOFÁSICO . POTENCIA WATTS. 60HZ
POTENCIA A 3600 rpm		
2.1.C.V.	0.92	900W-110 a 220V.Cos 1
5.5.C.V.	2.24	2.500W-110a220V 60HZ Cos=1
9.0.C.V.	3.16	4.5KVA-110/22-V 60HZ Cos=0.8

1.2.2. ¿QUE SON LOS DIGESTORES?

Un digestor de desechos orgánicos consta de un sistema cerrado herméticamente, dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar, mezclado con agua.

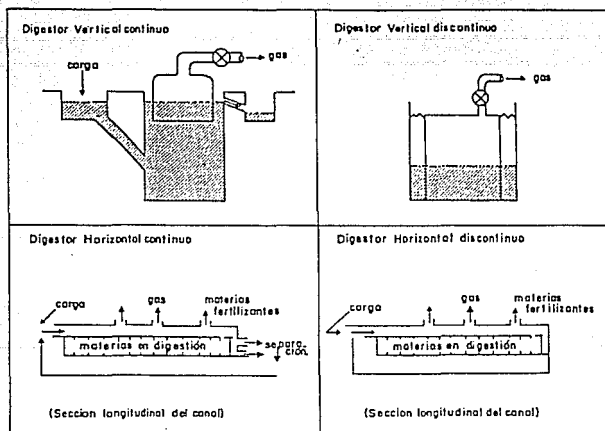


Figura 1.8 Distintos tipos de digestores.

Puede estar equipado con un dispositivo para captar y almacenar el biogás; y otros para cargar y descargar la materia prima.

La geometría del digestor es importante para optimizar el proceso técnico constructivo así como evitar costos de producción.

Los principales factores que determinan la forma y dimensiones de un digestor son:

- A) Necesidades a cubrir con la utilización de biogas o lodos digeridos (iluminación, cocina, calentamiento de agua, generación de electricidad, fertilizantes, etc.).
- B) Disponibilidad de materia prima para la carga.
- C) Técnicas y materiales adecuados para su construcción (ferrocemento, lámina de fierro, fibra de vidrio, mampostería, tabique rojo cocido, piedra bola, etc.).
- D) Clima del lugar (caluroso, templado, frío o extremoso).
- E) Topografía y tipo de suelo (montañosa, ladera, planicie, etc.).

En general, hay cuatro tipos de digestores, esto es en cuanto a la forma del proceso empleado.

Atendiendo al tipo de procesos se encuentran 2. Los de carga continua (carga periódica de materia prima) y los de carga discontinua (una sola vez por cada período de fermentación).

En la Fig. 1.8 tenemos lo dicho anteriormente.

Uno de los parámetros más importantes a tomar en cuenta es la temperatura, ya que las bacterias metanógenas se desarrollan entre 20°C y 30°C.

Como ejemplo de diseño tenemos el cálculo de un digester cilíndrico vertical con campana.

Para dimensionar un digester, se requiere de los siguientes datos:

1.- Requerimiento de biogás por día ————— B (m³ biogás/día).

2.- Relación del volúmen de biogás producido al día por volúmen de digester.

$$\frac{\text{m}^3 \text{ biogás/día}}{\text{m}^3 \text{ digester}}$$

Se tiene entonces que el volúmen de digester (V) en m³, está dado por la relación:

$$V = \frac{B}{R}$$

Si por ejemplo tenemos un requerimiento de biogás de B=2.5m³/día.

Un digester de este tipo operando con desechos de vaca mezclados con agua caliente a 25 días de residencia, presenta una relación de volúmen de biogás producido al día por volúmen de digester del orden de 0.75, o sea que R = 0.75. Por lo tanto el volúmen del digester será:

$$V = \frac{2.5}{0.75} = 3.33 \text{ m}^3$$

Para asegurar un buen suministro con suficiente gas, se pasa al siguiente orden superior, es decir, 4m^3 , el que producirá del orden de 3m^3 de biogás al día.

Si el diámetro del cilindro es igual a la profundidad (h), $d=h$, el volumen del cilindro será:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \times h = \frac{\pi d^3}{4} = 4\text{m}^3$$

Su diámetro será

$$d = \frac{3 \times 4 \times 4}{\pi} = 1.72 \text{ m.}$$

Tenemos que un digestor de 4m^3 de volumen será un pozo de 1.72m de d y 1.72 m de profundidad.

La relación de altura a diámetro del pozo no necesariamente es de 1 a 1. Ejemplo, el cálculo de profundidad del pozo para este mismo digestor de 4m^3 de volumen si el diámetro es ahora de 1.60m.

$$V = \frac{\pi \times 1.60^2}{4} \times h = 4\text{m}^3$$

$$h = \frac{4 \times 4}{1.60^2 \pi} = \frac{4 \times 4}{8.04} = 1.99 \text{ m}$$

Tenemos ahora un pozo de 1.60 m de diámetro y 2 m de profundidad.

Para este pozo, los diámetros de la campana para almacenar la mitad de biogás producida en un día, o sea $\frac{1}{2} \times 3\text{m}^3 = 1.5\text{m}^3$ de biogás, serán 1.50m de diámetro, para dejar 10m o 0.10 holgura con el pozo, y su altura h^1 .

$$V^1 = \frac{\pi \times 1.50^2}{4} \times h^1 = 1.53\text{m}^3$$

$$h^1 = \frac{1.5 \times 4}{1.50^2 \pi} = \frac{1.5 \times 4}{2.25 \pi} = 0.85$$

Las dimensiones de la campana son:

$$d^1 = 1.50 \text{ m}$$

$$h = 0.85 \text{ m}$$

En la misma forma se procede para calcular las dimensiones para cualquier digestor partiendo de la cantidad de biogás que se desea producir y la eficiencia del sistema propuesto.

A continuación se presentan algunas tablas que son muy ilustrativas para el caso.

DESECHOS AGRICOLAS Y ANIMALES CON POTENCIA PARA PRODUCIR METANO.

(MATERIA PRIMA)

- Desechos animales.- Estiércoles, cama, desechos alimenticios, orina, etc.
- Residuos agrícolas.- Semilla, paja, bagazo de caña, etc.
- Desechos de rastros.- Sangre, carne, desechos de pescados.
- Desechos agrícolas.- De tabaco, aserrín, cascarilla de arroz.
- Desechos industriales.- De frutas y vegetales, etc.
- Residuos Forestales.- Ramas, corteza, etc.

DESECHO DE:	GAS	FERTILIZANTES
1 vaca/día	23 MJ	60g N ₂ (35 litros de lodo)
1 hombre/día	0.6 MJ	9g N ₂ (1 Kg. lodos)
1 gallina/día	0.4 MJ	1.7gN ₂ (0.3 litros de lodo)

1 puerco/día	6.4 MJ	26g N ₂ (6Kg. lodos)
1 Kg. biomasa seca	10.0 MJ	80g N ₂ (algas)

1 MJ = 238.8 cal.

VALORES PROMEDIO DEL PODER CALORIFICO DE DIFERENTES COMBUSTIBLES Y SU EQUIVALENTE REFERIDO AL BIOGAS.

COMBUSTIBLE	Kcal/m ³	Kal/kg	CANTIDAD EQUIVALENTE A 1000m ³ gas.
Biogás	5335	----	1000 m ³
Gas natural	9185	----	581 m ³
Metano	8847	----	603 m ³
Propano	22052	----	242 m ³
Butano	28588	----	187 m ³
Electricidad	860 $\frac{\text{Kcal}}{\text{KWh}}$	----	6203 KWh
Carbón	----	6870	776 Kg.
Petróleo	----	11357	470 Kg. 553 ts
Combustóleo	----	10138	526 Kg. 553 ts

En México, ya se utilizan algunos sistemas de digestores - pero su uso aún no se ha extendido a las comunidades rurales como debiera, obteniendo combustible y fertilizantes - que tanto necesitan.

Las posibilidades de utilización de la biomasa como energético es ilimitada.

1.3. ENERGIA EOLICA.

Desde hace más de 2000 años, el hombre empezó a utilizar - la energía del viento en las embarcaciones mercantiles que

surcaban los mares interiores de Asia, así como en las primeras aerobombas para irrigar áreas de cultivo en la antigua Persia. Las revoluciones tecnológicas dejaron a un lado esta fuente de energía para dar impulso a la máquina de vapor y al motor de combustión interna, respectivamente.

Nuevamente se está regresando a el uso de esta fuente de -- energía en busca de soluciones a necesidades concretas de -- abastecimiento energético.

Gracias a las investigaciones, la energía eólica empieza a aprovecharse en diversos países del mundo, especialmente -- por las cualidades que presenta su explotación, no presenta inversiones cuantiosas, no contamina, en menor o mayor grado existe en cualquier región y no requiere de una tecnología complicada.

El viento es una masa de aire en movimiento debido a que la energía solar calienta el aire que se encuentra en las capas altas de la atmósfera, esto induce a un gradiente de -- temperatura al estar menos calientes las capas bajas de la atmósfera y por lo que se genera el flujo de aire; es decir, el viento. (Fig. 1.9).

El viento contiene una cantidad de energía cinética que al pretender aprovecharse como energético de una manera económica competitiva y socialmente aceptable, nos lleva a hacer nos los siguientes planteamientos:

- A) ¿En qué lugares existe viento con la suficiente intensidad como para ser económicamente útil?
- B) ¿Cuáles son las cantidades anuales de energía del viento que pueden ser esperados?

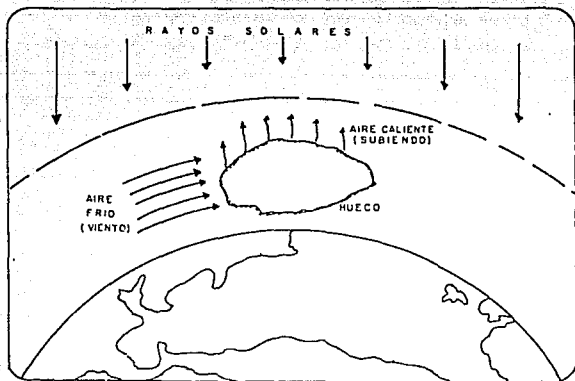


Figura 1.9 Conformación de viento.

- C) ¿Cómo se distribuye el viento en el tiempo, durante el día, el mes o el año y aún en períodos más largos?
- D) ¿Cuáles son las duraciones probables de vientos de alta velocidad o en períodos de calma, y sus frecuencias durante un lapso determinado de tiempo?

Los sitios ideales para el aprovechamiento de la energía del viento son colinas de suaves pendientes en terrenos llanos y si la curvatura de la colina se comporta como perfil aerodinámico en el sentido del viento dominante, éste está sujeto a una aceleración. Por otra parte, en los terrenos montañosos las condiciones orográficas pueden dar lugar a "ductos" por lo que sopla el viento. La fricción del aire con el suelo y la vegetación reduce su velocidad al nivel del mismo, siendo un hecho el aumento de la velocidad con la altura. Tomando en cuenta que hay muchas comunidades rurales en lugares de estas características, es facilitable el uso de la energía eólica para sus necesidades.

El viento tiene una energía proporcional al cuadrado de su velocidad por la masa de su volumen que se considere. Si este volumen corresponde al generado en la unidad de tiempo, por una Área unitaria que se desplaza a tal velocidad, la potencia del viento por unidad de área es proporcional al cubo de su velocidad:

$$P/A = KV^3$$

donde K es una constante que depende de la densidad del aire y de las unidades en que se expresa la potencia y la velocidad. Esta expresión se conoce como la Ley del cubo y es indicativo de por qué es necesario un registro continuo de velocidades para hacer una estimación correcta de su contenido energético, ya que existe una diferencia entre el cubo de la velocidad media y el promedio de los cubos de un conjunto de velocidades en una distribución dada. En la (Fig. 1.10) se

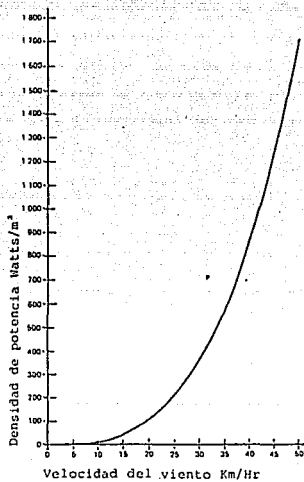


Figura 1.10 Relación Velocidad-Potencia.

muestra gráficamente la relación entre velocidad y potencia.

Siendo la potencia del viento proporcional al cubo de su velocidad, se aprecia que variaciones en porcentajes pequeñas en la velocidad del viento tiene una fuerte repercusión por cuanto a su potencia. Un viento de 20 km/hr (5.55 m/s) tiene una potencia de 109.6 W/m^2 y uno de 25 km/hr, (6.94m/s) - de 213.85 W/m^2 en tanto que un viento de 50 km/hr, (13.88m/s) que mueve a los árboles y se dificulta caminar; el tiene una potencia de 1720.8 W/m^2 .

En general, a 10m de altura la energía del viento es similar en magnitud a la densidad de energía solar que se recibe en el suelo en un período de 24h. Lo que representa una potencia media del orden de 200 W/m^2 para las latitudes comprendidas entre los 2 trópicos.

A mayor altura, la energía eólica se incrementa en razón del gradiente vertical de velocidades, ocasionando por la fricción del viento contra la superficie del terreno.

De toda esta energía del viento sólo es posible obtener una fracción, que tiene un límite teórico establecido por el científico Alemán A. Betz en 1927, por el cual un aeromotor ideal sólo puede extraer 16/27 o 59.3% de la energía del viento. Para obtener 100% de la energía cinética del viento sería necesario que el equipo conversor le quitase el movimiento, reduciendo su velocidad hasta cero, lo cual es imposible.

De esta manera, la ecuación que define la potencia aprovechable del viento, para condiciones ideales, es: $P = 0.593 KAV^3$ donde A es el área de trabajo, γ K es una cte. de densidad del aire.

Existen diferentes sistemas de conversión de energía eólica a electricidad de pequeña capacidad, el utilizado para cargar baterías de almacenamiento, el motor aerodinámico y la salida del generador a C.d.; ésta se almacena en baterías - lo que da continuidad al servicio, C.d. se convierte a 60hz mediante un inversor sincrónico que permite la alimentación de la energía generada a la red de distribución eléctrica - (Fig. 1.11).

Los problemas encontrados en la utilización práctica de la eólica son por un lado los costos de que el equipo electrónico (inversor) y de las baterías y por el otro son irregulares los vientos, de aquí que se realizan estrategias ya sea diseñando nuevos mecanismos, otros materiales de construcción, almacenar la energía y racionarla, etc., instalando a las comunidades rurales en los lugares apropiados.

APLICACIONES

Existen de 2 tipos: El de carga discontinua, es decir, los usos mecánicos tradicionales de la energía eólica (molienda de granos, bombeo de agua para cultivo de peces, etc. Para comunidades rurales, todas estas aplicaciones resolvería todos sus problemas).

El de carga continua, es decir, los usos eléctricos para -- iluminación de una casa, funcionamiento de aparatos electrónicos como radios (transmisores, receptores) y televisión - (educativa), etc.

Comercialmente en México existen dos compañías nacionales - que venden aerogeneradores y son: Molinos de Viento (Chihuahua) y la Compañía Grupo Fuerza, Industrias Eléctricas (D.-F.), ésta última con el sistema Colibrí AXP para producir - electricidad pues tiene una potencia instalada de 6KW de -- energía.

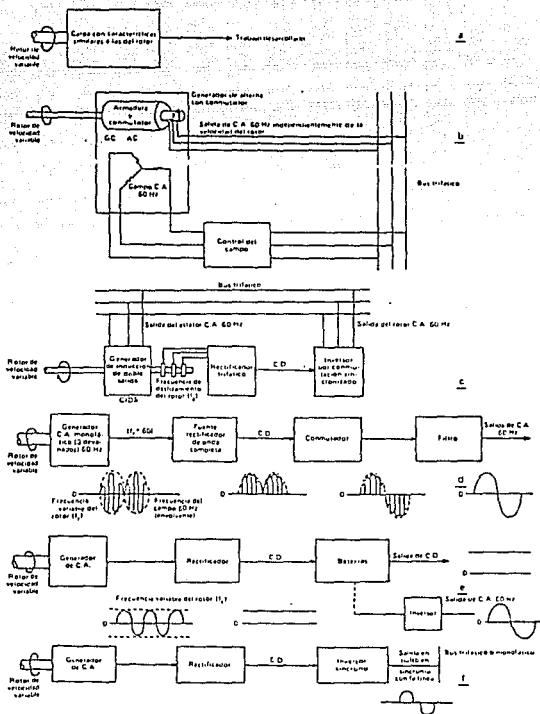


Figura 1.11 Proceso por el cual, la Energía Eólica (mecánica) - transformada en Energía Eléctrica.

El equipo consta de un generador, pedestal, hélice y cola. Esta unidad funciona instalada sobre una torre de acero de donde conecta y regula la fuerza del viento a la carga eléctrica, por medio de un tablero de control automático y un banco de baterías, (Fig. 1.12, a y b)

El equipo instalado en la torre pesa 320 kg. y tanto su longitud como su diámetro de la hélice mide casi 4m., lo que hace posible transportarlo, armarlo o instalarlo fácilmente al llegar a su destino.

El sistema Colibrí AXP posee un sistema que protege a la unidad de los vientos fuertes, el motor y las aspas giran conforme se presentan los vientos predominantes, pero en caso de vientos fuertes se activa automáticamente un freno dinámico que paraliza la unidad.

El tablero de control del sistema de energía eólica registra 3 parámetros variables: frecuencia, voltaje y corriente. Hay dos tarjetas electrónicas en el interior del tablero: la del control maestro y la del servomotor. Esta última tarjeta es un mecanismo de seguridad, pues actúa como regulador evitando que la energía producida por exceda (en capacidad instalada).

A nivel de investigación son contados los Institutos de estudio y estos son: Grupo Xochicalli A.C., Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Instituto de Ingeniería.

1.4. ¿POR QUE CELDAS FOTOVOLTAICAS?

De las fuentes alternas de energía expuestas anteriormente (generadores fototérmicos, biomasa, eólica), los generadores fotovoltaicos ofrecen las mayores perspectivas de desarrollo, su base principal es la electrónica, la cual avanza día a día.

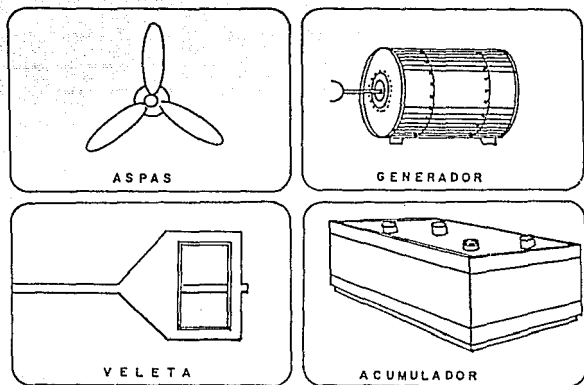


Figura 1.12a Diferentes dispositivos usados en un Sistema Aero-motor.

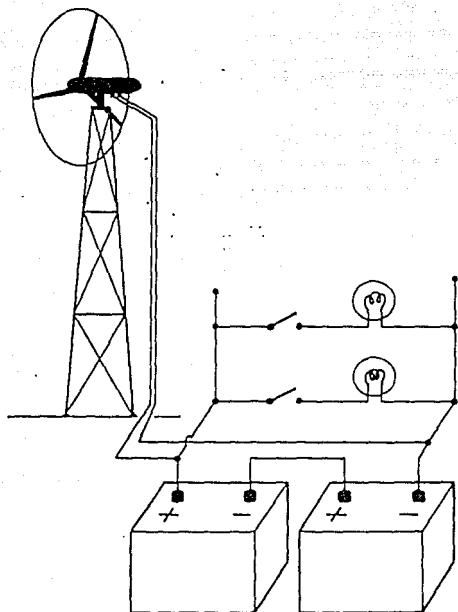


Figura 1.12b Sistema de almacenamiento por baterías, para Instalaciones de baja potencia.

Sus características son:

- El silicio, que es la materia prima, y después del oxígeno en rocas sueltas es el 3er. elemento más abundante del Universo.
- Es un método de conversión directa, ya que no se requiere ciclo termodinámico por lo que evita los desgastes y fallas mecánicas.
- No requiere partes móviles ni requiere de grandes áreas de espacio.
- Se ajusta a la demanda energética necesaria agregando módulos solares.
- Tiene poco peso y facilidad para montarse y desmontarse y lo hacen atractivo como generador local y portátil.
- Mantenimiento casi nulo.
- Fuente de generación segura, ya que no requiere de altos voltajes.
- La energía solar, energético primario que es gratis.
- Vida del sistema entre 20 y 40 años dependiendo del material de construcción y sitio de la instalación.
- El sistema puede trabajar incluso sin radiación, dependiendo de la energía acumulada en baterías.
- En el caso particular de México, tiene un alto potencial para la utilización de la energía fotovoltaica ya que cuenta con:

- Alta insolación: entre 800 y 1200 W/m² (más que el promedio a nivel mundial 1 KW/m²).
- Baja incidencia de días nublados.
- Numerosas áreas rurales sin electricidad cuyos niveles económicos y sociales podrían ser elevados sustancialmente.
- Industrias agrícolas, ganaderas y pesqueras en áreas remotas que requieren de plantas eléctricas de baja o mediana potencia.
- Facilidad de desarrollar una industria fotovoltaica con tecnología propia.

Con estos puntos, se comprueba que los generadores fotovoltaicos son la solución para resolver a corto plazo el problema energético principalmente en el medio rural, esto desde el punto de vida social y técnico.

Desde el punto de vista económico, los generadores fotovoltaicos están restringidos por su costo relativamente alto y queda limitado su uso a instalaciones o lugares donde las otras alternativas de energía (generadores de diesel o de gasolina, turbina de gas, etc.), resultan menos rentables debido al transporte de combustible y al mantenimiento preventivo y correctivo de repartición a lugares casi inaccesibles.

La meta proyectada por el Departamento de Energía de EE.UU. para disminuir el precio de la energía fotovoltaica es de -- 0.7 dólar/Wattpico con más de 20 años de vida y 10% de eficiencia para esto mediante técnicas de desarrollo que harían que se generalizara el uso de los generadores fotovoltaicos llegando hasta las grandes ciudades.

C A P I T U L O I I

LA FUENTE SOLAR.

2.1. CONCEPTOS BASICOS

Es necesario una descripción de la radiación emitida por el Sol, pues dicha radiación es el "combustible" que hace tener energía en todas sus manifestaciones (calorífica, química, eléctrica, etc.), conociendo las bases físicas del origen y transferencia de la radiación solar en la atmósfera, hasta su arribo a la superficie terrestre.

Ninguna aplicación de la energía solar será eficiente sin - una correcta evaluación del recurso en su variación en el - tiempo y en diferentes regiones geográficas. Para esto es necesario conocer la forma de medición y registro de los pa - rámetros y la posición que hay del Sol y la tierra.

2.2. LA CONSTANTE SOLAR.

El sol puede considerarse por su temperatura, brillo y di- - mensiones, una estrella "media". Para nuestro planeta, se- - parada de el 150×10^6 km., es la fuente fundamental de - - - energía.

El núcleo del Sol está formado por hidrógeno (50%), helio - 40%) y metales pesados (10%), la presión alcanza los 100×10^9 de atmósferas y la temperatura de 16×10^6 °k 15.999.727 c°). En la parte central, en una región de un cuarto de ra - dio solar, llevan a cabo reacciones termonucleares que trans - forman el hidrógeno en helio y en energía de alta frecuencia: de 564 millones de toneladas de hidrógeno, cada segundo se -

forman 560 de helio y los 4 millones restantes se transforman en energía, según la Ley de Einstein: $E = mc^2$

Sustituyendo a C por su valor ($300,000 \text{ km. seg}^{-1}$), M por 4×10^6 Ton, y transformando las unidades a un mismo sistema se obtiene que, cada segundo, en el núcleo del Sol se producen aproximadamente 3.6×10^{23} ergios (5.1×10^{27} calorías x minuto).

A una distancia de 150 millones de km. el Sol puede considerarse una fuente puntiforme; a dicha distancia, la energía emitida por el sol atraviesa una superficie esférica de $2.9 \times 10^{23} \text{ m}^2$, es decir, tiene una densidad de flujo igual a $1.94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min.}^{-1}$.

El valor de la densidad de flujo de radiación solar I_0 a la distancia medio tierra-Sol se denomina CONSTANTE SOLAR.

El valor recomendado por la Organización Meteorológica Mundial en la escala pirheliométrica internacional de 1956 es de 1380 Watts/m^2 (para $194 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$). Observaciones directas de esta magnitud, en satélites y equipos de medición terrestre dan este valor como el más empleado es el propuesto por Theckackara y Drumond: $1353 \pm 21 \text{ Watts/m}^2$.

La distribución de la energía en el espectro solar es muy importante para entender la interacción de la radiación solar con la atmósfera y la superficie terrestre. Del total de la radiación solar que llega a la parte superior de la atmósfera, a la distancia media tierra-Sol, aproximadamente un 9% está en el ultravioleta ($0.01 \mu\text{m} < \lambda < 0.39 \mu\text{m}$), un 47% en el visible ($0.39 \mu\text{m} < \lambda < 0.76 \mu\text{m}$) y el 44% restante es infrarrojo ($0.76 \mu\text{m} < \lambda < 3000 \mu\text{m}$).

2.3. DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LA RADIACION SOLAR.

INSOLACION ASTRONOMICA.

Sobre la superficie de la atmósfera, la distribución de la radiación solar se determina exclusivamente por factores astronómicos: la traslación de la tierra alrededor del Sol, la inclinación del plano ecuatorial terrestre con respecto al plano de la órbita de traslación (eclíptica) y la rotación diaria del planeta.

Con respecto a un observador colocado en la tierra, el Sol describe anualmente una órbita elíptica alrededor del planeta.

Si hacemos pasar un plano por el ecuador, el plano que forma la órbita solar o elíptica tiene una inclinación de $23^{\circ}27'30''$ con respecto al plano ecuatorial.

De esta manera, durante el año, el Sol cruza 2 veces el plano ecuatorial: el 21 de marzo, de sur a norte, y el 21 de septiembre de norte a sur.

El 21 de Junio el Sol se encuentra en el punto más elevado de la eclíptica alumbrando perpendicularmente sobre el trópico de cancer, mientras el 21 de diciembre atraviesa por su punto más bajo, alumbrando perpendicularmente el trópico de capricornio, en el hemisferio sur. (Fig. 2.1.).

En general los rayos solares caen oblicuamente sobre la superficie terrestre. Supongamos que el Sol es observado bajo un ángulo Z_0 (ángulo Zenital) con respecto a la vertical en un punto P sobre la superficie terrestre.

Sea I_0 la densidad del flujo de radiación en una superficie

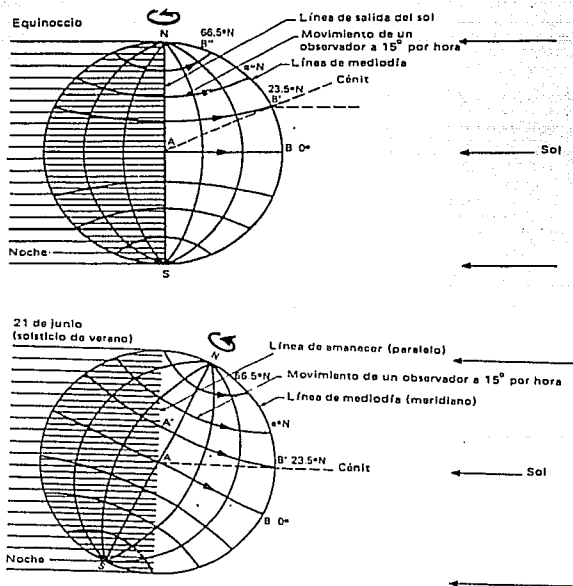


Figura 2.1 Efecto del ángulo de inclinación, para una persona situada en el Hemisferio Norte.

PB perpendicular a los rayos solares; sea I_0 la densidad de flujo de radiación en una superficie horizontal PA, oblicuamente, la energía que pasa por PB es igual a la energía que pasa por la superficie horizontal PA:

$$I_0 \cdot PA = I^* \cdot PB$$

$$I_0 = I^* \frac{PB}{PA}$$

Por trigonometría

$$\cos Z_0 = \frac{PB}{PA} = \frac{PB}{PA}$$

$$I_0 = I^* \cos Z_0 = I^* \sin ho$$

De trigonometría se tiene también que

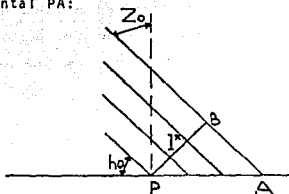
$$\sin ho = \sin \phi \sin S + \cos \phi \cos S \cos \frac{2\pi}{T} t$$

donde ϕ es la latitud del lugar, S la declinación del Sol, T el período de rotación de la tierra y t el tiempo contando a partir del medio día solar.

Si por Q denotamos la cantidad de radiación que recibe $1m^2$ de superficie horizontal en un día en ausencia de atmósfera, entonces

$$Q = \int_{-T_0}^{T_0} I_0 dt$$

donde $\pm T_0$ son los momentos de salida y puesta del Sol, respectivamente.



En general, la insolación astronómica diaria Q depende exclusivamente de la latitud del lugar de la época del año.

2.4. LA ESTRUCTURA DE LA ATMOSFERA.

Desde el punto de vista de la interacción de la radiación solar con la atmósfera, las capas más importantes son:

La capa de ozono, localizada en la atmósfera absorbe completamente la radiación con longitudes de onda menores que 0.29μ (radiación ultravioleta); y la tropósfera donde se lleva a cabo la dispersión de la radiación de las fluctuaciones de densidad y temperatura y el aerosol (troposférico y estratosférico) que puede dispersar la radiación solar, así como absorberla en ciertas longitudes de onda.

2.5. LA INFLUENCIA DE LA ATMOSFERA Y LA SUPERFICIE TERRESTRE EN LA CLIMATOLOGIA SOLAR.

La radiación solar al penetrar en la atmósfera y alcanzar la superficie terrestre, sufre una serie de modificaciones importantes: una parte se dispersa en el aire y en las partículas presentes en él; otra es absorbida y otra es reflejada. Se estima que en promedio la tierra refleja 37% de la radiación que recibe, un 17% se queda en la atmósfera por absorción y el 46% restante es retenido por la superficie.

Según las leyes generales de radiación, la energía que es absorbida por un cuerpo aumenta su energía interna, aumenta su temperatura; como este aumento no puede prolongarse indefinidamente, se genera un proceso que libera energía, la emisión de radiación. Este proceso se describe cuantitativamente por la Ley de Stefan-Boltzman:

$$E = \sigma T^4$$

donde E es la energía emitida por unidad de superficie en la unidad de tiempo

$$\sigma = \text{constante de Stefan-Boltzman} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

y T la temperatura del cuerpo en grados absolutos (Fahrenheit o Rankine).

Cuando se establece el equilibrio, la energía absorbida es igual a la energía emitida. La tierra gracias a la radiación que recibe del Sol, mantiene un clima adecuado para el desarrollo de la vida, clima en el que la temperatura T_s de la superficie, juega un papel importante. Si calculamos la temperatura T_s tenemos que la energía captada por la zona iluminada por el Sol debe ser igual a la emitida por la superficie terrestre:

$$I_s \pi R_T^2 = T_s^4 \sigma 4 \pi R_T^2 ;$$

aquí I_s es el flujo de radiación retenido por la superficie terrestre, por unidad de tiempo, R_T es el radio terrestre y T_s la temperatura de la superficie.

La atmósfera tiene la propiedad de ser prácticamente opaca a la radiación ultravioleta ($\lambda < 0.29 \mu\text{m}$) y a la radiación emitida por la superficie terrestre ($\lambda < 2.4 \mu\text{m}$); en la ventana intermedia ($0.29 < \lambda < 2.4 \mu\text{m}$), la atmósfera no es totalmente transparente; la dispersión molecular y en el aerosol atmosférico, así como la influencia de las nubes, pueden modificar sustancialmente el flujo de la radiación que llega a la superficie.

Sin embargo, para la climatología, el hecho fundamental reside en la opacidad de la atmósfera a longitudes de onda mayores de 2.4 μ m, puesto que la emisión se efectúa en este rango espectral.

La radiación emitida por la superficie es retenida casi en su totalidad en los primeros metros de altura, donde contribuye a elevar la temperatura del aire; esta capa atmosférica al elevar su temperatura se convierte también en emisora de radiación; hacia la superficie y hacia capas colocadas inmediatamente por arriba de ella. De esa manera, la radiación emitida por la superficie no escapa al espacio exterior sino que gracias a un efecto invernadero conserva la temperatura de la superficie terrestre y de la capa atmosférica inferior en niveles aceptables para los organismos vivos.

2.6. MEDIDA DE LA RADIACION SOLAR EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.

Para poder saber con cuánto disponemos de energía, necesitamos medir a ésta por lo que a continuación se describen los instrumentos de medición.

La radiación solar puede medirse con sensores (de diferentes tipos). Un sensor ideal de radiación solar deberá tener una respuesta espectral no selectiva en el intervalo de 0.3 μ m -3 (Fig. 2.2.) y respuesta "CERO" fuera de este. Ningún sensor es ideal por lo que se ocasiona errores de calibración en los instrumentos.

Algunos de los factores que causan errores se dan a continuación:

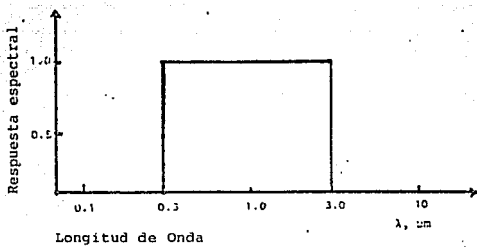


Figura 2.2. Resposta espectral de un sensor ideal.

- 1.- Transmisión de la cubierta de vidrio.
- 2.- Variaciones de las características espectrales del recubrimiento ennegrecedor de las superficies absorbientes y reflejantes.
- 3.- Variaciones en la estructura de los circuitos eléctricos.
- 4.- Variaciones en los mecanismos que permitan el flujo adecuado del calor a través de los elementos del sensor.
- 5.- Variaciones en la temperatura de operación del instrumento (particularmente en los sensores o termoelectrónicos)

Los sensores fotovoltaicos tienen una respuesta espectral cuyas características la hacen definitivamente diferentes a los sensores ideales. Una respuesta típica es la de la (Fig. 2.3.).

2.7. CARACTERISTICAS DIRECCIONALES DE LA RADIACION SOLAR.

La mayor cantidad de energía que recibe un sensor de radiación solar en un día claro, proviene directamente del disco solar; a esta energía se le llama radiación directa y se mide a través de su intensidad, la cual se define como la energía por unidad de área en la unidad de tiempo por unidad de ángulo (MKS : W/m^2).

La radiación que no proviene directamente del disco solar es la llamada radiación difusa (Id), la cual se mide a través del flujo de energía que transporta, y se define como la cantidad de energía por unidad de área (MKS : W/m^2) que incide en cierto punto (Piranómetro).

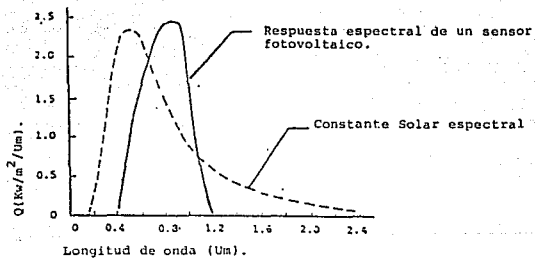


Figura 2.3 Respuesta espectral de un sensor fotovoltaico.

La suma de la radiación directa más la radiación difusa se conoce como la radiación global y se mide a través de su flujo de energía de la misma manera, que para la radiación difusa (Fig. 2.4.).

Como la radiación directa se mide en una superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares, su intensidad es una superficie horizontal I_D depende de la altura solar h_o :

$$I'_D = I_D \text{ Sen } h_o$$

y para la radiación global tenemos:

$$I_G = I_d + I_D \text{ Sen } h_o$$

2.8. SENSORES TERMOELECTRICOS.

Los sensores termoelectricos usan la radiación incidente para crear una diferencia de temperatura en dos elementos del sensor. Esto sucede haciendo que las superficies de una de las partes sea altamente absorbente y la otra altamente reflejante o bien de tal manera estructurada que permita que su temperatura no sea afectada apreciablemente por la radiación incidente.

Un elemento fundamental de los sensores termoelectricos es la termopila, la cual consiste en una conexión en series de termopares conectados de tal manera que sus voltajes se suman y la cual tiene uno de sus lados "caliente", térmicamente conectado a la superficie absorbente, y el otro lado "frio" o térmicamente conectado a la superficie reflejante o un sumidero de calor. (Fig. 2.5.).

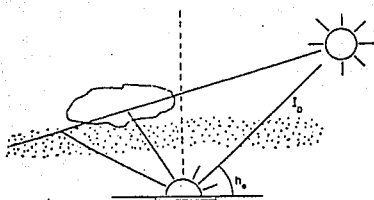


Figura 2.4 Flujo de radiación.

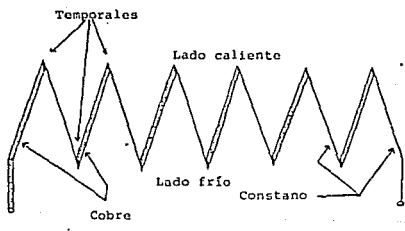


Figura 2.5 Diagrama de una Termopila.

Hay dos tipos de instrumentos básicos para la medición de la radiación solar: el pirheliómetro y el piranómetro. (Fig. 2.6.).

El pirheliómetro es un instrumento con el que se mide la intensidad de radiación solar que incide en una superficie normal a la dirección del rayo. El pirheliómetro puede recibir energía en un cono de 5 a 7° de temperatura, la cual es mayor que la del disco solar 0.50° (Fig. 2.7.).

2.9. DEFINICION DE ANGULOS DE APERTURA.

El piranómetro es un instrumento con el que se mide el flujo de radiación solar global (difusa más directa), que incide sobre una superficie horizontal.

La sensibilidad de un piranómetro es mayor para la energía que incide verticalmente (del Cénit) y decrece hasta cero para la energía que incide horizontalmente. La variación de la sensibilidad idealmente debería ser proporcional al coseno del ángulo de incidencia medio a partir de la vertical (del Cénit). Esta variación proporcional de la sensibilidad es llamada "respuesta angular".

2.10. CALIBRACION DE INSTRUMENTOS.

Calibración es la determinación de todas las características del instrumento que afectan una medición particular.

La calibración está relacionada tanto con la medición en sí, como en el instrumento mismo.

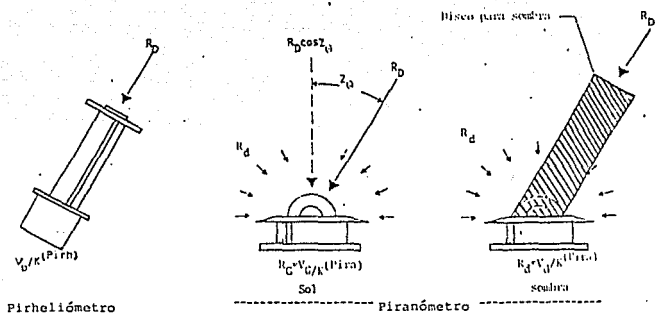


Figura 2.6 Medidor de radiación.

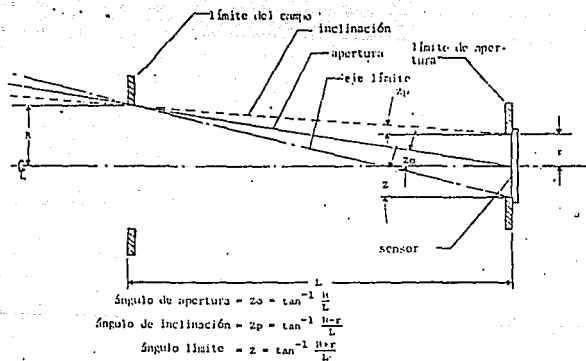


Figura 2.7 Definición de ángulos de apertura.

2.11. CARACTERISTICAS COMUNES DE LOS INSTRUMENTOS.

Algunas de las características instrumentales son:

- A) Sensibilidad: es la relación existente entre la radiación recibida por el instrumento y la señal de salida del sensor (mV/Wm^2)
- B) Respuesta angular: es la variación de la sensibilidad -- del instrumento con la dirección de la radiación incidente.
- C) Linealidad: es la constancia de la razón de cambio de la señal de salida respecto del cambio de la radiación incidente, lo cual se manifiesta en sí, su sensibilidad es constante.
- D) Estabilidad: es la constancia de alguna de las características instrumentales, con respecto a algún otro parámetro (preferentemente esta característica es la sensibilidad y su estabilidad es respecto al tiempo o edad del instrumento).
- E) Respuesta espectral: es la sensibilidad del instrumento a las diferentes longitudes de onda de la radiación.
- F) Estabilidad por cambio en la temperatura: es la variación de la sensibilidad y otras características con los cambios en la temperatura ambiente y del instrumento.

2.12. DISPONIBILIDAD DE ENERGIA SOLAR.

En el mundo.

La inestabilidad económica y social de los pueblos depende

directamente de los cambios climáticos. Las demandas de -- agua y energía se incrementan continuamente, nuestra habilidad para satisfacer estas necesidades estará siempre sujeta a las incertidumbres del clima. Por lo tanto, es esencial adquirir un mayor entendimiento del que ahora poseemos del clima y del cambio climático.

El problema de los energéticos para los países del Tercer - Mundo constituye un gran reto. La estrategia recae en la - utilización de nuevas fuentes de energía. Las energías solares y eólicas aplicadas principalmente al medio rural son una promesa inmediata, la adecuación de su uso trae consigo mismo una concepción económica más realista y más apegada a la naturaleza misma.

De la (Fig. 2.8.), podemos observar que la radiación solar en el mundo no está uniformemente distribuida, debido a la esfericidad terrestre.

También apreciamos que es en la franja de los trópicos (23° 27') se ubican la mayoría de los países tercermundistas, de lo cual ubicando los sistemas solares se podrían satisfacer sus necesidades primarias materiales que son: alimento, vestido, vivienda, utensilios, medios de transporte, etc., de manera total o auxiliar de otras fuentes de energía.

En México.

Tenemos en promedio 2000 KWh/m² anuales (5.3 KWh/m² diarios) Para la mayor parte de nuestro país se tiene que, si esta - energía se pudiese transformar en energía eléctrica con una eficiencia de al menos 10%, bastaría un cuadrado de 15 Km de lado para cubrir el consumo nacional de energía eléctrica - (del orden de 4.5×10^{10} KWh en 1978), área que ocupa apenas 0.02% de los desiertos nacionales.

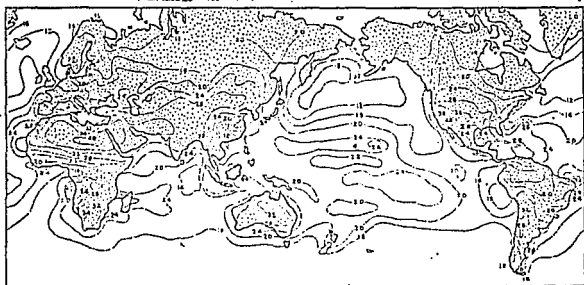


Figura 2.8 Radiación Solar en el Mundo.

Los valores máximos absolutos de radiación solar total se tienen mensualmente en mayo y junio (700 L y/día) en el norte del estado de Chihuahua; estacionalmente en la misma región durante el verano (650 L y/día) y anualmente en el Valle del Mezquital, Hidalgo (525 L y/día). Los valores máximos anuales son importados en el norte del estado de Chihuahua, Baja California Sur, noroeste y costa suroeste de Sonora, Bolsón Mapimi y la región comprendida en el estado de Aguascalientes y noroeste de Jalisco (500 L y/día).

Los valores mínimos absolutos de radiación solar total se tienen mensualmente en diciembre en las regiones de Córdoba, Veracruz, y San Pedro Mártir, B.C.N. (250 L y/día).

Estacionalmente durante el invierno en Córdoba, Veracruz -- (275 L y/día) y anualmente en la misma región (325 L y/día).

Tenemos en el país regiones donde en forma permanente o semipermanente se localizan máximos y mínimos relativos de intensidad de radiación solar total.

Las regiones con máximas permanentes o semipermanentes son: una gran porción del estado de Hidalgo, centrada en el Valle del Mezquital; el Bolsón de Mapimi (Coahuila y Durango); la región comprendida por el estado de Aguascalientes y la parte noroeste del estado de Jalisco; la región comprendida por Baja California Sur y el suroeste de Sonora; la costa sur de la entidad de Guerrero; la costa noroeste de la Península de Yucatán; el sureste del Distrito Federal; el sur del estado de México y de Morelos, así como el norte de Guerrero y suroeste del estado de Puebla.

Las regiones con mínimas permanentes o semipermanentes son: la porción del estado de Veracruz; la parte central de la Sierra de Chihuahua y Durango; la Sierra de San Pedro Mar--

tir, B.C.N.; la Meseta central de la Sierra Madre del Sur; la porción central del estado de Nuevo León, en especial -- Monterrey; la parte occidental del Distrito Federal y áreas vecinas del Estado de México hasta Toluca; la Sierra Nayarita y por último se tiene una franja orientada este-oeste que atraviesa el estado de Michoacán a la altura de Morelia, es to es sobre la Cordillera Neovolcánica.

De la descripción anterior nos damos cuenta que la distribución de la radiación solar en el país está fuertemente influenciada por los sistemas montañosos, asimismo el gradiente de radiación se acentúa a finales de primavera y durante el verano, período que corresponde a la temporada de lluvias y decrece durante el invierno.

El gran frente que presenta la Sierra Madre Oriental, a la corriente de los alisios intensifica el gradiente de radiación hacia la planicie costera, debido a nubes orográficas que empiezan a formarse a más temprana hora del día.

Desde fines de primavera y durante el verano, se tienen altos valores de intensidad de radiación total en el norte de Chihuahua y en el noroeste de Sonora (los días son mas largos). En la región del estado de Hidalgo centrada en el Va lle del Mezquital, tenemos un máximo de incidencia relativa durante todo el año.

En la región centrada de Monterrey, se encuentra un mínimo relativo de radiación que persiste casi todo el año.

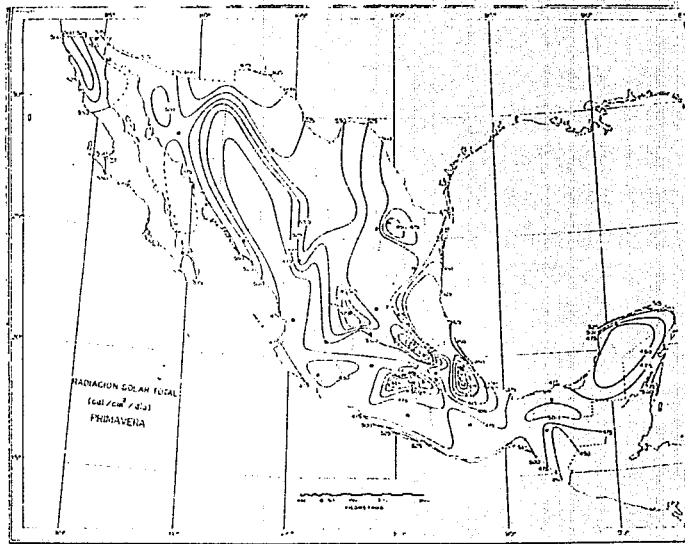
Existe un fuerte gradiente de radiación en la parte norte -- de la península de Yucatán, desde primavera hasta mediados de otoño, siendo máxima la incidencia de radiación en el -- noroeste de la península y disminuyendo hacia el centro de la misma.

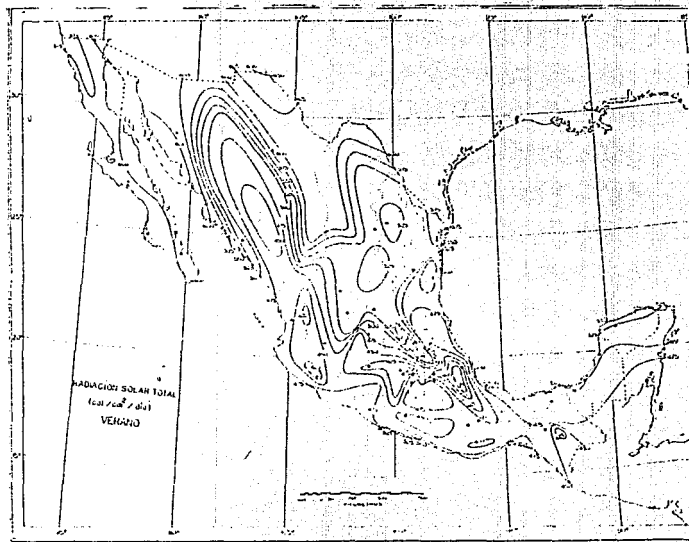
Son regiones de alta insolación durante fines de la primavera y todo el verano, en especial el Bolsón de Mapimí, la mayor parte de la península de Baja California y la costa suroeste de Sonora.

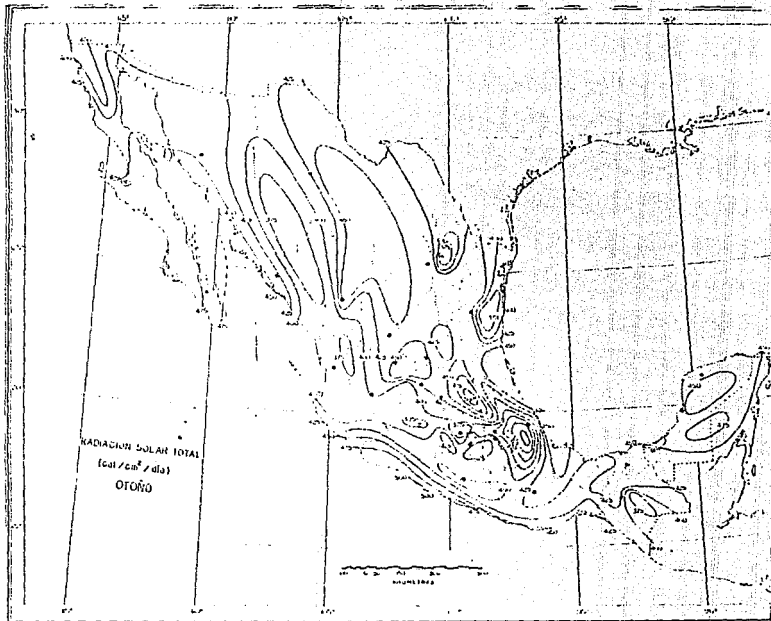
En el norte de la península de Baja California, a la inversa que en el resto del país, de radiaciones se ven aumentados durante el invierno y el principio de primavera y disminuidos durante el verano.

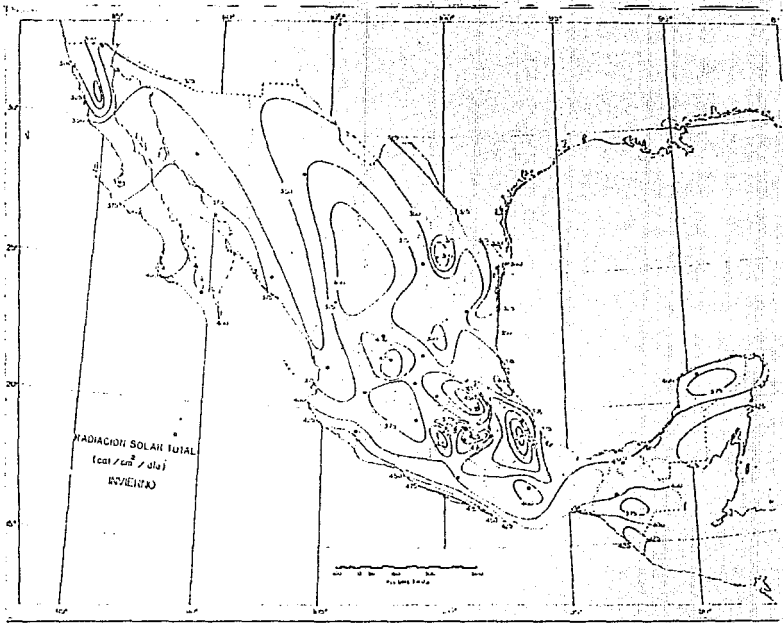
Los gradientes de radiación alrededor de la Sierra de Chihuahua y Durango, disminuye en invierno.

Por último, se muestran los mapas de la República Mexicana en los cuales todo lo anteriormente escrito queda marcado - en calorías por centímetro cuadrado por día. 4 mapas estacionales de la República Mexicana indicando Langleys por día. ($\text{cal/cm}^2/\text{día}$).









RADIACION SOLAR TOTAL
(cal/cm²/dia)
(ISOTHERMAS)

0 100 200 300 400 500
Kilometros

CAPÍTULO III

FOTOCELIDAS

3.1. HISTORIA.

Se llama efecto fotovoltaico a aquél que permite la conversión directa de luz a electricidad, es decir, que entre la energía luminosa incidente y la energía eléctrica resultante no existe ninguna forma intermedia de energía, (por ejemplo térmica o química). Este efecto que analizaremos con un poco más de detalle en lo que sigue, constituye la base de funcionamiento de las celdas solares que adquirieron notoriedad en la década de 1960, por ser los elementos generadores de energía de los satélites artificiales. Históricamente, las celdas solares aparecen en las aplicaciones espaciales, en donde la confiabilidad, durabilidad y relación potencia/peso, eran de primordial importancia. Como el costo de fabricación de estos elementos es relativamente elevado, no se pensó por entonces, en aplicaciones terrestres de la energía eléctrica generada con las celdas, excepto quizá en algunos casos especiales.

En los últimos años y particularmente después de la crisis energética de 1973, se ha considerado aquella posición y en casi todos los países avanzados se ha comenzado a realizar un esfuerzo de investigación tecnológico importante, que está destinado a abaratar costos de producción, analizar nuevos materiales y aumentar rendimiento de conversión.

3.2. CARACTERISTICAS.

Un generador fotovoltaico se compone de una estructura mecá

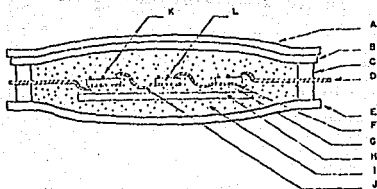
nica que sirve de soporte, de celdas solares, de interconexiones y de un encapsulado (Fig. 3.1.). El conjunto e interacción de estos componentes deberá asegurar durante un gran periodo de tiempo (10 años mínimo) el comportamiento normal del generador fotovoltaico, con mínima o nula degradación de sus características eléctricas bajo las condiciones ambientales de su utilización.

La concepción de generadores fotovoltaicos deberá considerar entre otros, los siguientes aspectos ambientales:

- Humedad: oxidación de los contactos.
- Esfuerzos térmicos: integridad de las conexiones.
- Esfuerzos mecánicos: efecto del viento y de diversos impactos.
- Depósitos de diversa naturaleza: pérdidas de potencia evitables o permanentes resultantes de estos depósitos.

A) Humedad.

En la encapsulación de celdas solares para aplicaciones terrestres, se hace uso de numerosos tipos de materiales pero que, con algunas excepciones, todos son permeables de agua en grado diverso. Aunque se utilice vidrio o materiales plásticos (acrílicos o resinas) como materiales, en un sistema de encapsulación poco costoso y no muy sofisticado, la humedad encontrará un camino para alcanzar a las celdas solares. En consecuencia, las celdas deben tener su propia protección contra la humedad (protección intrínseca). Se ha descubierto hace algunos años, durante el ensayo de celdas solares destinadas a los satélites artificiales, donde la humedad producía una corrosión de la metalización de los



- A. Revestimiento antirreflexivo o resistente a abrasión/impacto.
- B. Cubierta superior.
- C. Sellador adhesivo para los alambres de conexión externa.
- D. Alambres de conexión externa.
- E. Cubierta inferior.
- F. Celdas de silicio.
- G. Adhesivo para fijador de las celdas al sustrato.
- H. Substrato.
- I. Encapsulador.
- J. Interconectores.
- K. Metalización, reja de colección.
- L. Metalización, inferior.

Figura 3.1 Esquema de los componentes de encapsulación de una --- celda solar.

contactos que tenfa como consecuencia una pérdida de adherencia de éstos sobre la celda. Se ha ensayado varias combinaciones para suprimir esta corrosión, en particular la de titanio-plata. Se han utilizado con algún éxito capas de soldadura-plomo-estaño, relativamente delgadas (50 - 100 u), como pantallas antihumedad, pero los mejores resultados se han obtenido interponiendo una película de paladio entre las capas de titanio y plata.

B) Esfuerzos térmicos.

Los generadores (o módulos) solares en aplicaciones terrestres, sufren variaciones de temperatura diarias y de estación y están sometidos en consecuencia a ciclos térmicos de gran amplitud y de frecuencia variada.

Las fallas reportadas en los primeros generadores para uso terrestre, hicieron evidente el efecto de los ciclos térmicos, manifestados en la ruptura de las celdas y sus interconexiones.

Esta solución ya ha probado su eficacia, debido a que estos módulos se deforman fácilmente con las variaciones de temperatura. La confiabilidad puede mejorarse aún más empleando dos o más lenguetas por conexión PRYOR, KEELING (1976).

En resumen, puede decirse que las interconexiones de las celdas y la adherencia del encapsulante, son los elementos más sensibles a los efectos de la dilatación térmica.

C) Radiación ultravioleta.

Debido a su excelente transmisión óptica y a su elasticidad, se utilizan generalmente resinas de silicones u otros materiales elásticos similares, como materiales de encapsulación

en los generadores fotovoltaicos para aplicaciones terrestres.

Una cuestión importante era saber cuál podría ser la deterioración del coeficiente de transmisión óptica de estos materiales expuestos a la iluminación solar. Aún después de una exposición prolongada a la radiación ultravioleta, no se ha constatado sino un efecto mínimo que no sobrepasa el 5% - 10%.

Aunque la radiación ultravioleta sobre la superficie de la tierra, sea considerablemente reducida por la atmósfera, no por ello es despreciable. El fenómeno más desastroso que puede producirse en módulos expuestos a este tipo de radiación, es la de laminación total del encapsulante respecto al sustrato.

D) Esfuerzos mecánicos.

Efectos del viento. Los módulos ensamblados (páncoles), expuestos al viento, están sometidos a esfuerzos de flexión que añaden, a las interconexiones de las celdas, un esfuerzo suplementario a los ya producidos por las diferencias de dilatación térmica de los materiales utilizados, y que pueden, en el extremo, conducir a una ruptura de celdas.

Que el módulo soporte grandes cargas o que necesite una construcción compacta, estos elementos estructurales deberán dimensionarse de tal forma, que soporten sin riesgo para su integridad mecánica, los esfuerzos de flexión debidos a la turbulencia, en adición de la carga estática producida por el viento.

Impactos. Las previsiones de los utilizadores, en relación a los daños de origen mecánico que podrían sufrir los gene-

radores fotovoltaicos, son generalmente muy pesimistas, en relación con las experiencias realizadas en condiciones reales.

Varios años de experiencia práctica, han demostrado que los posibles daños debidos a granizos de gran talla o a todo objeto lanzado sobre los módulos, tiene un efecto despreciable.

E) Depósitos sobre los módulos.

En condiciones climáticas normales de utilización, los generadores fotovoltaicos se cubren de una capa delgada de polvo u otras suciedades. El origen y la composición de estos depósitos, dependen obviamente de las condiciones locales, de la frecuencia de las lluvias, etc. De todos modos, se ha determinado en módulos expuestos durante mucho tiempo en climas templados, que la acumulación de polvo y otras suciedades, conducían a una reducción de alrededor del 5% en la transmisión de la iluminación. Después de una limpieza con productos corrientes utilizados en los vidrios, la pérdida de transmisión desaparece. Cualquiera que sea el coeficiente del fortamiento del material de la superficie y en ausencia de limpieza, las partículas de polvo, arena, etc., se adhieren tanto sobre el vidrio, acrílico, resinas, etc., con muy poca diferencia en espesores. Este fenómeno debe ser particularmente tomado en consideración, en el caso en que los módulos puedan permanecer largo tiempo sin limpieza, en razón de su acceso difícil o muy lejano y de la ausencia de la lluvia. En estos casos es bueno tener en cuenta una pérdida que puede ir hasta el 10%.

Características actuales de módulos solares vs características de las actuales aplicaciones de sistemas fotovoltaicos.

Características de aplicaciones actuales.

Mercados diversos y pequeños requieren a menudo tratamiento directo con el cliente. Mercados individualmente incapaces de soportar un diseño de módulos de producción masiva.

Consumo menor de 5000 watts de CD generalmente para cargar baterías de almacenamiento.

Capaces de pagar un precio elevado (D11\$ 30/watt) por la potencia y de comprar un sistema completo sea para propósitos de evaluación o de operación en regiones remotas.

Sujetas a una gran variedad de condiciones climatológicas externas, generalmente en áreas remotas.

Características actuales de Módulos solares.

Los diseños varían ampliamente entre productores. Cada línea de fabricación es adaptable fácilmente a una gran variedad de aplicaciones. Pequeña o no intercambiabilidad entre productores.

Diseño modular para varios niveles de baja y mediana potencia y voltaje bajos y altos - consistentes con baterías típicas de plomo-ácido. Ninguna precaución de seguridad -- eléctrica a bajos voltajes.

Precios moderadamente elevados, con énfasis primordial en demostración de su comportamiento en tiempo real, costos de infraestructura de soporte e instalación de importancia secundaria.

Diseñados para un bajo mantenimiento dentro de una gran variedad de condiciones climatológicas externas.

Características futuras de paneles vs características de futuras aplicaciones fotovoltaicas de potencia eléctrica (facilidades para centrales eléctricas, aplicaciones industriales,

comerciales y aplicaciones residenciales).

Características de aplicaciones futuras.

Grandes mercados, cada uno capaz de soportar un diseño de paneles significativamente diferentes y métodos de producción masiva.

Cargas de C-A de alta potencia y alto voltaje.

Requerirán de costos energéticos consistentes con las tarifas de consumo eléctrico; no aceptación de riesgos significativos y no compra de sistemas con propósitos de evaluación.

Características de paneles futuros.

Diseños específicos de paneles para aplicaciones significativamente diferentes, paneles producidos por métodos de producción masiva. Interfaces estandarizadas para permitir intercambiabilidad entre paneles producidos por diversos fabricantes para la misma aplicación.

Diseño modular para niveles elevados de potencia y voltaje y consistentes con códigos eléctricos para aislamiento, tierras y características de seguridad.

Diseños de paneles de bajo costo y de gran duración con historias probadas de comportamiento y consistentes con bajo costo de los sistemas (ejem. bajo costo de la estructura de soporte) y bajo costos de instalación y mantenimiento.

3.3. FUNCIONAMIENTO.

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 en energía eléctrica.

En la (Fig. 3.2.), se muestra un espectro de irradiancia solar, de referencia (fuera de la atmósfera terrestre). Un fotón de longitud de onda λ transporta una energía $E = hv = hc/\lambda$, donde h es la constante de Planck ($h = 6.62 \times 10^{-34}$ Joule - seg.), c la velocidad de la luz y v la -- frecuencia. Es posible obtener de este tipo de espectros, el flujo de fotones correspondiente a una longitud de onda determinada en el intervalo d mediante la relación:

$$N(\lambda) = M(\lambda) (\lambda/hc) d\lambda$$

donde $M(\lambda)$ es la irradiancia y $d\lambda$ corresponde a un intervalo normalizado de ancho espectral, igual a una micra de longitud. La (Fig. 3.3) esquematiza este resultado.

Los mecanismos de conversión en una celda solar, pueden explicarse fácilmente de la manera siguiente:

- A) El fotón deberá ser absorbido por el material que constituye el dispositivo. Por este mecanismo, conocido como absorción óptica, la energía del fotón se transfiere al material semiconductor.
- B) Esta energía deberá ser convertida en energía eléctrica, no en calor. Así pues, la energía del fotón debe transfe

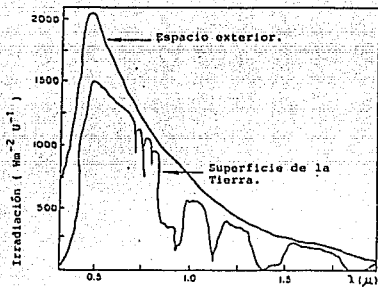


Figura 3.2 Irradiancia espectral del Sol.

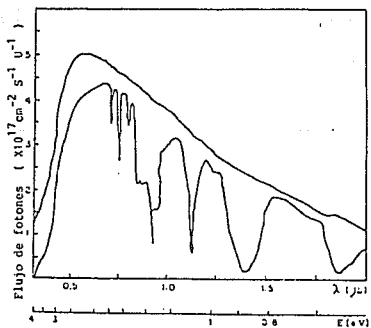


Figura 3.3 Flujo de fotones.

rirse a un electrón en forma de energía potencial. Este fenómeno se conoce como conversión cuántica, debido a que en un sólido los niveles de energía electrónicos están -- cuantizados.

- C) Finalmente, es necesario que los electrones excitados mediante su interacción, con los fotones no caigan a su nivel original, por algún mecanismo de relajamiento. Los - electrones deberán ser colectados en la dirección de los electrodos de salida de la celda solar, antes de que su - recombinación se efectúe. Luego es necesario un mecanismo de colección eficaz.

De esta manera, una celda solar estará constituida de un material absorbente y de una estructura colectora. El mate-- rial deberá poseer dos niveles de energía separados, suficien-- temente y tener una buena conductividad. Estas son dos propiedades características de los materiales semiconductores. La estructura colectora más simple es un campo eléctrico aso-- ciado a una diferencia de potencial interno. (potencial de - contacto), característica que puede lograrse en una celda so-- las fácilmente, realizando un contacto íntimo de semiconducto-- res de distinto tipo de conductividad, tipo N y tipo P, por ejemplo.

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).

El modelo más simple de un material semiconductor (Fig. 3.4.) está constituido por un sistema de dos niveles (bandas) de - energía E_1 y E_2 . En este modelo los electrones no pueden -- poseer las energías comprendidas entre E_1 y E_2 . Estos pue--

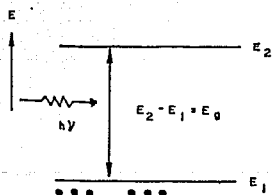


Figura 3.4 Modelo energético simple, de un material semiconductor.

den 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 este fotón.

Un fotón que transporte una energía igual o superior a E_g es absorbido íntegramente, transfiriendo 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 (hueco). 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 y participe a la corriente utilizable. El voltaje de salida de una celda solar ideal, será igual, por esto a la ganancia en 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); esto es $I = qA \int N(\lambda) d\lambda$, donde A será el área de dispositivo. La potencia máxima proporcionada será igual a $\frac{IE_g}{q}$ y el rendimiento ideal estará dado por:

$$N = \frac{I E_g}{qM}$$

donde M es la potencia total proporcionada por el Sol.

El intervalo E_g , de energía prohibida o "ancho de banda" es uno de los parámetros distintivos de estos materiales. El rendimiento energético de una celda solar ideal, como la descrita, dependerá así de este parámetro, pero no en una relación directa como podría pensarse, de la ecuación que da el rendimiento energético de este dispositivo ideal. Pa

ra una E_g determinada, la corriente estaría dada por la integral bajo la curva de la Fig. 3.3. , desde el, la energía en el espectro. De esta manera I aumentaría con la disminución de E_g ; sin embargo, lo que cuenta para el rendimiento, es el producto de I por el voltaje (la potencia) y el voltaje para la celda solar ideal, depende directamente de E_g y - aumentaría con el incremento de E_g . Así pues, existiría un valor de E_g para el cual la potencia entregada y el rendimiento en consecuencia sería máximo. La Fig. 3.5. , explica en forma gráfica este hecho. El rendimiento máximo para una -- celda solar ideal sería del orden del 45%.

Los mejores rendimientos de conversión en celdas de laboratorio realizadas con diversos semiconductores, son del orden - del 10 al 25%.

Estas eficiencias relativamente bajas, se deben esencialmente al carácter eminentemente cuántico de la conversión fotovoltaica. Los fotones con energía menor que el ancho de -- banda prohibida del material semiconductor, no puede utilizarse para crear pares de carga positivas y negativas (hueco-electrón), fotones con energía mayor que el ancho de banda E_g crean en general un par hueco-electrón por fotón, la energía en exceso de E_g se disipa en forma de calor en la - red cristalina del semiconductor; estas pérdidas combinadas pueden llegar a ser del 60%; las pérdidas restantes del orden del 20 al 30% depende de los parámetros característicos del material semiconductor; tiempo de vida, longitud de difusión; velocidad de recombinación superficial de la estructura fotovoltaica: unión p-n, metal semiconductor, etc., y de las limitaciones de los procesos tecnológicos utilizados: resistencia serie, coeficiente de reflexión, etc. Actualmente se reutilizan conceptos que fueron planteados en los primeros años de estudio sobre la conversión fotovoltaica de la energía, basados en la reducción de las pérdidas de no absor

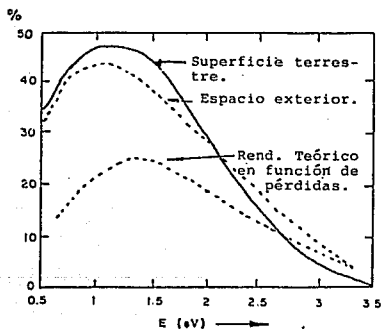


Figura 3.5 Rendimiento teórico de una celda solar ideal, contra E_g .

ción de fotones con energía menores que E_g . Esto es, la -- utilización en cascada de varias estructuras fotovoltaicas con diferentes materiales semiconductores, por ejemplo Arsenuro de Galio, Silicio y Germanio. Este tipo de celdas se les conoce como celdas multicolor y podrían llegar a tener eficiencia del orden del 40%.

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA CELDA SOLAR.

Una celda solar no iluminada, presentará unas características corriente-voltaje correspondiente a la de una unión P-N, con una resistencia serie (Fig. 3.6.). Por medio de una -- teoría simplificada, puede mostrarse que estas características están dadas en forma analítica por:

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

Donde I es el flujo de corriente en la unión, I_0 la corriente de saturación inversa y V es el voltaje aplicada (T es la temperatura en $^{\circ}K$ y k la constante de Boltzman, a T 25 $^{\circ}C$, KT 0.025 eV).

La iluminación de la celda resulta en una corriente de iluminación I_L .

El modelo de circuito que contiene este efecto se muestra en la (Fig. 3.7.).

Analíticamente esta situación estará representada por:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{q}{AKT} (V - IR_s)} - 1 \right) - I_L \quad \dots 2$$

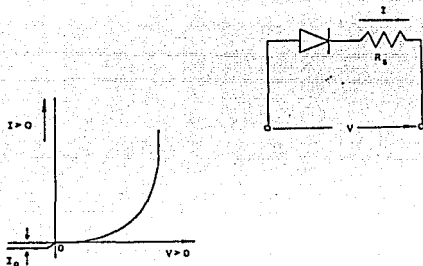


Figura 3.6 Circuito eléctrico equivalente, de un diodo de unión P-N, y su curva característica I-V en la

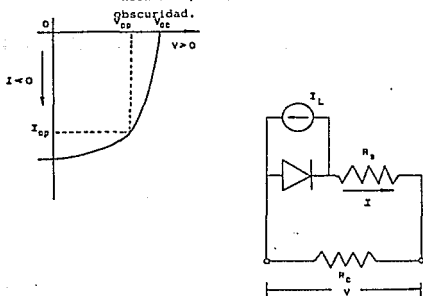


Figura 3.7 Circuito eléctrico equivalente del fotodiodo, y su curva característica I-V bajo iluminación.

Donde $I < 0$ ya que físicamente se tiene que $|I| \leq I_L$ /

Para condiciones de corto circuito ($R_c = 0$)

$$I = I_L$$

ya que $V \rightarrow 0$ e $IR_s \approx 0$ para $R_s \rightarrow 0$

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

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right) \quad \dots 3$$

En cualquier otra condición de carga ($R_c \neq 0$), V/V_{oc} , I/I_L /.

Debido a las características I vs V no lineales del dispositivo existirá un punto de potencia máxima entregada (representado por el máximo rectángulo inscrito en las características I vs V), caracterizado por la resistencia óptima

$$R_{op} = \frac{V_{op}}{I_{op}} \quad . \quad \text{En estas condiciones para una radiación so}$$

lar incidente determinada, P_{inc} la potencia máxima estará dada por

$$P_{max} = V_{op} I_{op} \quad \dots 4$$

y la eficiencia de la celda solar será

$$\eta = \frac{V_{op} I_{op}}{P_{inc}} \quad \dots 5$$

tanto V_{op} como I_{op} dependerán de las características I vs 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 útil y conveniente definir un factor experimental f_c , factor de curva, como:

$$f_c = \frac{V_{op} I_L}{V_{oc} I_L} \quad \dots 6$$

así, la eficiencia de la celda podrá expresarse

$$n = f_c \frac{V_{oc} I_L}{P_{inc}} \quad \dots 7$$

De esta manera una celda será más eficiente conforme crezca F_c .

$(V_{oc} \frac{AKT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right))$ y la relación $\frac{I_L}{I_0}$ sea lo más posible grande.

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

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

I_L densidad de corriente de corte circuito (mA/cm^2). Control: x_j y acabado superficial de las celdas.

V_{oc} Voltaje de circuito abierto (mV). Control: Densidad de corriente de saturación.

- f_c factor de curva. Control : R_s , I_0 , A .
- R_s resistencia serie (ohms). Control: máximo punto de potencia.
- A factor de curva adicional. Control univorme de la difusión, procesos de recocido, precipitación de elementos metálicos.
- e eficiencia eléctrica: $n_e = \frac{I_{op}}{I_t} \times 100$. Control: pérdidas por drenaje de corriente en la unión p-n.

eficiencia global.

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 en base al modelo simplificado de la (Fig. 3.7.).

La planta piloto de celdas y módulos implementada en el CIEA-IPN produce el 10% de eficiencia de conversión. La (Fig. 3.8.) muestra las curvas características I-V de las celdas de producción. La (Fig. 3.9.), muestra la misma celda sometida a distintas condiciones de iluminación.

3.4. CELDAS SOLARES DE SILICIO: ESTRUCTURA Y FACTORES QUE -- LIMITAN SU RENDIMIENTO.

La (Fig. 3.10. muestra la estructura de una celda solar de silicio.

Esta estructura simple nos permitirá analizar rápidamente --
cuáles son los factores que limitan el rendimiento de la cel

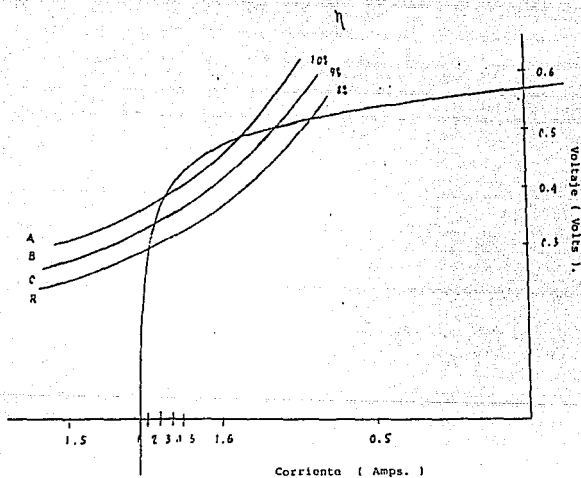


Figura 3.8 Curva característica I-V, de una celda de línea de Producción.

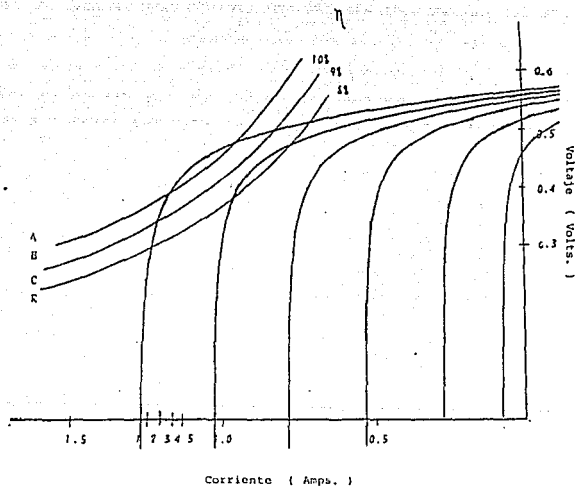
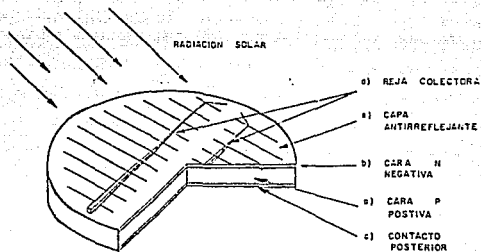


Figura 3.9 Curva características I-V, de una celda de la línea de Producción, bajo distintas condiciones de iluminación.



- a) Un sustrato tipo P aproximadamente 250 micras de espesor.
- b) Una zona tipo N difundida a alta temperatura sobre el sustrato y de espesor aproximado de 0.5 micras.
- c) Un contacto metálico posterior.
- d) Un contacto en forma de rejilla sobre la faz iluminada que permite recoger la corriente y dejar llegar la luz hasta el semiconductor.
- e) Una capa antirreflejante.

Figura 3.10 Estructura de la celda solar.

da. Podemos considerar que éstos son de dos tipos:

- 1) Aquéllos 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) Aquéllos que tienen origen en los procesos tecnológicos intervinientes en la fabricación de las celdas y que, en principio, pueden ser mejorados. Así, por ejemplo, la profundidad de 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. Hemos visto que para que el 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 tanto toda la energía del espectro solar que corresponde a fotones de energía inferior de la banda prohibida del material, no es aprovechable en la conversión. 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, un fotón que tenga una energía doble de ésta excitará el 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%.

La (Fig. 3.11) nos muestra los principales factores de pérdida en el rendimiento de conversión. Aparte de los ya vistos, que son los más importantes, están los llamados factor de voltaje, factor de curva.

La Fig. 3.11. define estos mecanismos de disminución de rendimiento. En ellos así como en la eficiencia de colección y en las pérdidas por la resistencia serie, es posible obtener mejores valores a partir de tecnologías más sofisticadas. El valor de la conversión final representado es del 15%, valor máximo razonable para aplicaciones terrestres de la energía solar fotovoltaica.

Existe la posibilidad de fabricar celdas de un rendimiento cercano al 18%, pero a un costo tan elevado, que las descalifica para aplicaciones en gran escala. En realidad un rendimiento de conversión de 10% unido a un proceso de fabricación sencillo y barato, constituye un buen compromiso en la actualidad. Es decir, que aunque el rendimiento teórico de la celda de silicio se sitúa entre 22 - 24%, el esfuerzo tecnológico actual no está dirigido a aumentar eficiencias sino a abaratar costos y simplificar procesos de fabricación.

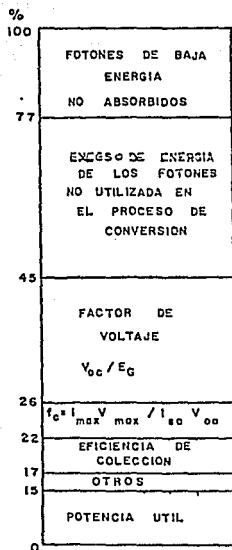


Figura 3.11 Pérdidas en la conversión fotovoltaica.

C A P I T U L O IV

TIPOS DE CELDAS Y SU TECNOLOGIA DE CONSTRUCCION.

Las tendencias tecnológicas para la fabricación de celdas - cubren tres aspectos que son: los materiales, las estructuras y los procesos de fabricación.

En el aspecto de materiales para la fabricación de celdas, existen básicamente 3 tipos desarrollados actualmente, siendo estos los siguientes:

- A) El silicio en cualquiera de sus formas monocristalino, - policristalino y amorfo.
 - B) El sulfuro de cadmio para celdas de CdS/Cu_2S
 - C) El compuesto Arsenuro de Galio ($GaAs$).
- A) Celdas de Silicio.

Actualmente el silicio ha sido el material más utilizado en la fabricación de celdas y módulos, con este material se -- abren 3 variantes. Siendo éstas, 1) el silicio monocristalino el más utilizado comercialmente, 2) luego sigue, el sí licio policristalino a nivel comercial y próximo a salir al mercado, y 3) las celdas de silicio amorfo.

- B) Celdas de CdS

Respecto a la estructura CdS/Cu_2S tenemos que actualmente - existe una fábrica a nivel comercial que produce módulos so lares a precio de 3-6 U.S. Dlls/Watt.

B) Celdas de GaAs.

Este material dada sus propiedades físicas, es uno de los más eficientes para la conversión fotovoltaica, su costo es muy elevado con respecto al silicio, aunque es ideal para usarse, en sistemas de concertación, con razones de concentración tan altas como 1000 soles.

ANALISIS DE ESTRUCTURAS PARA LA FABRICACION DE CELBAS SOLARES.

Dentro de la física del estado sólido y dadas las características de las estructuras fotovoltaicas, se han catalogado en tres grupos:

A) Homo-unión, P - N

B) Hetero-unión, P - N

C) Hetero-estructuras.

A) Homo-unión, P - N

Dentro de las estructuras con las características de homo-unión (un mismo material o un mismo compuesto), tenemos celdas de silicio donde se forma la unión semiconductor-semiconductor - P - N de silicio ambas partes, también la unión con compuestos semiconductores como el GaAs, donde también se forma la unión.

B) Hetero-unión, P - N.

Dentro de este grupo tenemos al CdS (n) / Cu_2S (p) donde los elementos que forman la unión son distintos.

C) Hetero-estructuras.

Dentro de este grupo podemos considerar las estructuras metal semiconductor o barrera Schottky. También entran en este grupo las estructuras metal aislante semiconductor o estructuras MIS. Así también encontramos las estructuras semiconductor aislante semiconductor o estructura SIS.

PROCESOS.

Las perspectivas de desarrollo para los procesos de fabricación de celdas se clasifican en tres etapas:

A) Formación de la unión.

B) Metalización.

C) Tratamiento superficial.

A) Formación de la unión.

Existen 4 métodos para la formación de la unión.

- 1) Por difusión, con fuente de dopado que puede ser líquida, sólida, mediante obleas, sólida mediante pinturas dopantes y altas temperaturas.
- 2) Implantación iónica con tratamiento térmico de laser, o en horno, o con microondas.
- 3) Mediante películas epitaxiales en donde tenemos depósito químico en fase de vapor (CVD) y depósito de películas en fase líquida LPE muy usado en el caso de GaAs.

B) Metalización.

En este proceso, tenemos diferentes técnicas para la metalización en celdas, entre las más usuales tenemos:

- 1) Por evaporación, técnica muy usual y conocida.
- 2) Por métodos electroquímicos, como el depósito de Pd/ní - por "electroless".
- 3) Mediante pastas conductoras, como pintura de plata aplicada por técnicas de serigrafía.

C) Tratamiento superficial.

Este proceso consiste esencialmente en tener la superficie de la celda solar con las mínimas pérdidas por reflexión en el acoplamiento óptico entre la superficie y el medio ambiente.

Entre las técnicas desarrolladas para eliminar este efecto (la reflexión) se cuentan con las siguientes:

- 1) El ataque a la superficie para texturizarla (piramidal).
- 2) Depósito de películas delgadas, como capas antirreflejantes por métodos de evaporación o rocío químico.
- 3) Depósito de capas antirreflejantes aplicadas por spray (en frío) o por métodos centrífugos ("espiner") en frío.
- 4) Depósito de cargas depositadas de nitruro y silicio por métodos de CVD.

MODULOS Y PANELES FOTOVOLTAICOS.

Dado el estado actual de desarrollo técnico-económico de las celdas solares, para aplicaciones terrestres, se considera - generalmente que los convertidores fotovoltaicos (módulos y paneles de celdas solares), están hechos para los países de gran insolación y, que la mayor parte de las aplicaciones -- económicamente rentables, necesitan potencias pico de algunas decenas o centenas de watt o hasta kilowatts.

En la sección 3 anterior, se ha visto que una celda solar es un dispositivo que genera potencia eléctrica a valores relativamente bajos.

- El voltaje óptimo para potencia máxima se sitúa alrededor de 0,450 volts.
- La corriente óptima para la misma potencia o mejor la densidad de corriente óptima, es alrededor de 30 mA/cm².
- La potencia máxima proporcionada por una celda, será aproximadamente de 13.5 mW/cm².

Ya que la corriente proporcionada por la celda es proporcional a su superficie (igual a densidad de corriente por superficie total (cm²), en tanto que el voltaje es independiente de ésta (según se vió en la sección 3), la potencia máxima - total proporcionada por una celda, será proporcional al área de la misma.

Un módulo solar está constituido por arreglos series y/o paralelo de celdas, así se obtienen las aplicaciones y se diseñan arreglos serie y/o serie-paralelo de celdas solares (módulos) adecuadas para proporcionar una potencia pico dada a

un voltaje determinado, en general, por los rangos de operación de las baterías en flotación de los sistemas (en particular las baterías comerciales comunes trabajan a múltiplos de 6 y 12 volts). El arreglo serie-paralelo de estos módulos proporcionarán el voltaje y la corriente necesaria para la aplicación deseada.

Así por ejemplo, un módulo solar ha de ser utilizado en conjunción con una batería de 12 volts nominales, deberá generar potencia a un voltaje terminal a plena carga de la batería y 0.7 volts la caída en el diodo de bloqueo. Para tener este voltaje se necesitará un número de celdas igual a $14.5/0.45 = 32.2$ celdas, ésto es 33 celdas. Sin embargo, para períodos de insolación débil o por efectos de la temperatura de operación (60°C dependiendo del tipo de soporte y protección ambiental del módulo) el voltaje por celda puede disminuir al 95% (el voltaje disminuye como una función logarítmica de la intensidad solar. Sección 3), deberá preverse un número de celdas del orden de $14.5/0.43=34$ celdas. En general, los módulos para aplicaciones con baterías de 12 volts nominales se diseñan con 36 celdas en serie con el fin de que el generador solar funcione como fuente de corriente, con la batería como carga reguladora, o con el fin de prolongar la vida útil de las demás baterías.

Es una práctica común de los fabricantes de módulos mostrar las características corriente-voltaje de sus módulos bajo iluminación en el primer cuadrante (corriente positiva). En la (Fig. 4.1.), se muestran las características corrientes vs voltaje a diferentes iluminaciones de un módulo Philips BPX-47. Las líneas de igual potencia indican que, para una temperatura de las celdas 60°C a un nivel de irradiación de 1 KW/m^2 , se puede generar una potencia de 9.7 watts. Los niveles de menor irradiación reducen en forma notable la corriente, no así el voltaje que se reduce en menor pro-

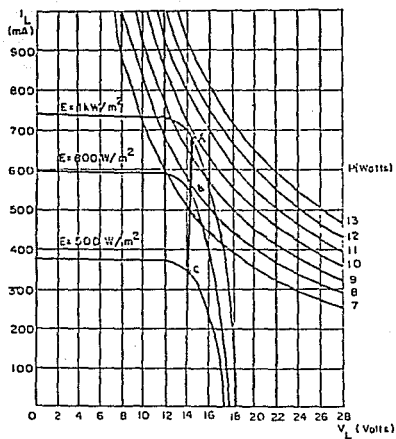


Figura 4.1 Características corriente contra voltaje a diferentes iluminaciones de un módulo Philips BPX-47

porción. Los puntos A, B y C representan los puntos de máxima generación de potencia (Resistencia de carga óptima), si estos puntos se interconectan, el resultado es aproximadamente una línea recta. Esta línea representaría una carga eléctrica (por ejemplo, una batería), que proporcionaría un acoplamiento energético perfecto con relación a las variables de insolación.

En general, la temperatura afecta el rendimiento de conversión de las celdas solares por efectos intrínsecos al material semiconductor con el cual están elaboradas las celdas; en particular, la variación del ancho de banda E_G con la temperatura, muestra una disminución con el aumento de ésta, éste último se refleja en un aumento de la fotocorriente de la celda, debido a que habrá más fotones con energía mayor a E_g . Por otra parte, dado que el rendimiento de la celda es proporcional a V_{ca} (voltaje en circuito abierto, ver Ec. 3.7) y éste es función del ancho de banda E_g del material, a través de la relación funcional de

I_0 con E_g : $I_0 \propto \frac{-E_g}{KT}$, y la relación $V_{ac} = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0}\right)$, el voltaje V_{ca} se reduce con el aumento de la temperatura y el rendimiento decrece. En general, una celda solar o un generador solar, será más eficiente conforme la temperatura de operación sea menor.

En la (Fig. 4.2.), se muestra la dependencia con la temperatura de un módulo Philips. La corriente de corto circuito tiene un coeficiente positivo de temperatura de alrededor de $0.5 \text{ mA}/^\circ\text{C}$, mientras que el voltaje de circuito abierto tiene un coeficiente negativo de temperatura de aproximadamente $-74 \text{ mV}/^\circ\text{C}$. Esto es, el voltaje V_{ca} se reduce de 22 volts a 0°C a 18.3 volts a 60°C . El resultado es que la potencia máxima disponible varía de 12 watts para 0°C a 9.7 watts para

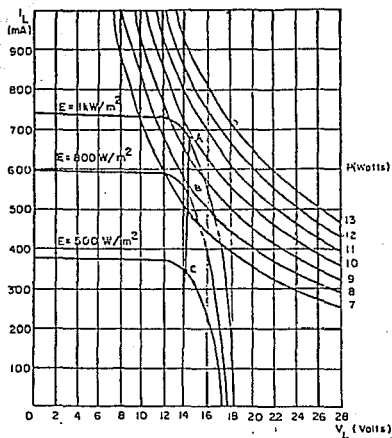


Figura 4.2 Pérdidas en la conversión fotovoltaica.

60°C (temperatura probable de trabajo de las celdas). Con la línea de carga de la Fig. 4.1. puede mostrarse que la influencia de la temperatura sobre la corriente de carga es muy pequeña. La curva de la (Fig. 4.3.), pone en evidencia este resultado. Por otra parte, el hecho de que una batería de plomo-ácido tiene también un coeficiente de temperatura negativo para el voltaje, favorece el acoplamiento energético.

4.1. COMPONENTES DEL SISTEMA

La composición de un sistema fotovoltaico es variable, según el fin al que esté destinado. En todos los casos, sin embargo, existe una estructura compuesta de tres subsistemas:

- Panel fotovoltaico (subsistema convertidor).
- Batería (subsistema acumular).
- Regulador e inversor (subsistema electrónico).

Que se distribuyen en la forma que se refleja en la (Fig. 4.4.), en función de si el consumo de energía eléctrica se realiza en directa o alterna. En seguida se describirán las características de los tres subsistemas mencionados.

4.2. PANEL FOTOVOLTAICO.

La menor unidad de celdas ensambladas se denomina módulo fotovoltaico (Fig. 4.5.).

A) A su vez, la menor unidad de módulos ensamblados se llama panel (Fig. 4.5.b). Normalmente un generador fotovoltaico, se construye ensamblando un determinado número de mó-

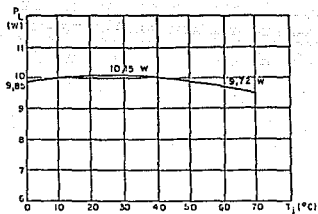


Figura 4.3a Potencia contra Temperatura.

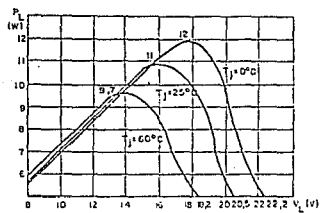


Figura 4.3b Potencia contra Voltaje.

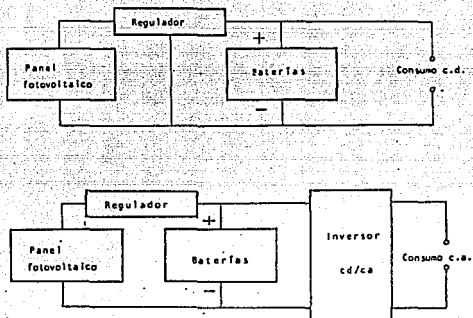


Figura 4.4 Diagrama de bloques de diferentes sistemas fotovoltaicos.

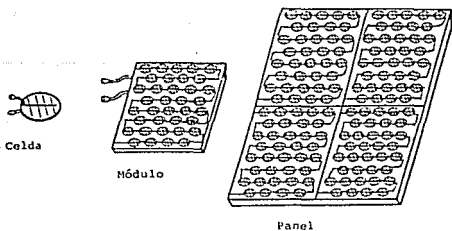


Figura 4.5 Celda, Módulo y Panel fotovoltaico.

dulos o de p neles.

Cuando una celda solar de silicio es iluminada por el Sol, - en sus terminales aparece una diferencia de potencial de corriente directa del orden de 0.5 volts. Y para una carga -- eléctrica conveniente, entrega una corriente proporcional al área y al nivel de radiación incidente. En un día despejado y para un sol brillante, la densidad de potencia que recibe la superficie terrestre es de aproximadamente 1 KW/m^2 en condiciones de incidencia directa. En estas condiciones, las celdas solares de silicio convencionales, proporcionan una densidad de corriente de $25\text{-}35 \text{ mA/cm}^2$, convirtiendo del 10 - al 15% de la energía incidente en energía eléctrica.

Consideremos el diseño de un módulo. Una celda de 5 cm de diámetro con una superficie de 20 cm^2 , a pleno sol, con un rendimiento del 15% a temperatura ambiente, da una potencia de cerca de 0.3 watts a menos de 0.5 volts. Una celda de 10 cm de diámetro (80 cm^2) libera cerca de 1.2 watts bajo las mismas condiciones. Conectado un determinado número de celdas en paralelo y/o en serie, es posible suministrar cualquier potencia a cualquier voltaje (lo mismo ocurre al conectar los módulos para formar un pánel).

Se ha visto que una celda solar es un dispositivo que genera potencia eléctrica a valores relativamente bajos:

- El voltaje óptimo para potencia máxima se sitúa alrededor de 0.5 volts.
- La densidad de corriente óptima para la misma potencia es alrededor de 30 mA/cm^2 .
- La densidad de potencia máxima proporcionada por una celda será alrededor de 13.5 mW/cm^2 .

Ya que la corriente proporcionada por la celda es proporcional a su superficie (igual a densidad de corriente por superficie total), en tanto que el voltaje es independiente de ésta. La potencia máxima total proporcionada por una celda será proporcional al área de la misma. Como dijimos anteriormente, un módulo solar está constituido por arreglos serie y/o paralelo de celdas, así se obtiene las potencias necesarias para las aplicaciones y se diseñan arreglos serie y/o paralelo de módulos adecuados para proporcionar una potencia pico dada a un voltaje determinado, en general por los rangos de operación de las baterías en flotación de los sistemas (en particular las baterías comerciales comunes trabajan a múltiplos de 6 y 12 volts). El arreglo serie-paralelo de estos módulos, proporcionará el voltaje y la corriente necesaria para la aplicación deseada.

Se debe prestar una atención especial a la igualación de las características eléctricas de las celdas, que van a ser ensambladas. Como norma general, todas las celdas que van a ser conectadas en paralelo, deben tener el mismo voltaje de circuito abierto y, más importante aún, el mismo punto de máxima potencia por voltaje. Las celdas para ser conectadas en serie, deben tener la misma corriente de corto circuito y de la misma corriente para potencia máxima. La diferencia de las características de las celdas fotovoltaicas, produce malos módulos, porque las celdas de mayor fotocorriente y fotovoltaje, disipan su exceso de potencia en las celdas de menor característica eléctrica. Como resultado, la composición global de un módulo de celdas fotovoltaicas, está limitada por las celdas pobres (celdas mal fabricadas, con los contactos mal soldados o simplemente celdas sombreadas). La producción total de potencia, se reduce además, por un incremento de la temperatura de las celdas, debido a la disipación interna de potencia.

Para varias aplicaciones, se pueden diseñar módulos estandar cumpliendo condiciones específicas. Dado que corrientemente sólo se usan ciertos voltajes estándar, como 1.5V, 6V, 12V, 24V, 48V, que son múltiplos unos de otros, los módulos fotovoltaicos se suelen diseñar de acuerdo con uno de estos estandar. La estandarización de los módulos, simplifica el proceso de producción y proporciona una considerable flexibilidad a los sistemas fotovoltaicos de potencia; por otra parte, se facilita la producción automática y el control del proceso de fabricación.

Las celdas de silicio ensambladas, son frágiles y se deben proteger por ambos lados. Esto se consigue colocándolas entre una capa de protección superior y otra inferior. El coeficiente de expansión térmica de los materiales protectores, tanto el superior como el inferior, debe ser similar y compatible, además con el de las celdas de silicio y el pegamento. Las celdas selladas bajo vidrio, tienen la ventaja de mantener intactas sus propiedades óptimas, mecánicas y eléctricas, durante largos períodos de funcionamiento. Por el contrario, los polímeros, no impiden la penetración de la humedad en las uniones y la metalización; consecuentemente, son apropiados sólo si el silicio y otros metales subyacentes, son resistentes a la corrosión. Los plásticos son mas ligeros que el vidrio; sin embargo, se deben escoger cuidadosamente, puesto que algunos tipos pueden perder su transparencia a la luz y su solidez después de una larga exposición a la luz solar y a la atmósfera.

Varios son los factores que determinan el envejecimiento y muerte de un panel fotovoltaico, entendiéndose por envejecimiento, la progresiva pérdida de rendimiento. Según los datos existentes, la vida de un panel es de 20 años, al cabo de los cuales su rendimiento es aproximadamente un 75% del inicial. En los 5 años siguientes, se suele producir --

una degradación acelerada, que hace descender el rendimiento hasta valores despreciables.

Durante la vida de un pánel, su rendimiento se ve afectado por factores ambientales. El más importante, es la temperatura. Como dato orientativo, se puede considerar que por cada grado centígrado que aumenta la temperatura ambiental, la eficiencia del pánel se reduce en 0.45% del valor a temperatura ambiente. El rechazo al calor, se favorece con una aireación (y convección) natural. Además, es importante evitar la fijación del pánel sobre o cerca de una superficie metálica negra expuesta de lleno a la luz solar. Se logra normalmente una temperatura de funcionamiento, no superior a -10°C , por encima de la temperatura ambiente. Otro factor que afecta el rendimiento del pánel, es la suciedad sobre la superficie. Se ha comprobado que en ambientes urbanos, la deposición de polvo, partículas, etc., produce pérdidas de potencia que oscilan entre 5 y 25%. Los p neles con cubierta de vidrio presentan muy reducidas. En ambientes rurales, los porcentajes anteriores se reducen a valores menores al 5%.

Veamos ahora cada cuando se debe limpiar los p neles solares. La experiencia adquirida, es bastante alentadora en este sentido. Algunos p neles instalados sobre tejados en zonas rurales, mantuvieron durante un año su funcionamiento total, sin necesitar de limpieza. P neles instalados en la costa se limpiaron en intervalos de 3 meses, pero nunca mostraron un descenso de más del 5% de potencia, debido a la polución. Los p neles solares no necesitan mantenerse ópticamente limpios; excepto en caso de que est n instalados en lugares donde exista la posibilidad de quedar cubiertos por capas opacas de suciedad. Aunque las superficies sucias difunden la luz solar y absorben poca energía, las celdas solares continúan funcionando bajo la luz difusa. Por esto, el problema

de la limpieza es mucho más favorable a las celdas solares, que a los espejos que se necesitan para concentrar la luz solar.

En la mayoría de las aplicaciones, se asocia una batería química recargable al panel solar para salvar los períodos de nula o insuficiente insolación. A temperatura de funcionamiento, el fotovoltaje en el máximo punto de potencia, debe ser igual al voltaje de recargado de la batería.

La fiabilidad y la duración de los paneles solares, son características particularmente interesantes, pues afectan al costo de la energía solar utilizable. La causa corriente de las fallas en los sistemas fotovoltaicos es la batería. Sólo en el caso de un encapsulado pobre de los paneles de silicio, se pueden llegar a la corrosión de la metalización de los contactos y de los alambres de conexión. Por otro lado, pueden lograr una duración superior a los 20-30 años.

En general, los paneles solares se montan rígidamente y orientados hacia el sur (en el hemisferio norte) con una inclinación cercana al ángulo de la latitud.

4.3. BATERIAS.

Una componente clave de los sistemas fotovoltaicos, es la batería que almacena la energía eléctrica para su uso durante períodos sin sol.

Las funciones de un acumulador se resumen en lo siguiente:

- Suministro de energía en horas de no insolación o en épocas de menor insolación.

- Garantiza una autonomía en días nublados.
- Garantizar, en conjunción con el regulador, una tensión de funcionamiento de la instalación bien definida.
- Suministrar energía a aparatos de elevada potencia y corto período de utilización.
- Descargas a bajas intensidades. En tanto que los acumuladores de arranque están diseñados para descargar a altas intensidades en cortos períodos de tiempo y los de tracción descargan la casi totalidad de su capacidad, en una jornada de ocho horas, los acumuladores solares se descargan -- diariamente a intensidades tales que cederían su capacidad total en períodos largos, a veces superiores a mil horas.
- Permanencia en estado parcial de carga, durante tiempos -- prolongados. Tanto los acumuladores de arranque como los estacionarios o los de tracción, están diseñados para ser recargados una vez que han cedido total o parcialmente su capacidad. Este no es el caso del acumulador solar, que -- en los períodos de déficit debe permanecer parcialmente -- cargado y restablecer su capacidad en los períodos de mayor insolación.
- Ciclado diario. Es evidente que el acumulador solar, sufre un ciclado diario más, o menos marcado. Según sea la -- profundidad permitida de descarga para que el acumulador -- no sufra pérdidas de características, será mayor o menor -- la acumulación total necesaria.
- Mínimo mantenimiento. Es una exigencia acorde con las ca -- racterísticas de los restantes componentes de la instala -- ción fotovoltaica.

- Baja autodescarga. Interesa que el acumulador tenga una mínima pérdida de capacidad por autodescarga para no tener sobredimensionada la acumulación total. Hay autores, sin embargo, que consideran que este factor no es tan relevante como generalmente se piensa, pues afirman que al auto-descarga ocurre cuando el acumulador está en circuito abierto, y que en régimen de descarga, carga o sobrecarga, la pérdida es mínima

ELECCION DEL TIPO DE ACUNULADOR.

Existen en la actualidad, una variedad de acumuladores Pb-ácido que se utilizan para las aplicaciones fotovoltaicas. La mayoría de ellos son de arranque y sólo unos pocos estacionarios.

- Pb - ácido	Plomo - ácido.
- Ni - Cd	Níquel - Cadmio
- Ni - Fe	Níquel - Fierro
- Ni - Zn	Níquel - Zinc
- Zn - Cl	Zinc - Cloro
- Zn - Aire	Zinc - Aire
- S - Na	Azufre - Sodio
- Li - Cl	Litio - Cloro

Excepto los tres primeros de esta lista, los demás están en fase de desarrollo y sus principales características (densidad de energía y ciclos de vida) están escasamente definidos a lo sumo a nivel laboratorio.

Entre los tres tipos bien conocidos (Pb-ácido, Ni-Cd y Ni-Fe) el que reúne las mejores condiciones para justificar su mayor consumo en aplicaciones solares es, sin duda, el acumulador Pb-ácido. En efecto, su eficiencia, adaptabilidad, confiabi

lidad, densidad de energía y precio, lo hacen ventajoso respecto al resto.

Dentro del concepto de acumulador Pb-ácido hay varios tipos que pueden agruparse según diferentes criterios, por un lado atendiendo a su uso y aplicación, se tendría así la siguiente clasificación:

- Acumuladores de arranque, estacionarios y de tracción.

Si se considera la composición de algunos de los integrantes del acumulador, se tiene la siguiente clasificación:

- Acumuladores de Pb-puro, de Pb-Sb y de Pb-Ca.

Características del acumulador solar.

Los factores que definen el comportamiento de un acumulador solar, son muy diferentes a los que caracterizan a los acumuladores existentes. Cabe destacar las siguientes características:

En los acumuladores de arranque, debido a su diseño específico, existe una alta relación de la masa de materia activa a electrolito, por lo que las descargas de alta duración pueden estar seriamente limitadas por el agotamiento entre las placas.

En cuanto a otras características de los acumuladores, cabe decir que los de Pb-Ca, presentan baja autodescarga y reducido consumo de agua. Sin embargo, su resistencia a los ciclos carga-descarga y su capacidad para permanecer durante largos períodos de tiempo en su estado de baja carga son ambas bajas. En estas condiciones los acumuladores de Pb-Sb son superiores a los de Pb-Ca.

Existen varias alternativas diferentes para el dimensionado de una instalación fotovoltaica, en función de la misión que deba cumplir el acumulador en ella.

Según sea esa misión, la batería a utilizar se puede definir como:

- Batería de ciclo diario superficial.
- Batería de ciclo anual.
- Batería de ciclo diario profundo.

BATERIA DE CICLO DIARIO SUPERFICIAL.

Dentro de la terminología de baterías, una carga y una descarga, es llamada un ciclo. Un "ciclo superficial", es un ciclo en el cual la descarga rutinaria es menor al 10% de la capacidad disponible. Pero ocasionalmente, puede ser descargada hasta más de un 80%.

Este modo de funcionamiento es el más suave para la batería, ya que su misión consiste en abastecer el consumo diario de horas de insolación y garantizar un número de días de autonomía prefijado en base a los datos estadísticos de días nublados consecutivos en el lugar donde se hace la instalación. El acumulador debe cargarse totalmente antes de la puesta -- del sol y mantener este comportamiento a lo largo de todo el año. Únicamente en los días nublados, el acumulador se descarga hasta un límite que debe ser indicado por el fabricante de baterías, para después cargarse totalmente en unos pocos días tras el período nublado. Para que se cumplan estas condiciones, es necesario que el panel fotovoltaico suministre energía suficiente para abastecer el consumo en los meses de mínima insolación. En estas circunstancias el panel

suministra a lo largo del año mucha más energía que la exigida por la demanda de consumo.

BATERIA DE CICLO ANUAL.

Este modo de funcionamiento, implica que el acumulador además de abastecer el consumo diario durante la noche, debe suministrar energía en los meses de menor insolación, dando origen a una evolución cíclica anual del estado de carga. Además, el acumulador en las condiciones mínimas de carga del ciclo anual, debe ser inferior a un valor prefijado por el fabricante. En este caso, las condiciones de funcionamiento del acumulador son duras ya que deben permanecer un período de tiempo más o menos largo en condiciones de baja carga.

De esta forma, el número de celdas solares necesario es menor que en el caso anterior para las mismas condiciones de instalación y la capacidad necesaria de acumulación será mayor. Este sistema implica un mayor aprovechamiento de la energía anual que suministra el panel fotovoltaico que el conseguido en el caso anterior.

BATERIA DE CICLO DIARIO PROFUNDO.

Un "ciclo profundo" es un ciclo en el cual la batería es rutinariamente descargada hasta arriba del 80% de la capacidad disponible.

Hay dos tipos principales de baterías industriales de ciclo profundo: de lámina plana (de arranque) y de lámina tubular (de tracción).

La batería de ciclo diario profundo, debe suministrar energía en las horas nocturnas, pero no es capaz de garantizar como en los casos anteriores, un número determinado de días de -

autonomía. En consecuencia, la instalación fotovoltaica sólo puede emplearse como un sistema de ahorro de otro tipo de energía disponible, la seguridad de funcionamiento del sistema global no depende, como en los dos casos anteriores del acumulador, sino de otra fuente auxiliar de energía. Esta característica, junto con el hecho de que la instalación tiene como fin principal un ahorro económico, puede justificar una menor inversión en acumulación, basándose en poder realizar ciclados diarios del 50-80% de la capacidad nominal, aun que la vida de la batería sea menor.

De este tipo de instalación, la energía que suministra el panel es aprovechado al máximo, al contrario de los casos anteriores.

EVOLUCION ANUAL DEL ESTADO DE CARGA DEL ACUMULADOR Y AUTODESCARGA.

Uno de los factores que más decisivamente puede influir en el comportamiento de un acumulador solar, es el tiempo que va a permanecer en estados de baja carga a lo largo del año. Las permanencias en estado de baja carga, repercuten decisivamente en la vida del acumulador (reacciones irreversibles en las placas, etc.). Dado que el Sb es principal causante de la pérdida de agua del acumulador, una de las soluciones ensayadas en la actualidad para conseguir el acumulador sin mantenimiento, es sustituir el Pb de las rejillas por Ca. Así se mantienen las propiedades mecánicas de la rejilla (el Pb puro es excesivamente blando) y se reduce el consumo de agua producida durante la sobrecarga. Al mismo tiempo que se reduce el gaseo, se mejora el fenómeno de autodescarga, que consiste en la pérdida de capacidad producida cuando el acumulador esfa en circuito abierto. La autodescarga se produce por reacciones electroquímicas de puntos de una misma placa con distinto potencial, favorecidas por la presen-

cia de Sb en la placa. Esta mejora de características (menor gaseo y menor autodescarga) conlleva una pérdida de adherencia de la materia activa a la rejilla, adherencia bien asegurada si se introduce Sb.

El acumulador solar no va a estar largos períodos en circuito abierto, si no carga y descarga. Se hace necesario elaborar nuevos ensayos para cuantificar la importancia de la autodescarga bajo estas nuevas condiciones, ya que es lógico pensar que las pilas formadas en una placa por diferencias de potenciales puntuales, serán sustancialmente modificadas, o quizá anuladas, cuando el acumulador esté cargando o descargando.

Aún suponiendo que se demostrase que la autodescarga no disminuye en las condiciones de un acumulador solar, su mayor o menor importancia dependerá del dimensionado del generador fotovoltaico. Así, de los tres tipos de soluciones apuntadas en la denominada de ciclo diario superficial y en la de ciclo diario profundo, la autodescarga no debe fluir en el dimensionado por diferentes motivos. En el primer caso, el acumulador está siempre cargado y hay un exceso de energía procedente del pánel que se pierde y que compensa suficiente la autodescarga. En el caso del ciclo diario profundo, donde el acumulador se descarga todos los días más de un 50%, la autodescarga diaria es siempre una cantidad despreciable frente a este valor (se aceptan pérdidas diarias de 0.1% para el Pb-Sb y 0.03% para el Pb-Ca).

En el caso de baterías con un ciclo anual, la autodescarga tampoco se debe considerar como un dato relevante para el dimensionado. Si se considera los días que el acumulador va a permanecer por debajo del 100% de su carga nominal (120 días al año en un dimensionado medio), en ellos se produciría una pérdida del 12% si la batería es de Pb-Sb y de 4% si está fa

bricada por Pb-Ca.

La diferencia entre ambas es, por lo tanto, de 8% en la capacidad nominal de partida. Ahora bien, si se tiene en cuenta que ambas aceptan muy diferente capacidad límite en el ciclo anual (inferior a 30% el Pb-Sb y no inferior al 50% el Pb-Ca), la diferencia de capacidad nominal que este factor introduce, compensa sobradamente cualquier ventaja introducida por la autodescarga.

En la densidad ... 180 Wh/Kg.

4.4. REGULADORES.

Con el aumento del uso de sistemas fotovoltaicos de energía, un aumento similar en el número de tipos de reguladores de C.D., está haciendo su aparición. Frecuentemente la selección del tipo conveniente de regulador, y la especificación de varios parámetros, puede ser confusa. En este apartado intentamos hacer el proceso de selección un poco más fácil.

Un regulador es un dispositivo mecánico o eléctrico que previene de sobredescarga a las baterías, al efectuar estados de máxima carga. Un regulador puede incluir también otros caracteres, como control de carga, indicador de fallas o averías, controles de generadores auxiliares, etc.

Si el valor de la insolación fuera constante, un regulador podría no ser necesario. Desafortunadamente, factores como la condición atmosférica, variaciones estacionales, nubosidad y cambios de la temperatura ambiental tienden a hacer los módulos solares más bien fuentes "dinámicas" de potencia.

¿Qué sucedería sin un regulador? Durante periodos de alta -

insolación, cuando los módulos están produciendo más potencia durante el día que la consumida en 24 horas, las baterías potentes alcanzan una condición de carga completa en la mañana. Al medio día, el exceso de energía de los paneles causará a las baterías entrar en una condición de sobrecarga, resultando un ataque excesivo al electrolito y un daño innecesario a éste. Un daño físico puede también resultar de una sobrecarga. Como alabeo de las placas y dislocación de la placa de plomo.

En un sistema fotovoltaico donde las condiciones de carga son impredecibles y donde el arreglo es dimensionado para compensar condiciones de "no Sol", o para proteger las costosas baterías.

La función de un regulador de carga se resumen en lo siguiente:

- Evitar sobrecargas a las baterías, desconectando cuando éstas no se encuentran cargadas.
- Impedir la descarga de los acumuladores a través de los paneles en períodos en que no existe o es muy baja la insolación.
- Ajustar la tensión de carga según el estado de carga de los acumuladores.
- Sería deseable también que el regulador ajustara la tensión de carga de los acumuladores en función de la temperatura ambiental, o al menos, que la variara según las estaciones del año.

Como puede observarse, algunas de las misiones más importantes de un regulador de carga, están fundamentadas en un buen

conocimiento previo del estado de carga de los acumuladores. En la actualidad, dicho parámetro se detecta a través de medidas de tensión en circuito abierto, sin embargo, los fabricantes de acumuladores consideran que dichas medidas no son suficientemente significativas.

TIPOS DE REGULADORES.

Hay dos tecnologías básicas usadas para llevar a cabo la regulación fotovoltaica: La de relevadores y la de transistores de estado sólido. Considerando cada tipo, y los varios métodos que cada uno emplea para regular, junto con las ventajas y desventajas de cada tipo, permitirá al diseñador de sistema fotovoltaicos seleccionar un regulador que cumpla propiamente con los requerimientos del sistema.

REGULADORES CON RELEVADOR.

Un regulador con relevador puede usarse para controlar el flujo de corriente del arreglo. Típicamente, cuando el Sol se eleva en la mañana, el relevador se cerrará, conectando los módulos directamente a las baterías. (Este es un regulador serie: el elemento de control, en este caso el relevador, está en serie entre los módulos y las baterías). Como la carga aumenta, el voltaje de la batería se elevará. Utilizando la información proporcionada por los fabricantes de baterías, es posible aproximar el estado de carga de la batería a el voltaje en las terminales, para un régimen dado de carga. Por lo tanto, por medio del voltaje en las terminales para un régimen dado de carga. Por lo tanto, por medio del voltaje en las terminales de la batería, el regulador puede decidir cuándo detener el flujo de corriente y puede hacerlo así -- abriendo el relevador de carga.

Usualmente, el voltaje al cual se detiene la carga es ligera

ramente mayor que el punto donde ocurre la gasificación del electrolito, impidiendo la estratificación, y resultando una disminución en la capacidad de la batería. Esta mezcla de electrolitos es especialmente importante en baterías muy grandes.

La mayoría de los reguladores con relevador, tienen un sobre regulador de estado sólido de baja corriente (o sobrerregulador flotante), para suministrar una "última carga a las baterías. Esta "última" carga es necesaria porque no puede ser obtenido el 100% del estado de carga usual cuando el relevador de carga está cerrado.

Una característica importante disponible en algunos reguladores con relevador, es un "sistema de administración de carga". Esta característica es importante para sistemas usados en residencias o áreas donde las condiciones de carga son imprevisibles y ampliamente variables. Si el sistema de consumo se sobrecarga, las baterías podrían llegar a dañarse seriamente. Esta descarga se evita usualmente por la apertura de un relevador localizado entre baterías y el sistema de consumo.

Generalmente, la esperanza de vida de las baterías puede ser reducida si es removida demasiada energía de ellas. En algunos casos, por ejemplo, cuando son usadas las baterías plomo-calcio en el sistema, un agotamiento total de la batería puede ocasionar una drástica e irreversible pérdida de capacidad. Por lo tanto, es necesario proteger las baterías de grandes descargas. Esta es la función del "sistema de administración de carga".

REGULADOR DE ESTADO SOLIDO.

Muchos sistemas requieren el uso de un regulador que no tenga partes móviles. Esto obviamente niega el uso de un regulador

con relevador. En este caso, puede ser utilizado un regulador de estado sólido. Hay tres tipos generalmente disponibles: -- en serie, derivación y de interruptor.

En el regulador en serie, un transistor de potencia es usado para controlar el flujo de corriente del arreglo. Así como el regulador con relevador, una unidad de dos pasos dará mayor -- eficiencia en el esquema de carga.

Los reguladores tipo derivación, operan desviando la potencia del arreglo fuera de las baterías si éstas alcanzan su máxima carga. Esta desviación es usualmente ejecutada:

- 1) conectando un corto circuito el panel de la tierra y en un lado del panel de diodo de bloqueo (una unidad de derivación interruptor), o
- 2) causando que la potencia del panel sea disipada como calor en el transistor de derivación (una unidad derivación lineal).

Para prevenir la gasificación, los reguladores de derivación -- están generalmente ajustados para detener la carga justo por -- debajo del punto de gasificación. Desafortunadamente, esto pu -- diera permitir la estratificación en grandes baterías y puede detener la carga antes de que la batería esté completamente -- cargada. Por eso, es importante elegir el voltaje de corto -- circuito cuidadosamente, y con referencia a la temperatura.

Los reguladores tipo interruptor, cargan el sistema de bate -- rías rápidamente conectando y desconectando la salida del pa -- nel a las baterías. Para descargar las baterías, el interrup -- tor está más tiempo conectado que desconectado. Así el esta -- do de carga (voltaje en las terminales) aumenta, al mismo tiem -- po que la corriente del arreglo disminuye. De esta manera es utilizado un esquema de carga cuidadosamente controlado.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL REGULADOR TIPO CONTROLADOR.

Las primeras ventajas del relevador tipo controlador son:

1) Bajo costo por watts, y 2) eficiencias extremadamente altas

Como ejemplo del primer caso, no es extraño encontrar un relevador tipo controlador de 30 amp. por un precio relativamente bajo. Como ejemplo para el segundo caso, un controlador de 30 amp. podría consumir solamente 100 amp. de corriente, resultando una eficiencia de 99.7%.

El mayor inconveniente es que el relevador constituye una parte móvil, sujeta a desgaste. Además, los relevadores traen -- contactos de corriente que pueden deteriorarse. Sin embargo, un controlador bien diseñado tendrá una expectativa de vida semejante a la de los paneles solares.

4.5. INVERSORES.

Los inversores CD/CA, son equipos cuya misión fundamental es convertir la corriente directa del panel o de la batería en corriente alterna a la tensión deseada.

Los inversores convencionales son de entrada 12 - 48 V salida de 120 V, 1 - 5 Kw.

En general, todos los inversores están preparados para admitir demandas instantáneas (pico) del orden del 100% de su potencia nominal.

Generalmente, los inversores se clasifican en dos grandes grupos según sea la salida que suministran: de onda senoidal y de onda cuadrada. Estos últimos, son de menor precio y suelen ser suficientes en gran número de aplicaciones.

Ofrecen la ventaja de un mejor rendimiento.

Sin embargo, para cualquier tipo, haciendo énfasis en recientes aplicaciones, cada vez son más semejantes los factores de eficiencia, carga y seguridad.

La primera decisión, para elegir un inversor, es comparar las técnicas de diseño de arranque con la necesidad del nivel de potencia. Los inversores pueden ser divididos en dos grupos basados en su potencia interna: los de baja potencia diseño base-transistor y los de alta potencia, sistema base SCR.

Los diseños de baja potencia, están limitados a causa de la disipación, sin embargo, el transistor de potencia puede ser encontrado hoy en día en sistemas trifásicos con potencia aproximada arriba de 15 KVA. Sobre este nivel, el SCR puede manejar la potencia, hay versiones SCR de hasta 1 MW con amplio arreglo complejo PPS, orden de potencia distribuida.

En cada tipo, el transistor y el SCR, tiene sus problemas. Por ejemplo, para apagar completamente un SCR, su corriente de ánodo a cátodo debe ser reducida a cero en un tiempo aproximado de 30 us. Esto no es fácil, cuando la potencia de origen es de CD.

Uno de los inversores más antiguos empleaba en su mayor parte convertidores de 60 a 400Hz, conectados a un oscilador de puente de wien y a un amplificador de potencia clase AB(FIG.-4.6). La técnica amplificador/oscilador es todavía realizada en laboratorios para el suministro de potencia, utilizando el viejo tubo de vacío ahora reemplazado por los transistores.

Las versiones transistorizadas, retienen sus características de alta precisión, bajas armónicas, buena regulación de voltaje y excelente respuesta transistoría de carga. Y ambas, variables, voltaje y frecuencia, son fácilmente incorporadas en diseño. Desafortunadamente, estas versiones tienen también -

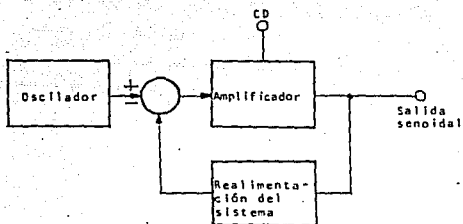


Figura 4.6 Convertidor acoplado a un oscilador de puente -- Wien y un amplificador de potencia.

una mala eficiencia (30 a 40%), alta relación paso-potencia y el costo es relativamente alto.

El generador de onda cuadrada es eficiente y confiable, y el transistor interruptor puede controlar la potencia de 10 a 20 veces mayor que su valor de disipación. Sin embargo, para obtener una onda senoidal con baja armónica, se necesita un considerable filtrado. Una onda cuadrada contiene armónica impar en proporción inversa al número de la armónica. Esto es, la relación de la tercera armónica a la fundamental es 0.33, la quinta es 0.20, y la séptima es 0.143.

EL INVERSOR DIGITAL.

El inversor de onda escalón provee una eficiente onda senoidal con baja armónica. Sin embargo, el alto voltaje de sus partes, lo hace incosteable para niveles de potencia bajos o intermedios. Con la introducción de la gran gama de circuitos integrados, especialmente de "memoria programable de lectura única" (PROM), los dispositivos requeridos para fabricar un inversor digital equivalente al de onda escalón puede hacerlo práctico.

Al sintetizar una onda senoidal digital, un PROM es usado para almacenar un patrón de pulsos, tanto positivos como negativos, que son seleccionados para eliminar armónicas de bajo orden. Un simple filtro lo reduce las armónicas de alto orden, éstas prevalecen más que en la onda escalón aproximada.

El regulador de voltaje digital sintetizador para incrementar la cantidad de tiempo del patrón de pulso, permanece en cero a medida que el voltaje se va incrementando. Las condiciones de sobrecarga y cortocircuito son automáticamente compensadas por un procedimiento de límite de corriente. Entonces el rechazo armónico y la regulación de voltaje son combinados en un

ajuste de instrucciones de interrupción almacenadas en un PROM, la unidad de potencia contiene un número mínimo de componentes de interrupción.

Un sistema trifásico, requiere de seis circuitos de interrupción arreglados en un puente trifásico. Un sistema de una fase sencilla, requiere de cuatro circuitos interruptores arreglados en un puente. La relación peso-potencia, es alta mientras que la eficiencia va por encima del rango de operación -- desde que la carga es cero hasta la carga total.

Un método de síntesis digital es mostrado en la (FIG. 4.7), - Una frecuencia de referencia 360 veces más alta que la frecuencia de operación produce una resolución de un grado en el patrón de pulso. Un contador binario de nueve pasos da la información cíclica X de 512 X 4 PROM, tres salidas del PROM dan -- las instrucciones de interrupción de la corriente para cada pata del puente trifásico. La cuarta salida regresa de nuevo el contador binario.

El sintetizador digital es práctico desde 500 W en fase sencilla, hasta 30Kw en trifásico. Para bajas potencias el costo del controlador digital llega a ser significativo. El límite superior de potencia es establecido por la limitación de la potencia de disipación de transistores disponibles. (con SOR, el límite superior puede llegar a ser hasta del orden de 100Kw). La velocidad de respuesta y la pureza de la onda senoidal -- son similares a las de los inversores de onda escalón. Las variables de voltaje y frecuencia están disponibles simultáneamente. En una aplicación PPS, la sincronización con la línea de voltaje se efectúa fácilmente con una fase-lazo cerrado.

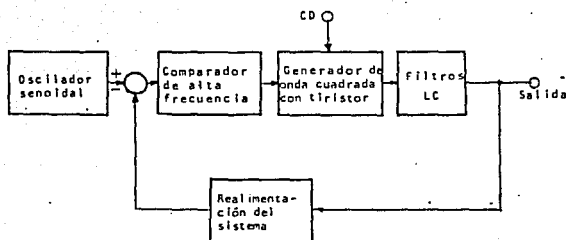


Figura 4.7 Técnica del regulador de interrupción.

4.6. CABLEADO ELECTRICO.

Dadas las características de generación de voltaje y corriente de cada módulo y a los requerimientos de la batería e inversores, se dispondrán arreglos en serie y en paralelo de los mismos.

Así, para obtener el voltaje de operación nominal se conectará en serie el número necesario de módulos para formar un arreglo, y éstos a su vez serán conectados en paralelo.

4.7. ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

La instalación de los módulos en campo, se hará sobre estructuras de soporte metálicas, las cuales se diseñarán en base a los siguientes requerimientos generales:

Estructura	Metálica modular, resistente a clima húmedo.
Superficie de soporte del módulo.	Inclinación de acuerdo a la latitud del lugar, hacia el sur, Material, fibra de vidrio.
Altura mínima sobre el suelo del soporte de módulos	50 cm.
Resistencia a vientos	Hasta 130 Km/hr.
Anclaje	Sobre cimientos de concreto.

En la (FIG. 4.8.), se presenta un croquis de la forma general que tendrá la estructura y su colocación sobre los cimientos.

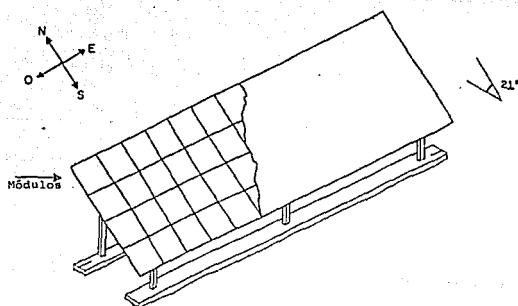


Figura 4.8 Modelo da estrutura de suporte de módulos fotovoltaicos.

4.7. ALGUNAS APLICACIONES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

a) Agricultura, Ganadería, Pesca.

- Bombeo de agua para abrevaderos de ganado.
- Bombeo de agua para irrigación de pequeña escala.
- Manejo mecanizado (carga y descarga) de granos.
- Refrigeradores para centros de inseminación.
- Molinos de granos (maíz, trigo, etc.), de pequeña capacidad.
- Congelamiento de pescado.
- Empacadoras de frutas y vegetales de baja potencia.

b) Servicio social y comunitario.

- Bombeo de agua potable para consumo humano.
- Televisión educativa y de uso comunitario (inclusive con señal de satélite).
- Reproductoras de vídeo (vídeo cassetes).
- Radiotelefonía.
- Alumbrado público.
- Alumbrado interior.
- Radio.
- Reproductoras de audio para escuelas primarias.
- Equipos de sonido público.
- Proyectores de cine.
- Refrigeración de cine.
- Refrigeración en clínicas de salud.

c) Aplicaciones profesionales y especiales.

- Repetidores de señal (microondas, VHF, etc) para telefonía, televisión, etc.
- Señalización marina, boyas flotantes con iluminación, faros aislados, señales de radio-navegación, etc.

- Señalización aérea, balizas luminosas, señales de aeronavegación.
- Luces de alerta para cruces de ferrocarril.
- Protección catódicas de tuberías.
- Iluminación en plataformas marinas de perforación petrolera.
- Estaciones meteorológicas aisladas.
- Estaciones sismológicas.
- Medidores de tráfico.

CAPITULO V

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS APLICADOS A UNA COMUNIDAD RURAL.

INTRODUCCION.

Se tiene en promedio que, el consumo diario de energía en una vivienda de clase media fluctúa entre 4 y 5 KWH/día. Obviamente este promedio disminuye en el medio rural al cual está enfocado este trabajo.

Se debe de proveer de lo más indispensable en cuanto a servicios al medio rural.

5.1. DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA REQUERIDA POR LA POBLACION

Existen 2 tipos de demandas: Familiar y Colectiva.

FAMILIAR

Unidades.- 8 lámparas.

Pot. X Unidad.- 10 W fluorescente, equivalente a 60W incandescente.

horas de trabajo:

1.- Sala comedor	2L - 5 Horas.	(10) =	100 WH/día
2.- Cocina	1L - 4 Horas.	(10) =	40 WH/día
3.- Baño	1L - 1½ Horas	(10) =	15 WH/día
4.- Recámara 1	1L - 1 Hora.	(10) =	10 WH/día
5.- Recámara 2	1L - 1 Hora.	(10) =	10 WH/día
6.- Recámara 3	1L - 1 Hora.	(10) =	10 WH/día
		Total	= 185 WH/día

Unidades.- 1 Radio receptor AM.- FM

Pot. X Unidad.- 2 W

Horas de trabajo.- 16 Hrs.

Potencia total.- (2W) (1U) (16) = 32 WH/DIA.

Unidades.- 1 lámpara (Gallinero)

Pot. X Unidad.- 10 W

Horas de trabajo.- 1

Pot. total.- (10W) (1L) (1) = 10 WH/DIA.

Σ DE POTENCIAS.- 185 + 10 = 227/WH/DIA/FAMILIA.

227 WH/DIA/FAM. X 40 Familias = 9.080 KWH/DIA CONSUMO TOTAL
EN LA COMUNIDAD.

SERVICIOS COLECTIVOS.

CLINICA RURAL	UNIDADES	POT. X UNIDAD	TIEMPO (HRS)
LAMPARA	3	10 W	5
REFRIGERADOR	1	1 H.P.	8
RADIO	1	24 V.C.D.	24
TRANSMISOR		En transmisión 1.6 A.	
(RECEPTOR)		en recepción 0.6 A.	
		recepción pasiva 0.4A	
		tipo de modulación FM	
		Pot. DE SALIDA 10 W.	

POTENCIAS: LAMPARA 3 (10) (5) = 150 WH/DIA

REFRIG. 8 (186.5W) =1492 WH/DIA

RADIO (TR) 127 (1.6) (1H) = 101.6 WH/DIA TRANSMISION

127 (0.6) (1H) = 38.1 WH/DIA RECEPTOR

127 (0.4) (23Hrs)=1168.4WH/DIA PASIVO

Pot. Radio total =1318.1 WH/DIA.

POTENCIA TOTAL: 2960.01 WH/DIA

1HP = 746 W.

TELEAULA	6 Hrs.	190 WH/D.	
ACUACULTURA	2 Hrs.	100 WH/D.	
MAQ. DE COSER	5 Hrs.	530 WH/D. 110 - 127V	(1/7) HP
		CA - CC	
LAVADORA	5 Hrs.	932 WH/D.	(1/4) HP
PRODUCTOS DE COSECHA			
LAVADORA TERMICA (DE ROPA)	3 Hrs.	372.9 WH/D.	(1/6) HP
EQUIPO DE TALLER RURAL	8 Hrs.	1492 WH/D.	(1/4) HP
MOLINO DE MUELAS	3 Hrs.	1119 WH/D.	(1/2) HP
ILUMINACION	10 Hrs.	300 WH/D.	12.7 W
GABINETES Y EQUIPOS DE CONTROL GRAL.		REVELADOR - 25 mA INVERSOR PARA INSTALACION CENTRAL	3.075 W 40.00W
	24 Hrs.		
FRIGORIFICO	8 Hrs.	2984 WH/D.	(1/2) HP.
	TOTAL:	5049.9 WH/D.	

POTENCIAS: $5049.9 + 2960.1 = 10.900$ KWH/D.

POTENCIAS: (FAMILIAR Y COLECTIVO)

$9.080 + 10.9 = 19.98$ KWH/D.

En estas demandas, se toma en cuenta que el consumo de energía se usará de la manera más racional posible. Usando las

tecnologías modernas de construcción (FIBRA DE VIDRIO, PLÁSTICOS, ETC.), se ahorrará energía. Por ejemplo, en pleno día, se podrían usar láminas translúcidas, domos, tragaluces, etc., y tener iluminación natural.

Por lo que respecta al bombeo de agua, no es indispensable su uso, debido a que, atendiendo a las características del terreno, se tiene que la comunidad de El Derramadero, se encuentra casi en la punta de un cerro (las características geográficas se darán más adelante). En esta punta se construiría una cisterna, la cual por gravedad surtiría agua a la comunidad. El agua sería abastecida por las lluvias.

REFRIGERADOR Y FRIGORÍFICO.- Los 2 para uso colectivo.

El primero para la clínica rural y que no requiere ser de grandes dimensiones y el segundo si requiere ser de grandes dimensiones para almacenar alimentos de toda la comunidad.

TELEAULA.-

La imprescindible educación sería toda principalmente por la televisión. El Instituto Politécnico Nacional, ha instalado ya este método de enseñanza en regiones tan apartadas como la sierra de Puebla.

HERRAMIENTA.-

En este lugar se encuentra una pequeña región boscosa. Haciendo un buen uso y trabajándola con equipo adecuado, se conseguiría que la comunidad lograra elevar su modo de vivir. La herramienta consiste en un motor de pequeña capacidad para cortar madera u otro uso.

MOLINO.-

Al abastecer de energía al pueblo se incrementaría su producción agrícola, por lo que haría falta una herramienta para transformar el producto y consumirlo de una manera más adecuada. El molino principalmente consiste en un motor, aunque por economizar electricidad y tomando en cuenta que este lugar está enclavado en un cerro sería más factible un molino movido por el viento.

ILUMINACION EXTERIOR.-

Principalmente, para iluminar la clínica rural en caso de emergencia. Se toma en cuenta la tecnología moderna, de la cual se obtiene más iluminación con menos energía útil, pues es en este lugar donde se busca racionar la energía.

ILUMINACION INTERIOR.-

Existe en el mercado luminarios fluorescentes marca Philips tipo PL, los cuales tienen un ahorro de energía eléctrica - hasta de un 75% y con 10 veces más vida que los incandescentes, ésta iluminación para un lugar incomunicado como el caso de las comunidades rurales, representa una gran ventaja.

GABINETES Y EQUIPOS DE CONTROL GENERAL.-

Principalmente consisten en los inversores, control de voltaje y corriente para banco de baterías, medidores de energía, etc., su consumo de algunos equipos es considerable y trabajan las 24 horas.

RADIO TRANSMISOR RECEPTOR.-

Para tener comunicado a la comunidad con Tolimán o Querétan-

ro, se harfa uso de un radio T-R el cual serfa alimentado de la planta fotovoltaica (se recomienda que su alimentación sea independiente de la planta).

CLINICA RURAL.-

Al igual que en el Radio T-R se recomienda que su alimentación sea independiente de la planta.

Básicamente estos serfan los equipos que se requieren para la comunidad rural debido a sus condiciones sociales. Todo el sistema estarfa protegido con fusibles e interruptores -- termomagnéticos para resguardo de cortocircuito y sistema de protección contra descarga eléctrica, debido a ionización at mosférica (Rayos).

Hay que considerar que todos estos equipos funcionan en su mayoría con C.A. y que lo ideal serfa que funcionaran con C. C. para así evitar el convertidor, ya que este consume una cantidad apreciable de energia.

En el caso de los aparatos de C.A. funcionan con 127 V. y los C.C. con 24 V.

5.2. DISPONIBILIDAD DE ENERGIA SOLAR EN EL LUGAR.

La comunidad de El Derramadero perteneciente a el Municipio de Toluán Estado de Querétaro, se encuentra a 25 Km. de este. Las coordenadas son 21° latitud y 99° 56' longitud, 2000 metros de altitud. Cuenta con un índice de población alto. 300 personas, aproximadamente 40 familias.

Este lugar se encuentra cerca de el trópico de cancer por lo que es un lugar que entra dentro de la zona de máxima -

permanente o semipermanente.

Como ya se mencionó, en México se tiene en promedio 2000 KWH/ARO/M² ó 5 KWH/M²/DIA. A continuación se tiene los parámetros a considerar para dimensionar la planta solar fotovoltaica y acumulación de energía en casos de días de asueto.

TABLA I

	ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.
1	29	1.77	0.63	0.72	2.21	4.78	6.69	4.66	5.32	6.40
2	29	1.45	0.90	1.36	1.69	3.17	2.43	2.85	2.36	3.04
3	29	22.90	23.72	22.72	21.69	18.21	14.91	16.23	17.54	15.22
4	29	4.68	2.50	5.00	4.04	6.95	8.00	6.57	7.81	7.77
5	29	3.40	3.13	3.27	4.26	5.82	7.08	8.19	5.63	7.00
		OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL					
		3.59	1.40	0.90	39.06	1 Núm. días con lluvias apreciables				
		2.72	1.54	1.59	25.10	2 Núm. días con lluvias inapreciables				
		18.77	20.68	20.95	233.54	3 Núm. días despejados				
		6.63	4.90	5.27	70.12	4 Núm. días medio nublados				
		5.59	4.40	4.77	61.54	5 Núm. días nublados/cerrado.				

Estos datos fueron extraídos del manual de normales climatológicas y corresponde a Tolimán, Municipio del Estado de Querétaro con coordenadas de 20° latitud y 90°56' longitud, altura de 1535 MSNM. y esto se debe a que la comunidad de El Derramadero no cuenta con datos climatológicos.

En el caso 1 tenemos que en El Derramadero llueve más de 30% que en Tolimán. En 3, el número es mayor para el Derramadero debido a su altitud. En 4, debemos de considerar un intervalo de 3.5 a 4 horas de sol bueno.

En 5, se considera 1 hora de sol bueno.

A continuación se tienen los datos de radiación solar a nivel mensual y estacional de este lugar. (Estos se dan en -- cal/cm²/dfa y en horas pico).

	RADIACION SOLAR TOTAL	(HORIZONTAL)
ENERO	425 cal/cm ² /dfa	4.93 KW-H/m ² /dfa
FEBRERO	475 "	5.51 "
MARZO	500 "	5.08 "
ABRIL	575 "	6.67 "
MAYO	525 "	6.09 "
JUNIO	550 "	6.38 "
JULIO	525 "	6.09 "
AGOSTO	500 "	5.08 "
SEPTIEMBRE	450 "	5.22 "
OCTUBRE	450 "	5.22 "
NOVIEMBRE	400 "	4.64 "
DICIEMBRE	400 "	4.64 "

FACTORES DE CONVERSION.

$$1 \text{ LANGLEY} = 1 \text{ CAL/CM}^2 = 0.001163 \text{ W - H/CM}^2$$

$$1 \text{ LANGLEY /DIA} = 1 \text{ CAL/CM}^2/\text{DIA} = 0.0116 \text{ HORAS -PICO}$$

$$1 \frac{\text{KW - H}}{\text{M}^2} / \text{DIA} = 1 \text{ HORA - PICO (FIG. 5.1.).}$$

Los datos de radiación solar vienen dados en mapas. Los cuales los describen en una medida horizontal, para pasar estos datos en forma inclinada se deben de considerar los siguientes puntos:

En 4 ocasiones se orientan los pñeles al año para tener mayor captación de radiación solar. (datos empíricos).

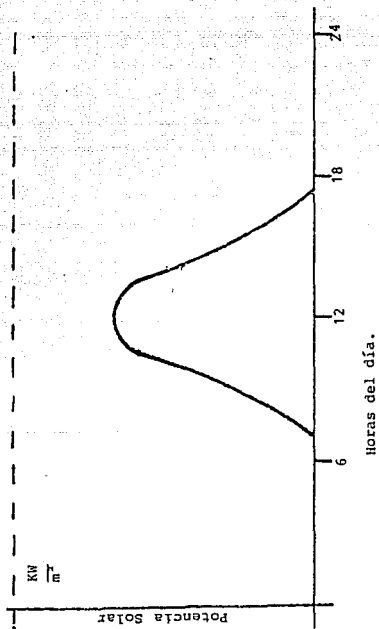


Figura 5.1 Horas pico.

45 DIAS ANTES DEL 21 DE MARZO 21°

45 DIAS ANTES DEL 21 DE JUNIO 12°

45 DIAS ANTES DEL 24 DE SEPT. 21°

45 DIAS ANTES DEL 21 DE DIC. 47°

En teoría se toma a la latitud del lugar $\pm 10^\circ$. En este caso particular se toman los conocimientos empíricos.

De noviembre a febrero se tiene $21^\circ + 25^\circ$ extras.

De Mayo a Agosto se tiene $21^\circ - 9^\circ$.

Con estos datos multiplicamos cada uno de los valores mensuales y diarios de radiación solar (horizontal) por el coseno inverso del ángulo del mes del que trate. (Fig. 5.2.).

E	4.93	\cos^{-1}	47°	=	7.228	
F	5.51	\cos^{-1}	21°	=	5.9	
M	5.8	\cos^{-1}	21°	=	6.2	
A	6.67	\cos^{-1}	21°	=	7.15	
M	6.09	\cos^{-1}	12°	=	6.21	6.34 kWh/m ² /dfa-mes
J	6.38	\cos^{-1}	12°	=	6.51	
J	6.09	\cos^{-1}	12°	=	6.21	Promedio
A	5.8	\cos^{-1}	21°	=	6.21	
S	5.22	\cos^{-1}	21°	=	5.6	
O	5.22	\cos^{-1}	21°	=	5.6	
N	4.64	\cos^{-1}	47°	=	6.8	
D	4.64	\cos^{-1}	47°	=	6.8	

Ahora, con los datos de radiación solar inclinada y relacionándolos con los días despejados, medio nublados y nublados cerrados, y considerando un promedio de 6.34 horas potencia-

les tenemos:

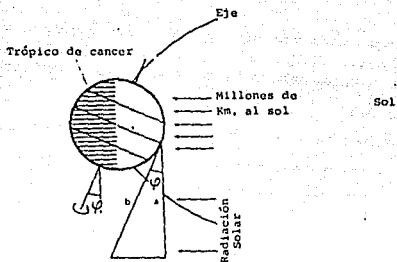
DIAS

ENERO	despejados	23 X 7.288 =	166.24	
	medio nublados	4 X 4.56 =	18.24	
	nublado cerrado	3 X 1.1 =	<u>3.42</u>	
				187.9
	187.9/30 =	6.26 KWh/m ² /dfa		(promedio en Enero). 7.228/6.34 = 1.14 (1 hora de buen sol)
FEBRERO	25 X 5.9 =	147.5		
	3 X 3.7 =	11.2	5.35 KWh/m ² /dfa	1.44 X 4 = 578
	2 X 0.93 =	1.9		en(4 horas de buen sol).
		<u>160.6</u>		
MARZO	23 X 6.2 =	124.6		
	5 X 3.8 =	19.6	5.74 KWh/m ² /dfas.	
	2 X 0.98 =	<u>01.96</u>		
		164.16		
ABRIL	22 X 7.15 =	157.3	6.24 KWh/m ² /dfa.	
	4 X 6.34 =	25.4		
	4 X 1.13 =	<u>4.51</u>		
		187.58		
MAYO	19 X 6.21 =	118		
	7 X 5.88 =	41.2	5.3 KWh/m ² /dfa.	
	5 X 0.90 =	<u>4.9</u>		
		164.1		
JUNIO	16 X 6.51 =	104.2		
	8 X 4.12 =	33.0	4.7 KWh/m ² /dfa.	
	7 X 1.03 =	<u>7.2</u>		
		144.4		

JULIO	17 X 6.21	=	105.6	
	7 X 5.88	=	41.2	5.0 kWh/m ² /día.
	7 X 0.98	=	<u>6.86</u>	
			153.66	
AGOSTO	19 X 6.21	=	118.0	
	8 X 5.88	=	47.0	5.5 kWh/m ² /día.
	5 X 0.98	=	<u>5.0</u>	
			170.0	
SEPTIEMBRE	16 X 5.6	=	90.0	
	8 X 3.5	=	28.0	4.0 kWh/m ² /día.
	8 X 0.88	=	<u>7.0</u>	
			125.0	
OCTUBRE	19 X 5.6	=	106.0	
	7 X 3.5	=	24.5	4.5 kWh/m ² /día.
	4 X 0.88	=	<u>3.5</u>	
			134.0	
NOVIEMBRE	21 X 6.8	=	143.0	
	5 X 4.3	=	21.5	5.6 kWh/m ² /día.
	4 X 1.1	=	<u>4.4</u>	
			170.0	
DICIEMBRE	21 X 6.8	=	143	
	6 X 4.3	=	26	5.75 kWh/m ² /día.
	3 X 1.1	=	<u>3.3</u>	
			172.3	

El promedio de energía es de 5.3 kWh/m²/día - año

Regresando nuevamente al consumo de energía, tenemos que establecer un promedio y para esto tenemos dos consumos diferentes: primavera - verano, otoño - invierno.



La energía total E recibida en una superficie de longitud a orientada al Sol, es la misma que en una superficie horizontal de longitud b . Las densidades

de energía son $E_a = \frac{E}{a}$ y $E_b = \frac{E}{b}$. Porque

$\frac{a}{b} = \cos \text{ de } \varphi$, la densidad de E_b es más baja que la densidad

$$E_a : E_b = E_a \cos \text{ de } \varphi$$

Figura 5.2 Radiación solar en un plano inclinado.

En el primero (ya calculado), tenemos el valor de 19.98 KWh/día y en el segundo es de 20.979 KWh/día (5% más que en el primero) y por lo tanto tenemos que el promedio es de 20.48 KWh/día.

Se tiene un consumo mayor en otoño-invierno, debido a que la posición de la tierra con respecto al sol hace que las noches sean más largas que los días. Este consumo es principalmente en iluminación.

5.3. DISEÑO DE LA PLANTA.

Antes de pasar al dimensionamiento de la planta fotovoltaica y del banco de baterías, es necesario mencionar que para economizar el sistema, el poblado deberá ser reacondicionado de tal manera que las casas de las 40 familias estén cerca o juntas y todas a su vez, cerca de la planta; todo esto por el cableado, pérdidas de transmisión, etc.

Para el diseño de la planta se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros y condiciones.

- 1) La potencia pico fotovoltaica instalada es siempre menor (en ocasiones considerablemente menor) que la suma de las potencias de los equipos que consumen.
- 2) Gracias a los acumuladores, se puede disponer de potencias muy superiores a las pico de los paneles durante -- tiempos muy cortos.
- 3) De 1 a 50 casas se recomienda que el sistema sea individual. De 50 en adelante se recomienda centralizado. (en nuestro caso particular es centralizado debido al aumento de la población). (Figs. 5.3. y 5.4.).

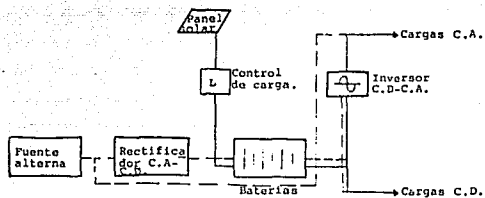


Figura 5.3 Sistema individual.

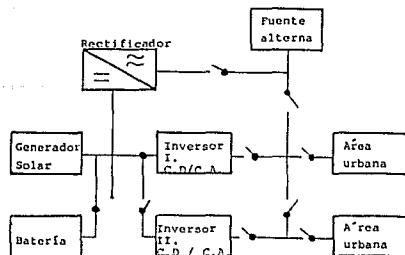


Figura 5.4 Sistema colectivo

- 4) Si la potencia a instalar es de 1 a 20 Kw se recomienda el arreglo fijo; si es de 20 a 99 Kw se recomienda arreglo con concentración (lentes Fresnel); si es de 100 Kw en adelante, se recomienda arreglo con concentración y -- sistema de seguimiento. (en nuestro caso particular es -- arreglo fijo).
- 5) Rendimiento del sistema que depende, en general, de las -- pérdidas de la conversión, el acoplamiento, la transmisión, el almacenamiento y el control de la energía.

Energía solar $E_s = AE_{ac} + AE_t + AE_{ct} + AE_{al}$ (Fig. 5.5.a).

Donde: AE_{cv} Pérdidas debidas a mecanismos de conversión.

AE_{ac} Pérdidas debidas a un acoplamiento no óptimo.

AE_t Pérdidas causadas por la resistencia del cableado y uniones.

AE_{ct} Pérdidas en el control de la carga.

AE_{al} Pérdidas a la conversión electroquímica necesaria para el almacenamiento de la energía.

$$N = 1 - \frac{\text{Pérdidas}}{E_s}$$

En la práctica AE_{cv} no se considera, ya que los paneles foto voltaicos tienen especificado su potencial total restando -- las pérdidas en los módulos (Fig. 5.5.).

El rendimiento (N) de los elementos de la cadena se definen así:

$$N_{cv} = \frac{E_o}{E_s} ; E_o = E_s N_{cv}$$

$$A \frac{E_t}{E_o} = 1 - N_t$$

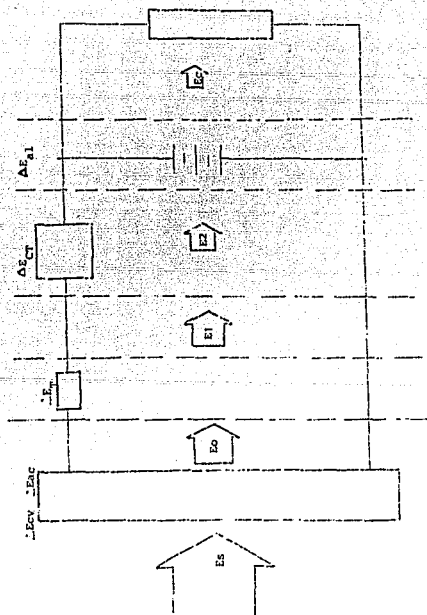


Figura 5.5a Rendimiento de el sistema.

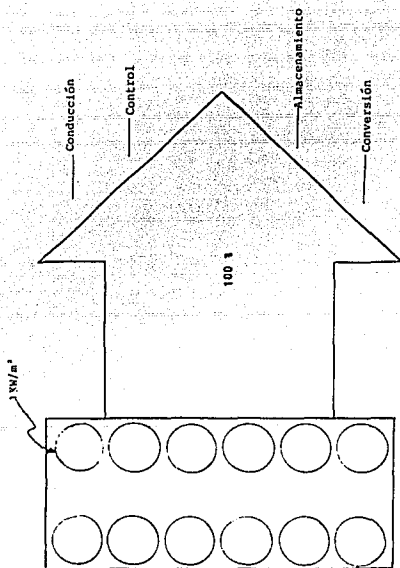


Figura 5.5 Pérdidas en el Sistema.

$$N_{ct} = 1 - \frac{AE_{ct}}{EI}$$

$$N_{al} = 1 - \frac{A_{al}}{E_c}$$

Siendo N_{cv} rendimiento del generador solar; N_t rendimiento de la línea de transmisión.

La eficiencia de conversión fotovoltaica del generador depende de la temperatura, ésta eficiencia es especificada por el fabricante a la temperatura de operación de los módulos. Valores típicos son del orden del 9.5 al 9.0 % en el rango de 28 a 60°C de temperatura. La eficiencia de los actuales reguladores de carga N_{ct} puede llegar a ser del 95% en tanto que N_{al} , la eficiencia de conversión electroquímica para las baterías, es típicamente de 95% y usualmente la eficiencia de acoplamiento es de 95%. (Más adelante se darán las características físicas de un módulo como ejemplo.)

En la tabla 1 tenemos los valores típicos de rendimiento en elementos de una cadena fotovoltaica (Sistema).

TABLA 1

ELEMENTO		RENDIMIENTO (%)
Generador Solar	N_{cv}	9.0 - 9.5
Generador Vs carga	N_{ac}	90
Línea de transmisión	N_t	95
Controlador	N_{ct}	90 - 95
Baterías	N_{al}	80 - 95

De esta manera la energía proporcionada por un generador solar, $E_o = E_s N_{cv}$, a una carga F_c , se verá reducida por un -

factor de 0.8 a 0.6, debido a las pérdidas por acoplamiento, transmisión, control y almacenamiento, así como al modo de operación del sistema. Un valor típico sería de 0.65.

5.4. PROCEDIMIENTO DE CALCULO PRELIMINAR.

- I. Determinación del perfil de carga.
- II. Análisis de datos de insolación.
- III. Determinación de los rendimientos de la cadena fotovoltaica.
- IV. Determinación de la potencia pico de la cadena fotovoltaica.
- V. Determinación de el número de módulos necesarios y tipo de arreglo. Selección de módulos y especificaciones.
- VI. Determinación de la capacidad de la batería.

De estos 6 puntos faltan los 3 últimos.

Para el punto IV tenemos que la energía promedio consumida - al día es de 20480 WH/DIA

- Potencia promedio consumida: $\frac{20480}{24 \text{ H}} = 853.3 \text{ V}$ (durante 24 hrs)
- El mes más desfavorable es septiembre con 4.0 KWH/M²/DIA, sean 4.0 Hrs. pico.
- La longitud promedio del día en el mes de septiembre es de más de 10 Hrs.

- Energía a proporcionar durante el día: $853.3 \text{ W} \times 10 \text{ Hrs.}$
 $= 8533 \text{ W-H.}$

- Potencia a proporcionar para operación diurna: $\frac{8533 \text{ WH}}{4} \times$
 $(0.66) = 1407.9. \quad 4 \text{ (hp)}$

- Energía a proporcionar para operación nocturna $853.3 \times$
 $(24-10) = 11946.2 \text{ W-H.}$

- Potencia a proporcionar para operación nocturna:
 $\frac{11946.2}{4 \text{ (H.P.)} \times 0.55} = 5430.1 \text{ W} *$

- Potencia total a proporcionar: $1407.9 + 5430.1 = 6838 \text{ W-P}$

* Existirán en realidad 2 rendimientos de la cadena. Uno - para proporcionar la carga durante el día (0.66) y otro para proporcionar la carga durante la noche. Durante la operación diurna la eficiencia de la batería es del orden de 90%, sin embargo, para almacenar la carga para operación nocturna es del 75%. Así que la eficiencia de la cadena para este intervalo es de:

$$\frac{0.66 \times 0.75}{0.90} = 0.55$$

Para el punto V tenemos que el número de módulos del arreglo se determinará de la siguiente manera:

CASO 1.- Módulo de fabricación nacional (CINVESTAV, IPN). - Cuyas características son:

Potencia incidente	=	1 Kw/m^2
Temperatura	=	28° C
Potencia máxima (pico)	=	18.9 Watts.
Voltaje nominal	=	12.5 Volts
Voltaje máximo	=	16 Volts.

Corriente máximo = 1.18 Amps.
 Corriente nominal = 1.26 Amps.

A) 2 módulos en serie nos darán 24 V. nominales.

B) Números de arreglo serie conectados en paralelo:

$$\frac{6838}{24 \text{ V.}} = 284.9 \text{ Amps.}$$

$$\frac{284.9}{1.26} = 226 \text{ series en paralelo.}$$

226 x 2 = 452 Módulos MS 19 Fabricación Nacional.

C) Potencia pico por instalar:

$$P_p = 2 \times 226 \times 19 = 8588 \text{ Watts pico.}$$

En realidad, el sistema con las baterías en flotación tra bajarán a 27 Volts. Dado que el voltaje de las baterías en carga (operación diurna) es nominalmente de 13.5 Volts. En estas condiciones reales de operación del generador, - el número de arreglos serie en paralelo sería:

$$\frac{6838}{27 \times 1.26} = 200 \text{ serie en paralelo}$$

200 X 2 = 400 Módulos MS 19
 y la potencia pico por instalar sería:

$$P_p = 2 \times 200 \times 19 = 7600 \text{ Watts pico.}$$

Tomando un factor de sobredimensionamiento del 20% para compensar las pérdidas de eficiencia del generador por envejecimiento y la dispersión en valores de la insolación y consumo, la potencia pico a instalar sería de:

$$P_p = 9120 \text{ Watts. pico.}$$

Equivalente a 480 Módulos MS 19 de 240 arreglos serie, de 2 módulos conectados en paralelo. (Fig. 5.6.).

CASO 2.- Módulos de Importación (AEG - TELEFUNKEN, ALEMANIA)
Cuyas características son:

Potencia incidente	:	1 KW/m ²
Temperatura	:	25° C.
Potencia máxima (pico)	:	19.8 W
Corriente máxima	:	2.20 Amps.
Corriente nominal	:	2.41 Amps.
Voltaje nominal	:	11.2 Volts. (en realidad son 6 V.)
Potencia nominal	:	19.2 W
Voltaje máximo	:	9.0 Volts.

A) 4 módulos en serie nos proporcionan 24 V.C.D.

B) Número de arreglos serie a conectarse en paralelo:

$$\frac{6838}{24 \text{ V.}} = 284.9 \text{ Amps.}$$

$$\frac{284.9}{2.41} = 118 \text{ serie en paralelo}$$

$$118 \times 4 = 472 \text{ Módulos AEG}$$

C) Potencia pico por instalar:

$$P_p = 4 \times 118 \times 20 = 9440 \text{ Watts-pico}$$

Lo mismo que el caso 1, tenemos que el sistema trabajará a 26 Volts, por lo tanto se tiene:

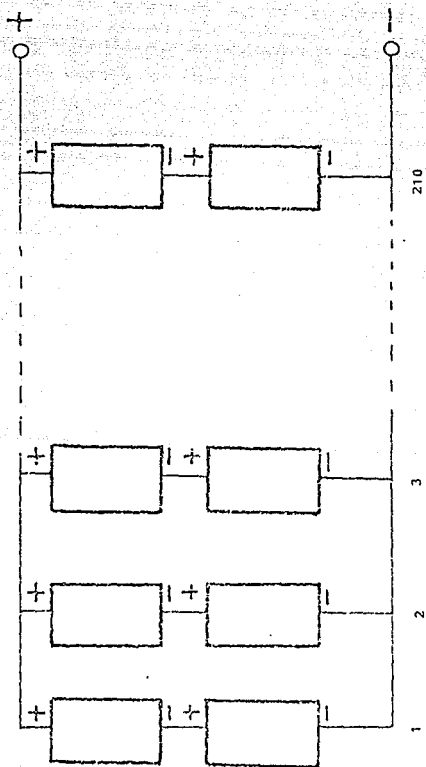


Figura 5.6 Arreglo del generador fotovoltaico (I.P.N.)

$$\frac{6838}{26 \times 2.4} = 110 \text{ serie en paralelo}$$

$$110 \times 4 = 440 \text{ Módulos AEG.}$$

y la potencia pico es de:

$$P_p = 4 \times 110 \times 20 = 8800 \text{ Watts - pico.}$$

Nuevamente, como en el caso 1 se sobredimensiona un 20%.

$$P_p = 10560 \text{ Watts - pico}$$

528 módulos AEG de 132 arreglos serie 4 módulos conectados en paralelo. (Fig. 5.7.).

OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS MODULOS TELEFUNKEN SON:

- Celdas de silicio policristalino. Cada módulo consiste en 20 celdas cuadradas de 10 cm. de lado, conectadas en serie, encapsuladas entre 2 vidrios con un marco de protección de acero inoxidable.

- Características eléctricas:

Valores característicos	Temperatura de operación		
	0°C	25°C	60°C
(AMI - 100 MW/cm ²)			
Voltaje V _{ca} (V)	12.3	11.2	9.6
Corriente I _{cc} (A)	2.37	2.41	2.46
Corriente a P _{max.} (A)	2.18	2.20	2.23
Potencia Máxima (W)	21.3	19.2	16.2

- Voltaje, corriente y potencia como función de la temperatura

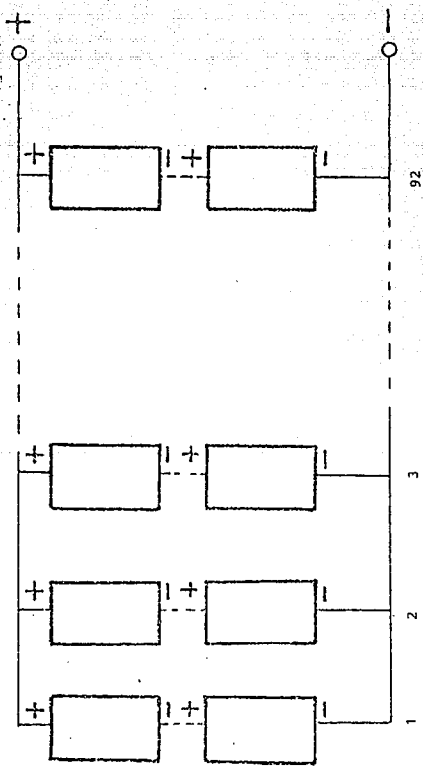


Figura 5.7 Arreglo del generador fotovoltaico (E.G. Telefunken.)

Voltaje	Aumenta	Por 0.4% /°C	Abajo de	25° C
	Disminuye		Arriba de	
Corriente	Aumenta	Por 0.06 % /°C	Abajo de	25° C
	Disminuye			
Potencia	Aumenta	Por 0.44 % /°C	Abajo de	25° C
	Disminuye		Arriba de	

- Peso .- 3.85 Kg. / módulo.
- Temperatura de operación.- 50°C Hasta + 90°C.
- Resistencia a carga de vientos de.- Hasta 240 Km/h.
- Resistencia a granizo.- Hasta de 20 mm. a 75 Km/h.
- Resistencia a humedad.- Hasta de 100%
- Golpes y vibraciones.- No afectan el funcionamiento mien
tras no haya rupturas.

5.5. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA.

INTRODUCCION.

En la densidad de energía y potencia el acumulador Pb - ácido, es superado por otras. Sin embargo, las propiedades más importantes del acumulador cuando se piensa en su aplicación con sistemas fotovoltaicos son los ciclos de vida y el coste de Kwh. Teniendo en cuenta ambas propiedades, el acumulador Pb - ácido, presenta la mejor situación. Se puede concluir, por tanto, que en el presente y en un futuro próximo el acumulador Pb - ácido, se usará en combinación con la generación fotovoltaica.

Este tipo de batería es la más rentable.

El rendimiento del acumulador tanto en densidad de energía - como de potencia ha ido aumentando desde 25 Wh/Kg. Hasta llegar a más de 60 Wh/Kg. valor lejos del teórico 180 Wh/kg.

CALCULO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.

Estimando el porcentaje de tiempo en que las cargas se usan durante las horas de no insolación y multiplicando este dato por el consumo promedio en Watts-hora usado por día, puede determinarse la cantidad de energía que es necesario remover del banco de baterías cada noche.

En general la capacidad de la batería puede determinarse -- únicamente en forma muy burda. Los datos numéricos de la insolación no permite definir los máximos y mínimos diarios y lo más importante la duración de los días desfavorables, factor esencial en el dimensionado del banco de baterías.

Existen reglas de funcionamiento con la energía almacenada en las baterías como única fuente energética. Este número de días dependerá de las horas pico

Horas pico	Almacenamiento (días)
6.0	5
5.0	10
4.5	15
4.0	20
3.5	25
3.0	30

La energía consumida durante todo el día (24 Hrs.) es de - 20.48 Kwh/día y para operación nocturna es de 11.9462 KW-H. Que equivale al 58.3 % del total de la energía que será ne

cesario remover del banco de baterías.

En función de las horas pico (6.34 promedio) tenemos que elegir para 5 días sucesivos como el número de días con climato logía adversa en los que el sistema deberá operar sin otra fuente de energía.

Por lo tanto tenemos que la capacidad útil deberá ser de:

$$C_u = 11946.2 \times 5 = 23892.4 \text{ W} - \text{H}$$

La capacidad nominal se estima usando 4 factores de corrección.

- 1) Un factor A_1 que toma en cuenta el hecho de que es desaconsejable sobrepasar el 70% de la descarga (circuito de control de sobrecarga).
- 2) Un coeficiente A_2 que toma en cuenta la acción del circuito de sobrecarga (límita la carga a un voltaje inferior a el voltaje nominal de fin de cara).
- 3) Un tercer factor A_3 que considera el régimen de descarga de la batería. Normalmente los fabricantes de baterías dan su capacidad referida a un régimen de descarga de 10 horas (10) (acumuladores, para automotores). En los sistemas fotovoltaicos usuales para de baja potencia, los regímenes de descarga son más lentos. Este hecho hace que la capacidad real disponible sea mayor que la nominal.
- 4) Finalmente, un cuarto coeficiente A_4 , ligado a las pérdidas por fugas de la capacidad de almacenamiento (1% por día en baterías para vehículos automotores y de el orden del 0.06% al 0.12% en buenas baterías).

Para nuestro ejemplo tomaremos

$$A_1 = 0.70$$

$$A_2 = 0.70$$

$$A_3 = 1.1$$

$$A_4 = 0.99$$

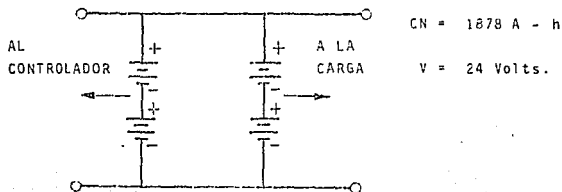
La capacidad nominal será:

$$CN = \frac{23892.4}{0.70 \times 0.70 \times 1.1 \times 0.99} = 45080 \text{ W - H}$$

$$CN = \frac{45080}{24} = 1878.3 \text{ A - H}$$

En México se dispone de baterías automotrices o industriales de 200, 100, 160, etc., Amps - hora especificadas a 10 y 20 Hrs. de descarga respectivamente.

Para el presente problema podrian utilizarse las baterías automotrices de 200 Amps. - Hora.



Por cuestiones de rendimiento y eficiencia no se puede disponer del 100% de capacidad del acumulador, ya que al tomar -- gran parte de su capacidad, sufrirían degradaciones las placas del acumulador. Debido a esto se toma desde un 50 hasta un 45 %. Por cuestiones de máxima seguridad se consideró un 50% por la real capacidad aprovechada del acumulador o banco de baterías que será de 100 Amps - Hora lo que da como resultado un banco de acumuladores igual a 20, $(1878 / 100 = 20)$.

5.6 ESTUDIO ECONOMICO DEL SISTEMA.

Este estudio se divide en 2 partes: Directos e indirectos. Además se tienen dos casos, celdas solares hechas en México y las de importación. Un tercer caso especial se refiere a los equipos de C - D.

Costos directos.

Iluminación.- Comparando por mayoreo la industria Phellips - hace un 40% de descuento por este concepto.

Módulos.- El desembolso es mayor para los módulos nacionales debido a que la potencia instalada es menor que las extranjeras. La ventaja es que se da apoyo a la industria nacional además de evitar la fuga de capitales.

Reguladores.- Indispensables para proteger a los módulos de las baterías y viceversa, ya que evita que los módulos se -- vean afectados por las baterías al estar cargadas al máximo y a las baterías de sobrecargarse por los módulos.

Inversor.- Tomando más en cuenta las ventajas de las desventajas se considera a los inversores monofásicos sobre los -- trifásicos debido a dos situaciones:

Los inversores 3 son de importación, lo que afecta económicamente y si sufre algún daño se interrumpe totalmente el flujo de energía; en cambio los 1 ϕ al sufrir avería alguno de ellos, los otros 2 siguen funcionando.

Acumulador.- En cuestiones técnicas los acumuladores industriales son mejores que los automotrices debido a que soportan una sobrecarga y un exceso en la demanda de energía de más de 50% de su capacidad; en cambio su costo es hasta 6 veces un acumulador automotriz lo que hace incosteable. Por mayorero se hace un 10% de descuento en la compra de las baterías automotrices (Pb - ácido).

Motores.- Por ahorro de energía y eficiencia, los motores de C-D son mejores que los de C-A. En cambio en lo que se refiere a economía, en motores de C-A son más económicos.

Costos indirectos.- Esto se refieren a los gastos de instalación y todos sus accesorios, como por ejemplo:

- Postes de acero o cemento armado para la planta solar.
- Cable y alambre para el sostenimiento y apoyo de la planta solar.
- Sistema mecánico para orientar los módulos de la planta solar 3 veces al año.
- Cables de alimentación de la planta hacia las cargas.
- Gastos de transporte.
- Gastos por reinstalación de las viviendas
- Otros gastos.

Para los costos indirectos se proporciona un 10% más del costo directo.

Costos de iluminación.

9 lámparas X 40 Familias = 360/amps.

3 lámparas clínica rural 10 W c/u

1 lámpara Teleaula 15 W

2 lámpara Iluminación exterior (15 W) c/u

Total: 366 lamps.

Costo Total: \$ 4.000.000 menos 40%

Costo : \$ 2.400.000

Costos de los módulos.-

I.P.N. MS 19 400 dólares/Módulo
 18.9 Watts/módulo
 12.16 dólares/watts
 480 módulos X 400 dólares/módulo.
 \$192000 dólares
 \$480 000 000 pesos.

AEG Telefunken 250 dólares / módulo
 19.8 Watts / módulo
 12.6 dólares /watts
 528 módulos X 250 dólares/módulo
 \$132000 dólares
\$330,000.000 pesos

Costos del regulador \$ 250.000 24 - 48 V.

Costos del inversor \$ 3.000.000 X 3 12 - 24 - 98 V.
 (1)

Total \$ 9,000.000

Costos del acumulador. \$ 100 000 c/u 200 Amps - H, 24 V.
100 000 X 20 baterías

Total \$ 200 000 menos 10%
\$ 1, 800.000

Costos de motores. C-D ímã permanente

. Clínica	\$ 500.000	1/4
. Máquina de coser	\$ 200.000	1/7
. Lavadora	\$ 500.000	1/4
. Taller	\$ 500.000	1/4
. Molino	\$1000.000	1/2
. Frigorífico	\$1000.000	1/2
Total	<u>\$3700.000</u>	

Costos de motores. C - A

. Clínica	\$ 300.000	1/4
. Máquina de coser	\$ 200.000	1/7
. Lavadora	\$ 300.000	1/4
. Taller	\$ 300.000	1/4
. Molino	\$ 400.000	1/2
. Frigorífico	\$ 400.000	1/2
Total	<u>\$1900.000</u>	

Costo del radio transmisor-receptor \$1600.000

10 W. salida

Costo de la televisión educativa \$ 800.000 C-D

19" (Telesecundaria).

Caso 1.- Nacionales

Caso 2.- Extranjeros

Módulos	\$ 480.000.000	\$ 330.000.000
Iluminación	\$ 2.400.000	\$ 2.400.000
Regulador	\$ 250.000	\$ 250.000
Inversor	\$ 9.000.000	\$ 9.000.000
Acumulador	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Radio T-R	\$ 1.600.000	\$ 1.600.000
T - V	\$ 800.000	\$ 800.000
	\$ 495.850.000	\$ 345.850.000

OTROS GASTOS

10%	49.585.000	34.585.000
TOTAL	\$ 545.435.000	\$ 380.435.000

Motores C - A\$ 1.900.000

Motores C-A\$1.900.000

CASO 1 +

Motores C-D \$ 3.700.000

Caso 2 +

Motores C-DS3.700.000

CASO 1 + C-A = 547.335.000

CASO 2 + C-A=382.335.000

CASO 1 + C-D = 549.135.000

CASO 2 + C-D=384.135.000

Siendo el equipo de C-D más costoso, no deja de ser rentable ya que no consume un exceso de corriente en el arranque, por lo que se considera primeramente.

CASO 1 . TOTAL

CASO 2. TOTAL

\$549.135.000

\$384.135.000

y la diferencia de los 2 casos es:

\$165.000.000

De esto se deduce que el CASO 2 es el más económico. Marzo (1988).

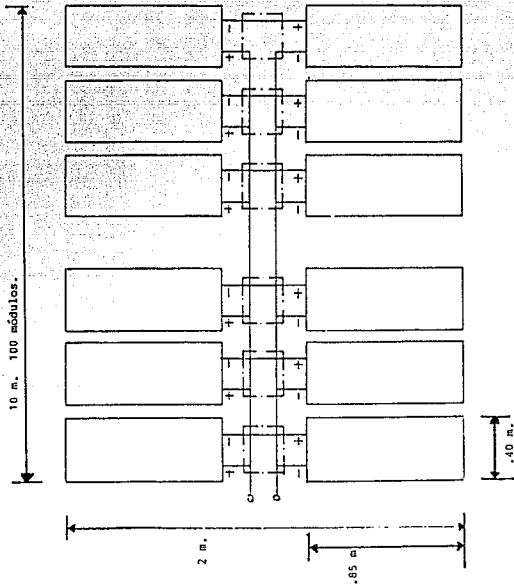


Figura 5.8 Dimensiones de los módulos y panel fotovoltaico

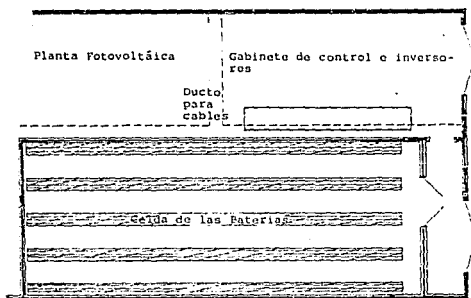
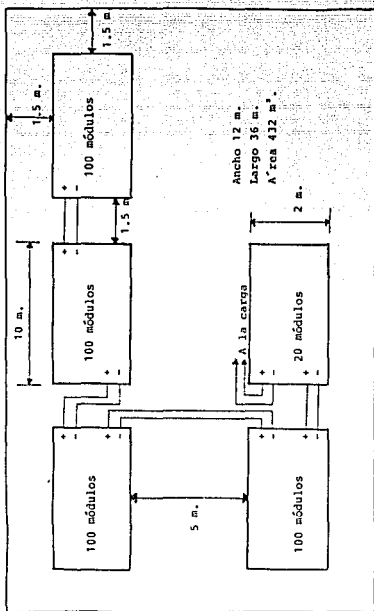
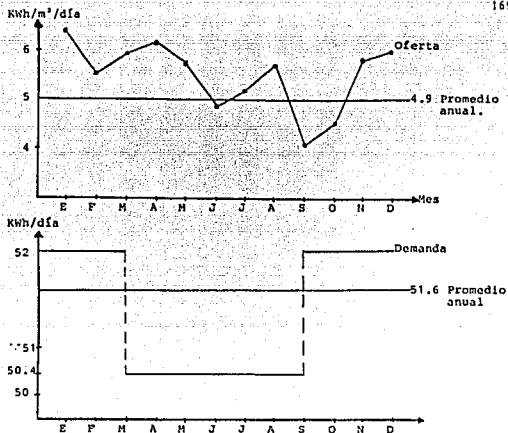


Figura 5.9 Arreglo de la planta y sus accesorios.



Dimensiones de la planta fotovoltaica.



Gráficas de oferta y demanda de energía.

PARA LA CISTERNA Y PURIFICADOR TENEMOS:

- 1.- El cuadro climático reporta 2000 mmpm promedio por año en 29 años, lo que representa 2000 litros por año por m².

Empleando el techo de la vivienda tenemos que la superficie de captación es de 40 m² lo cual representa capturar anualmente: $4 \text{ a m}^2 \times 2000 \text{ litros} \times \text{año} \times \text{m}^2 = 98000 \text{ lt/año}$

Esto en m³ es: 98 m³

2.- En promedio cada habitante consume 30 lts/día, lo que re presenta $10.83 \text{ m}^3/\text{habitante/año}$ o de $87\text{m}^3/\text{familia/año}$ o 3472 m^3 para toda la comunidad.

Una cisterna de 4.5 m por lado para cada familia.

Filtración. La proporción de So_2/m^3 (Dióxido de azufre) se encuentra muy por debajo del límite aceptable.

La filtración por 3 etapas: La primera, es de carbón vegetal; la segunda, es de piedra volcánica o también de arena y grava y piedra bola y la tercera, puede ser de 2 formas: Utilizando algún agente químico y 2.- es utilizando energía solar para purificar el agua.

CONCLUSIONES

La energía solar en todas sus formas (fotovoltaica, fototérmica, eólica, etc.), es la mejor y única forma de poder ayudar a las comunidades rurales y pueblos que se encuentran comunicados en los países del Tercer mundo.

Por otro lado, es importante apoyar a el Instituto Politécnico Nacional (Energía solar fotovoltaica) y a la Universidad Nacional Autónoma de México (Energía solar fototérmica) tanto por el sector público como el privado para fortalecer esta área de la Ingeniería y así evitar importaciones que cada vez resultan más costosas.

Con ayuda del sector privado y gubernamental, este proyecto podría hacerse posible, saliendo beneficiadas todas las personas involucradas pues al tener energía, las comunidades, sus pobladores ya no emigrarían de su lugar de origen por lo que el gobierno se beneficiaría ya que no tendría que -- crear infraestructura extra en las grandes ciudades. Por parte del sector privado, se beneficiarían en el sentido de que encontrarían otra aplicación de sus productos (fibra de vidrio, baterías, plásticos, etc.).

B I B L I O G R A F I A

- 1) ALMANZA, Rafael y LOPEZ, Seraffin: Radiación solar en la República mexicana mediante datos de insolación. México, Instituto de Ingeniería UNAM, 1975.
- 2) ALMANZA, Rafael y LOPEZ, Seraffin: Utilización de las superficies selectivas en la energía solar. México, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1976.
- 3) ALMANZA, Rafael y MUÑOZ, Felipe: Utilización de la energía solar en comunidades rurales. México, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1985.
- 4) ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR: Memorias de la III - Reunión Nacional de Energía Solar. Guadalajara, Jalisco. México, 1981.
- 5) ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR: Memorias de la IV -- reunión Nacional de Energía Solar. San Luis Potosí, México, 1982.
- 6) BELTRAN DE QUINTANA, Miguel: El Sol en la mano. México, -- UNAM, 1982.
- 7) BISHOP, Owen: Montajes electrónicos con células solares. Barcelona, Gersa, 1982.
- 8) DEL VALLE, J.L. y PEREZ, E.J.: Sistemas fotovoltaicos. México. CINVESTAV-IPN, 1982.
- 9) DIRECCION GENERAL DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SALINAS Y -- ENERGIA SOLAR: Cartillas ecológicas. México, SAHOP.

- 10) DIRECCION GENERAL DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SALINAS Y --
ENERGIA SOLAR: Proyecto Sonntlan. México, SAHOP.
- 11) DIRECCION GENERAL DEL SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL: Nor-
males climatológicas período 1941-1970.
México, UNAM, 1982.
- 12) DIRECCION GENERAL DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SALINAS Y ENER-
GIA SOLAR: 8 cartillas ecotécnicas. México, SAHOP.
- 13) FERNANDEZ, José Luis: Calentador solar compacto. México, -
Instituto de Ingeniería-UNAM, 1979.
- 14) FERNANDEZ, José Luis: Generación de electricidad mediante -
sistemas fototérmicos distribuidos. Mé-
xico, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1984.
- 15) FERNANDEZ, José Luis: Métodos para elaborar mapas solarimé-
tricos en Latinoamérica. México, Insti-
tuto de Ingeniería-UNAM, 1983.
- 16) FERNANDEZ, José Luis: Sistema generador solar: Volúmen II,
subsistema termodinámico. México, Insti-
tuto de Ingeniería -UNAM, 1979.
- 17) Cálculo de la radiación solar instantá-
nea en la república mexicana, México, --
Instituto de Ingeniería -UNAM, 1983.
- 18) GALINDO, Ignacio y CHÁVEZ Adolfo: Estudio del clima solar -
en la república mexicana: I. Radiación
solar total. México, Instituto de Geo-
física, UNAM, 1977.

- 19) HERANDEZ, Diego y ALONSO, Antonio: Modelos de un absorbedor solar. México, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1984.
- 20) INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATERIALES: Curso de actualización en energía solar, UNAH-1984.
- 21) NIMICA, Jaime: Celdas solares: fundamentos físicos investigación, tecnología y aplicaciones. Revista: Avance y Perspectiva. Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, IPN, México, 1983.
- 22) PALACIOS, Luis y ALONSO, Antonio: Planta experimental solar para generación de electricidad. México, Instituto de Ingeniería-UNAM, 1980.
- 23) PALZ, Wolfgang: Electricidad solar: Estudio económico de la energía solar. Barcelona, Blume, 1980.
- 24) PEREZ, Esteban: Conversión fotovoltaica de la energía solar. México, E.S.I.M.E., 1977.
- 25) RAU, Hans: Energía solar: Aplicaciones prácticas Barcelona, Marcombo, 1983.

QUETZALCOATL

Quetzalcóatl, fue quizás el más complejo y fascinante de todos los Dioses mesoamericanos. Su concepto primordial, sin duda muy antiguo en el área, parece haber sido el de un monstruo serpiente celeste con funciones dominantes de fertilidad y creatividad. A este núcleo se agregaron gradualmente otros aspectos: la leyenda lo había mezclado con la vida y los hechos del gran Rey sacerdote Topiltzín, cuyo título sacerdotal era el propio nombre del Dios del que fue especial devoto. En el momento de la conquista, Quetzalcóatl, considerado como Dios único desempeñaba varias funciones: Creador, Dios del viento, Dios del planeta Venus, héroe cultural, arquetipo del sacerdocio, patrón del calendario y de las actividades intelectuales en general, etc. Un análisis adicional es necesario para poder desentrañar los hilos aparentemente independientes que entran al tejido de su complicada personalidad.



IMPRESO EN LOS TALLERES DE

Editorial Quetzalcoatl, S.A.

Medicina No. 37 Locales 1 y 2 (Entrada por Paseo de las
Facultades, Frente a la Curva de la Facultad de Medicina de
Ciudad Universitaria).
México, 21, D.F. C.P. 04360 Tels: 658-71-66 y 658-70-88