

28
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON

ALIMENTACION DE UN MODULO DE MONITOREO
AMBIENTAL POR MEDIO DE ENERGIA SOLAR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
P R E S E N T A :
RENE ABELARDO RAMOS DANIELES

ASESOR: ROBERTO CORTÉS BUENROSTRO

México

1999

TESIS CON
VILLA DE ORIGEN

27-6-21



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis padres con respeto
Y cariño y como cumplimiento
A su sacrificio y esfuerzo

Abelardo Ramos Dávila
Martha Danieles Ramos

A mi hermano por el apoyo
mutuo que compartimos

Mauricio Ramos Danieles



A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

A LA ESCUELA DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN

Por darme la oportunidad de instruirme y de aprender valiosos conocimientos que contribuyeron en mi desarrollo

A mi director de tesis:
Ing Roberto Cortes Buenrostro
Quien me brindo sus conocimientos
y su colaboración en la elaboración
de este trabajo.

Al honorable jurado

Ing. Margarito Eleazar Pineda Díaz
Ing. Benito Zuñiga Navarrete
Ing. Jose Juan Mejía Roldán
Ing Abel Verde Cruz



Mi más sincero agradecimiento al
Instituto Mexicano del Petróleo
Por brindarme su apoyo para mi
formación profesional a través
del programa de estancias profesionales.

A todas aquellas personas que
desinteresadamente me brindaron
sus conocimientos y apoyo para el
desarrollo de este trabajo

A todos mis amigos:

Guillermo, Jose Ma. Felipe,
Víctor, Juan Jesús, Ismael, Israel,
Enrique, Pavel, Luis, Gabriel,
Claudia, Alejandra y Mauricio



Señor:

PROTÉGEME de la filosofía que no ríe, de la sabiduría que no llora, y de la grandeza que no se inclina ante los niños.

INDICE:

	Pags.
INTRODUCCION.....	1
 CAPITULO I. ENERGÍA SOLAR COMO MEDIO DE AUTONOMÍA DE OPERACIÓN.	
1.1. ENERGÍA SOLAR.....	9
1.2. UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR	22
1.2.1 HISTORIA DEL EFECTO FOTOVOLTAICO	
1.2.2 EL FUNCIONAMIENTO	
1.2.3 ABSORCION Y CONDUCCION	
1.2.4 LA EFICIENCIA DE CONVERSION DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA	
1.3. VENTAJAS.....	30
1.4. APLICACIONES	35
 CAPITULO II. MODULO DE MONITOREO AMBIENTAL.	
2.1. FUNCIONAMIENTO...	38
2.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.	43
2.3. CARACTERISTICAS DE ALIMENTACION ELECTRICA.....	44
 CAPITULO III. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION.	
3.1. INTRODUCCION..	46
3.2. MÉTODOS DE CALCULO PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.	47
3.2.1. CALCULO SIMPLIFICADO DE CEAC	
3.2.2. CALCULO SIMPLIFICADO DE CONDUMEX	
3.2.3. CALCULO SIMPLIFICADO DE CHARNICOFF	
3.2.4. PROGRAMA DE SOLAREX PARA CALCULAR EL NO. DE BATERIAS, MÓDULOS, Y CONTROLADORES DE CARGA	

3.3. CALCULO PARA DIMENSIONAR UN BANCO DE BATERIAS Y OBTENER EL NUMERO DE MODULOS NECESARIOS EN UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA	57
---	----

3.4. CALCULO SEGUIDO PARA OPTIMIZAR LAS CONTRIBUCIONES DEL SUBSISTEMA DE GENERACIÓN (MÓDULOS FOTOVOLTAICOS) Y DEL SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN (BATERÍAS)	63
---	----

CAPITULO IV. CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES.

4.1. COMPONENTES DEL DISEÑO.	89
4.1.1. ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA	
4.2. CELDAS FOTOVOLTAICAS	95
4.2.1. MATERIALES PARA LAS CELDAS	
4.2.2. MODELOS DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS	
4.2.3. CONSIDERACIONES AL INSTALAR UN MÓDULO FOTOVOLTAICO	
4.2.4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE ACUERDO AL FABRICANTE	
4.3. BATERÍAS.	109
4.3.1. LOS SISTEMAS CON BATERÍAS	
4.3.2. CURVAS DE FUNCIONAMIENTO	
4.3.3. CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS	
4.4. CONTROLADORES DE CARGA	123
4.4.1. FUNCIONAMIENTO	
4.4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS CONTROLADORES DE CARGA	
4.4.3. CARACTERÍSTICAS ELÉC. DE LOS CONTROLADORES DE CARGA	
4.5. INVERSOR	128
4.5.1. FUNCIONAMIENTO	
4.5.2. PRUEBA DE TEMPERATURA CON EL INVERSOR	
4.6. CIRCUITO DE CONMUTACION	132
4.7. CABLE	134
4.8. SOPORTES	136

CAPITULO V. COSTOS Y PRUEBAS AL SISTEMA.

5.1. INTRODUCCION.....	139
5.2. COSTOS DEL SISTEMA.....	142
5.3. PROVEEDORES.....	144
5.4. PRUEBAS REALIZADAS A LOS PANELES.....	152
5.5 . RESPUESTA DEL SISTEMA.....	159

CONCLUSIONES.....	172
--------------------------	------------

GLOSARIO.	174
-----------------------	------------

BIBLIOGRAFIA.	183
---------------------------	------------

INTRODUCCION

Uno de los problemas que actualmente aquejan a las poblaciones son los crecientes índices de contaminación, resultado de la actividad comercial e industrial de la sociedad. Con el propósito de conocer los niveles de contaminación, durante años se han venido realizando inspecciones con equipos de monitoreo ambiental periódicamente para conocer los índices de distintos contaminantes y compararlos con las normas existentes a nivel nacional como la NOM (Norma Oficial Mexicana) y a nivel internacional como las ISO (International Standard Organization) o EPA (Environment Protection Agency) entre otras; dichas inspecciones resultan sumamente costosas, por el alto gasto que implican los equipos para obtener los datos, las unidades móviles que los transportan, el trabajo de análisis de laboratorio, la interpretación de estos resultados y el costo del personal que participa en dichas actividades.

Siendo PEMEX una de las industrias que mayormente contamina el aire entre otras industrias, esta obligada a realizar monitoreos más frecuentes y de mayor calidad con la intención de conocer con precisión la magnitud, la forma y el lugar donde realmente impactan los contaminantes para salir de esta forma de simples especulaciones o sanciones indebidas de parte de las autoridades.

Ante la necesidad de disponer de información confiable para conocer las condiciones de dispersión de las emisiones contaminantes de las fuentes fijas y de los procesos involucrados en la fabricación de combustibles, el IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) a través de la Gerencia de Ciencias del Ambiente de la Subdirección de Protección Ambiental realiza para PEMEX monitoreos ambientales de los puntos con mayor índice de contaminación según estudios previos, llevándolos a cabo con laboratorios móviles en diferentes refineries, de una manera perimetral (punto por punto) y en tiempos diferentes tal como se observa en la figura 1. En adición a los monitoreos se consideran los factores climatológicos utilizando una estación meteorológica que comúnmente nos muestra los parámetros de velocidad y dirección de viento (anemómetros), temperatura, humedad relativa, radiación solar (piranómetro), presión barométrica, y precipitación pluvial (pluviómetro) para ver su influencia sobre el nivel de contaminación de un lugar (en este caso Refinerías).

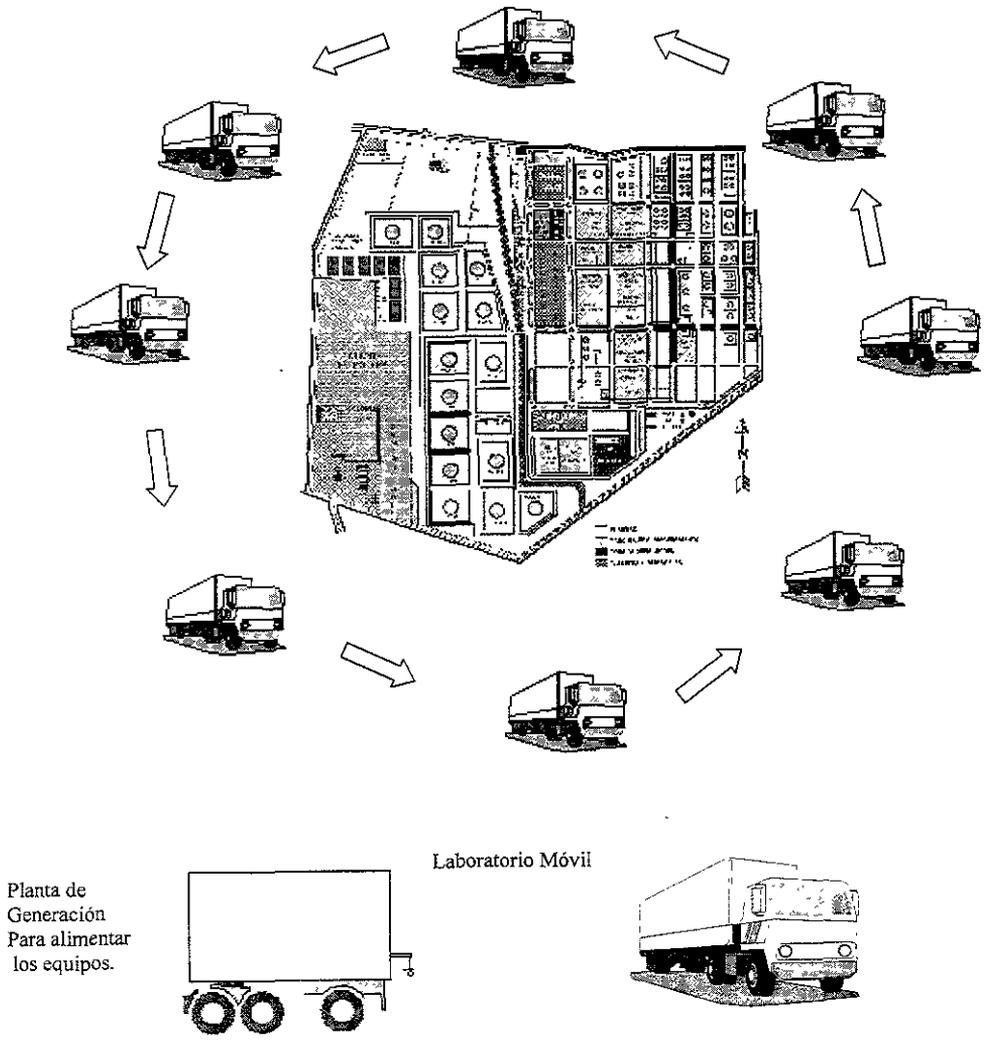
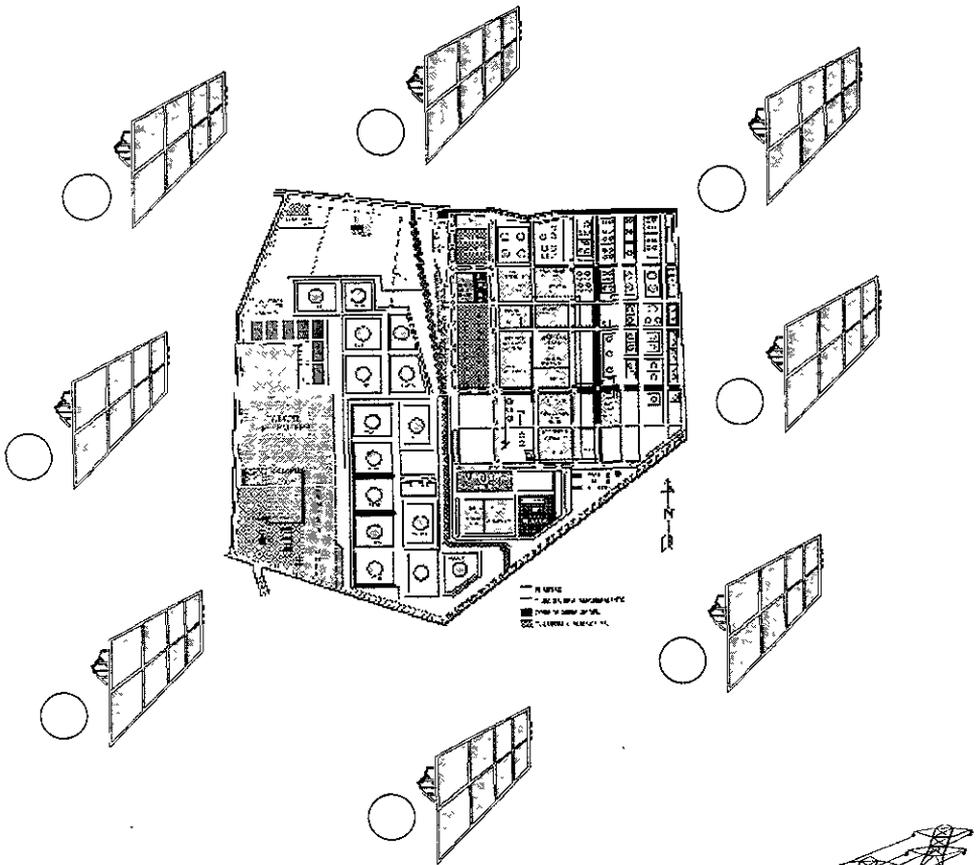


FIGURA 1. MONITOREO PERIMETRAL (PUNTO POR PUNTO Y EN TIEMPOS DIFERENTES)

Con el objeto de mejorar la calidad del monitoreo perimetral, se ha considerado convertirlo en un monitoreo de varios puntos en tiempo real para obtener datos más confiables, obteniendo los valores de cada uno de los contaminantes, con valores instantáneos en diferentes puntos como se puede ver en la figura 2, de esta manera podemos tener para las condiciones meteorológicas que se presenten, un modelo mas preciso de lo que ocurre con relación al grado de contaminación de cada refinería y sus alrededores, y poder hacer estimaciones, predicciones y tomar datos basados en este otro tipo de monitoreo.



En este tipo de monitoreo se colocarían puntos de monitoreo distantes entre sí y distantes a su vez de la red de distribución eléctrica de CFE y como no representan una carga que requiera grandes compromisos en el consumo de energía eléctrica, no se les puede dedicar una línea de la red en particular para cada una por tanto una buena solución es adaptar estos equipos con una fuente de energía solar.

FIGURA 2. MONITOREO EN TIEMPO REAL DE VARIOS PUNTOS

Una forma económica de brindar alternativa al mejoramiento de la calidad de los monitoreos realizando un monitoreo en tiempo real, es desarrollando nuestra propia tecnología realizando algunas adaptaciones a los actuales equipos, una de estas adaptaciones recae en el aprovechamiento de la energía solar por medio de celdas fotovoltaicas lo cual le podrá brindar a los equipos autonomía de alimentación eléctrica, facilidad de operación en cualquier terreno, reduciendo costos y tiempo para poder en un futuro enlazar a múltiples equipos por medio de los sistemas de comunicación como microondas, satélite, Internet u otros disponibles en la actualidad; lo anterior se muestra en la figura 3. Dicho desarrollo permitirá a nuestra gerencia de Ciencias del Ambiente disponer de elementos que la ubiquen en un plano competitivo y de calidad.

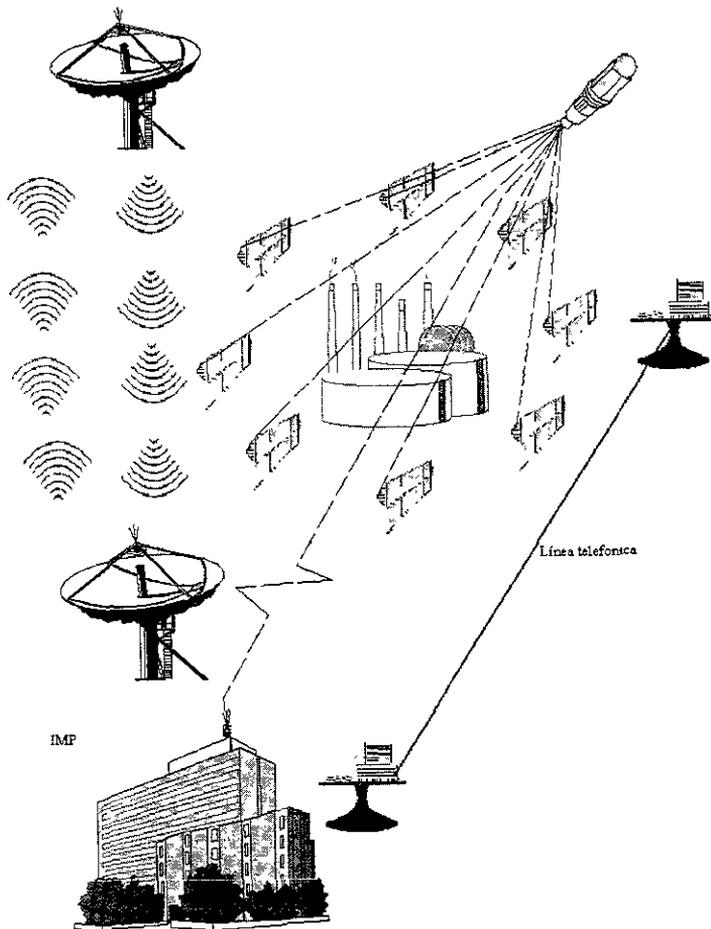


FIGURA 3 LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO EN TIEMPO REAL DE DISTINTOS PUNTOS PUEDE SER TRANSMITIDO A OTROS LUGARES CON LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN EXISTENTES EN LA ACTUALIDAD.

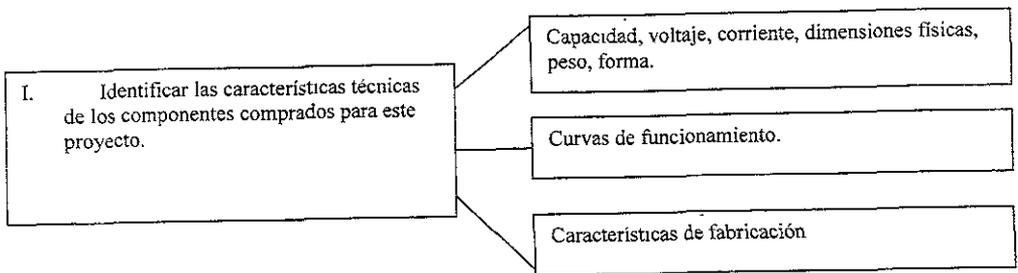
Todo esto nos ayudará a obtener un monitoreo más amplio, más preciso y de mayor confiabilidad. En caso contrario si se pretendiera realizar un monitoreo en tiempo real en varios puntos utilizando unidades móviles implicaría gastos de mantenimiento, de operación, de la inversión de laboratorios móviles sus respectivas plantas de emergencia, del personal participante, etcétera,

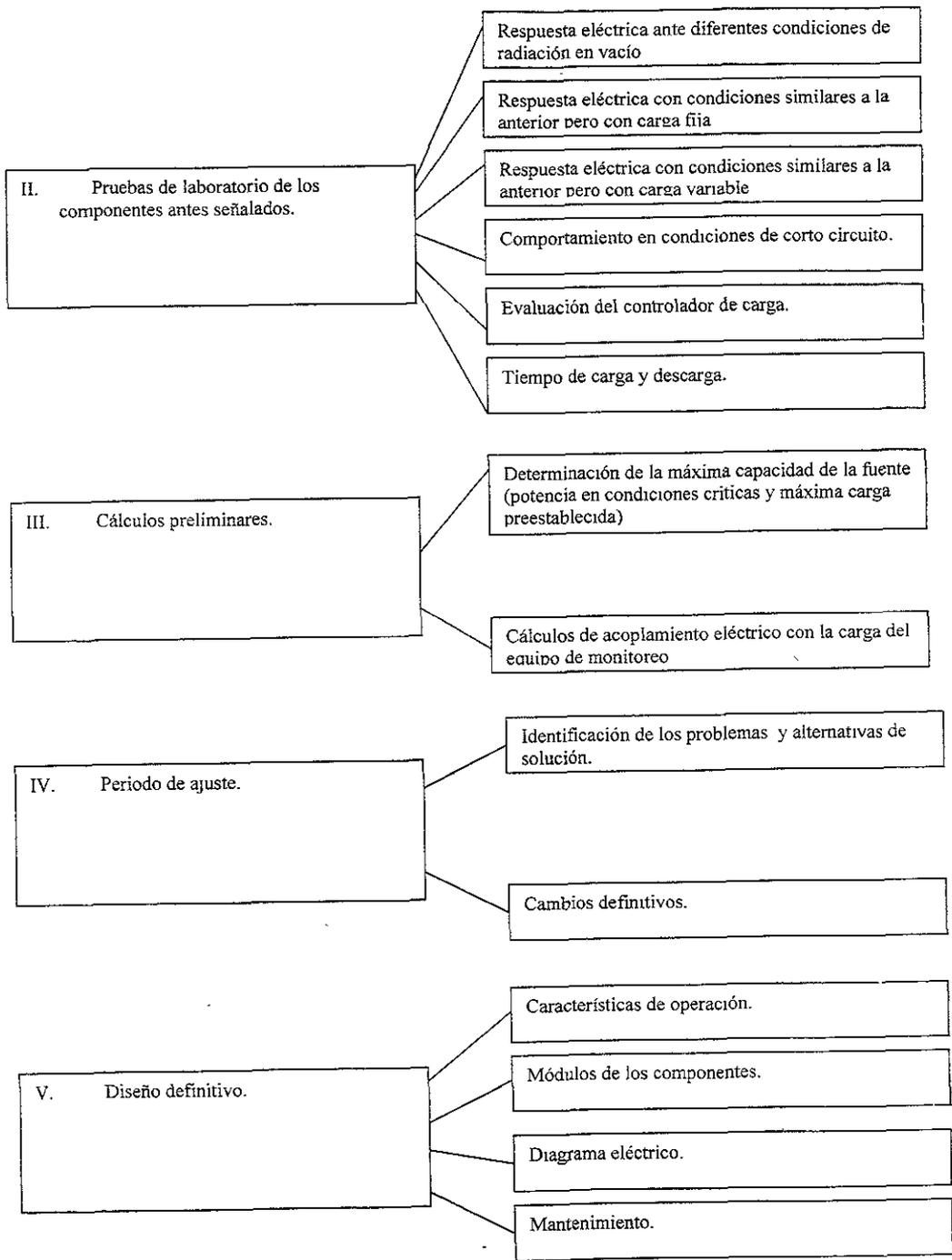
El objetivo de este proyecto es diseñar y construir una fuente de energía eléctrica por medio de energía solar para alimentar un modulo de monitoreo ambiental.

En el Laboratorio de calibración perteneciente al Area de Monitoreo de la Gerencia de Ciencias del Ambiente surgió la iniciativa de realizar este trabajo ya que en este Laboratorio se realizan investigaciones para desarrollo tecnológico además de algunas otras actividades como mantenimiento y calibración a estaciones meteorológicas, adquisición de datos y estudio de Normas de Calidad para la certificación del Laboratorio. El Laboratorio había adquirido antes de este trabajo de tesis el siguiente equipo para realizar las pruebas pertinentes y llevar a cabo la fuente citada en el objetivo:

- 4 módulos fotovoltaicos SOLAREX, de 64 W, mod MSX-64
- 4 Baterías LTH, de 115 A-Hr, mod FP-31-19
- 2 Controladores de Carga LTH, de 20 A, mod GPC-12-20-2

Y se realizaron los siguientes pasos para llegar al objetivo:





El diseño final de la fuente contiene cuatro baterías FP 31-12 de 12 Vdc cada una, ácido sulfúrico - agua - calcio selladas, 4 paneles fotovoltaicos MSX-64 de 64 W cada uno, de silicio policristalino, el tiempo de respaldo mínimo es de 10 horas y el máximo es de 14 horas conectando una carga de una potencia de 250W como el analizador de SO₂ (modulo de monitoreo ambiental). Proporcionando a través de un inversor un voltaje de 127 Vac y una corriente de 2.5 Amp aproximadamente.

Cuenta con protección contra cortos circuitos mediante su sistema de restablecimiento manual una vez removido el corto circuito, tiene indicadores (leds) que señalan la falta de aportación de corriente por parte de los módulos y efectúa una revisión constante del estado de las baterías indicando el nivel con leds y abriendo el circuito en caso de presentarse la descarga de las mismas de igual manera las desconecta para protegerlas contra sobrecarga cuando el nivel de carga es óptimo, los controladores de carga y el inversor se encuentran protegidos contra sobrecorriente o corto circuito por medio de fusibles de acuerdo a la carga que manejan.

El diseño de una fuente de energía eléctrica por medio de energía solar es un proyecto que me pareció importante debido a que está encaminado finalmente, para aplicar nuestros conocimientos haciendo uso de los recursos e investigaciones necesarias que nos harán obtener un mejor desarrollo y conocimiento del medio ambiente.

Los diferentes capítulos que constituyen este trabajo, exponen con adecuada amplitud la energía solar, como puede ser utilizada como medio de autonomía de operación, las modificaciones en su intensidad su distribución espectral y su composición, el diseño, características de los componentes y elementos auxiliares de la fuente de alimentación por medio de energía solar.

En el capítulo 1 presenta la importancia de la energía solar, su disponibilidad, su aprovechamiento sobre todo en nuestros días en los que se busca el ahorro de energía ante la crisis energética de los combustibles fósiles de escasez de energía y las aplicaciones y ventajas de su aprovechamiento en el fenómeno fotovoltaico.

El capítulo 2 nos enseña el módulo de monitoreo, ¿qué es?, ¿para que sirve? y bajo que rangos opera, como funciona, y una breve explicación del funcionamiento del analizador de SO₂ (o modulo de monitoreo) para conocer un poco acerca de la carga a la que alimenta la fuente.

En el capítulo 3 se desarrolla el planteamiento y diseño del sistema mediante las ecuaciones o programas que nos ayudan en la determinación de los elementos que necesitamos para obtener el diseño de la fuente y el diseño final de la fuente.

En el capítulo 4 se enumeran y analizan las partes constitutivas de la fuente por medio de sus características y funciones dentro del sistema.

El capítulo 5 nos proporciona información de las pruebas que se efectuaron para entender el comportamiento o respuesta de los elementos de esta fuente, una parte relativa a costos y la información de precios y proveedores de los elementos que componen esta fuente.

CAPITULO 1

Energía solar como medio de autonomía de operación.

1.1 Energía solar

El sol con la energía que nos envía mantiene la vida sobre el planeta. Su energía determina los distintos fenómenos o accidentes meteorológicos que se desarrollan como procesos naturales imprescindibles para el mantenimiento de la vida, él es quien mantiene todos los ciclos vitales y quien nos da la luz y el calor. Es la gran potabilizadora del agua del mar al mantener permanentemente el ciclo del agua sobre la tierra. Sin el sol no existirían las fuentes de energía que el hombre utiliza; como son el gas, el petróleo, el carbón, la madera, los saltos de agua, el viento las corrientes marinas, etc. Pero de toda esta gama hay formas de energía que se han ido acumulando a lo largo de millones de años y que ahora estamos agotando rápidamente, mientras otras –de características renovables- apenas si les hacemos caso.

Corrientes de partículas cargadas eléctricamente, y cuyo origen son reacciones nucleares del centro del sol, producen la radiación de ondas electromagnéticas que son emitidas en todas direcciones. Cuando estas inciden sobre la superficie terrestre se producen dos fenómenos directamente evidentes para el hombre: primero la iluminación de la luz, la cual es radiación electromagnética, que produce al incidir en el ojo humano, haciendo posible la visión, y segundo, la generación de calor que las ondas producen al incidir sobre la materia.

Aparte de éstos son muy diversos los efectos que la radiación solar produce sobre la tierra, pero no todos son tan directamente perceptibles por el hombre, y otros aún son imperceptibles.

Como ejemplo podemos citar el proceso fotosintético y algunas reacciones químicas generadas por la incidencia de la radiación solar sobre algunas sustancias.

La radiación total interceptada por la superficie que presenta al sol nuestro planeta es de 173×10^{12} kW; cifra que, representa casi 100,000 veces la cantidad de la energía eléctrica que producen actualmente las centrales de todo el mundo. La energía que recibe la Tierra del sol en un año es 10 veces mayor que el total de fuentes fósiles, incluyendo las fuentes no descubiertas, no explotadas y las no recuperables. Si tomamos en cuenta que la energía total que se consume actualmente en un año en toda la tierra es del orden de 60×10^{12} kw/h, basta un sencillo cálculo para ver que el sol proporciona unas 25,000 veces más. Para el año 2000 se prevé que el consumo energético se haga 2.3 veces mayor; aún el sol nos da gratuitamente 11,000 veces más que la que gastamos bajo todos los conceptos en forma de energía primaria.

Pero ¿cómo el sol puede proporcionar esta enorme energía ininterrumpidamente desde los albores del sistema solar y continúa después de cinco mil millones de años? Es que el sol es un enorme globo de gases incandescentes de 1.4 millones de Km de diámetro, lo que equivale a 1.3 millones de veces el volumen de la tierra. Su temperatura en su interior es de 12 a 21 millones de grados, estimándose en su superficie una temperatura de 5,800 a 5,900°C. La energía irradiada en todas las direcciones es de 3.7×10^{33} ergios cada segundo, o lo que es igual una potencia de 3.7×10^{23} kW (que equivale a cerca de 8,000 W/cm²). Esta extraordinaria energía proviene de las reacciones de fusión nuclear, según las cuales el hidrógeno se va transformando progresivamente en helio, dando como resultado una aniquilación de masa del 0.7% que se convierte en energía. Haciendo el cálculo de equivalencia entre masa y energía, se obtiene que el sol pierde masa a razón de 4.3 millones de toneladas cada segundo. Según esto, para que se consuma el 10% solamente del hidrogeno contenido en el sol han de transcurrir 6,000 millones de años, lo cual nos asegura una “fuente de energía a largo plazo”.

La disponibilidad de la energía solar a escala mundial y nacional la vemos en la figura I.1 en donde con únicamente el 10 % de la energía captada en 150 km² (con 0.05% de desierto), se completa la energía de consumo eléctrico mundial de 1978., o en el caso de nuestro país con sólo el 10 % de la energía captada en 15 Km² de nuestro país (con 0.02% de desierto), se cubre el consumo eléctrico nacional de 1978.

El consumo actual de energía primaria en el mundo es de 60×10^{12} Kw/h al año, bastaría sólo un rendimiento del 5% en la captación de la radiación incidente para obtener un aprovisionamiento de energía primaria 40 veces mayor que el actualmente utilizado.

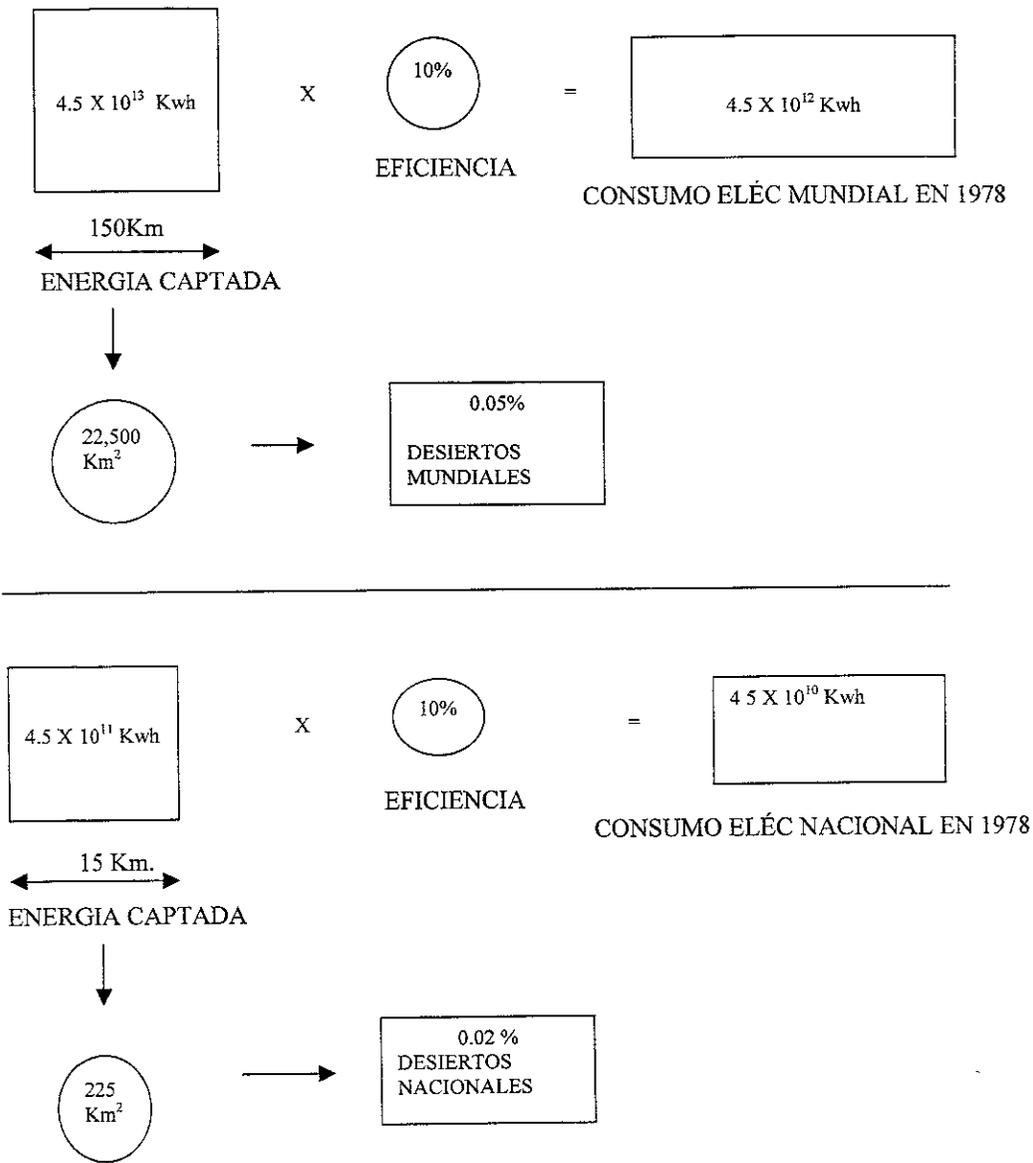


FIGURA I.1 Disponibilidad de la energía a escala mundial y nacional

Como datos numéricos digamos que la intensidad máxima observada a nivel del mar, con el sol en el cenit, es ligeramente superior a 1KW/m^2 , y que aumenta con la altura. A los 1,000 m a nivel del mar es de 1.05KW/m^2 , llegando hasta 1.2KW/m^2 en las montañas más altas, con el cielo totalmente despejado. La radiación que llega a las altas capas terrestres es de $1.352\text{KW/m}^2 \pm 1.5\text{W/m}^2$, según datos obtenidos en 1973 con el uso de satélites. Este dato llamado "constante solar", tiene una variación del 3.3%, según que la tierra esté en el afelio (distancia al sol igual a 152 millones de Km.) o en el perihelio (distancia al sol igual a 147 millones de Km.), y equivale a un flujo calorífico 1.94 calorías por cm^2 y por minuto. La constante solar también puede tener una variación propia del 2%, según la actividad de las manchas solares.

Las mayores cantidades de energía procedentes del sol se reciben en los dos cinturones que rodean a la tierra próximos a los trópicos, y que estas zonas son en su mayoría desiertos en donde no existe la vegetación, y las lluvias prácticamente no se conocen. Tales desiertos —que reciben una radiación de 2,000 a 2500 kwh/m^2 por año— ocupan una extensión próxima a la octava parte de la de todos los continentes, siendo los de mayor importancia en el entorno del Trópico de Cáncer, el Arábigo, el Thar de Pakistán e India Noroccidental y el de sonora entre México y Estados Unidos, y en el entorno del Trópico de Capricornio, el de Karlahari en Sudáfrica, el gran desierto Victoria en Australia y de Atacama norte de Chile. Se ha dicho en relación con el desierto de Atacama que en él se recibe más calor del sol en un año que el producido en el mundo entero en 1957 quemando petróleo, carbón, gas y madera. La superficie total de estas zonas desérticas de la tierra se aproxima a los 20,000,000 km^2 , en donde inciden cerca de 50×10^{15} kwh al año.

La luz y el sol

La energía del sol es vital para la vida en la tierra. Esta determina la temperatura de la superficie de la tierra y abastece virtualmente toda la energía que controla los sistemas naturales globales y sus ciclos. Aunque algunas otras estrellas son enormes fuentes de energía en forma de rayos X y señales de radio, nuestro sol libera 47 % de su energía como luz visible. Así la luz visible representa solo una fracción del total del espectro de radiación; los rayos infrarrojos el 46 % y los ultravioletas el 7% restante.

El sol emite virtualmente toda su energía de radiación en un espectro de longitud de onda que varía de cerca de 2×10^{-7} a 4×10^{-6} m. La mayoría de esta energía está en la región visible. A cada longitud de onda corresponde a una frecuencia y una energía; entre más pequeña es la longitud de onda es más alta la frecuencia y más grande la energía (expresada en eV, o electrón volts). Los anteriores valores se muestran en el espectro electromagnético de la figura I.2

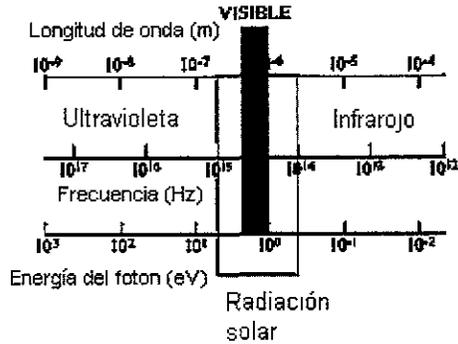


FIGURA I.2 El espectro electromagnético de la radiación solar.

Cada porción del espectro solar es asociada con un nivel diferente de energía. Dentro de la región visible del espectro, por ejemplo, la luz roja está en el extremo inferior de energía y la luz violeta en el extremo superior de energía. En las regiones de luz invisible del espectro, los fotones de la luz ultravioleta, causantes de quemaduras en la piel, tienen más energía que aquellas de la región visible. De este modo, los fotones de la luz infrarroja, que sentimos como calor, tienen menos energía que los fotones de la región visible.

La luz y el sol aquí en la tierra

El movimiento de la luz de una locación a otra puede ser descrito mejor considerándolo como si fuese una onda, y tipos diferentes de radiación son caracterizados por sus individuales longitudes de onda (una longitud de onda es la distancia entre el pico de una onda al pico de la siguiente). Estas longitudes de onda denotan radiación con diferentes cantidades de energía; entre más larga sea la longitud de onda, menor energía. La luz roja, que tiene una longitud de onda larga tiene por tanto menos energía que la violeta.

Cada segundo, el sol libera una enorme cantidad de energía hacia el sistema solar. La tierra recibe una pequeña fracción de esta energía; y así un promedio de 1367 watts alcanza cada metro cuadrado de la orilla exterior de la atmósfera terrestre. La atmósfera absorbe y refleja cierta parte de esta radiación, incluyendo la mayoría de los rayos X y ultravioleta. Aún así el monto de energía brillante que golpea la superficie de la tierra cada minuto es más grande que el consumo total de energía que consume la población humana total en un año.

La atmósfera de la tierra y la cubierta de las nubes absorben, reflejan y esparcen cierta parte de la radiación solar que llega a la atmósfera, no obstante grandes cantidades de energía brillante directa o difusa alcanzan la superficie terrestre y pueden por tanto ser usadas para producir electricidad fotovoltaica como lo vemos en la figura I.3.

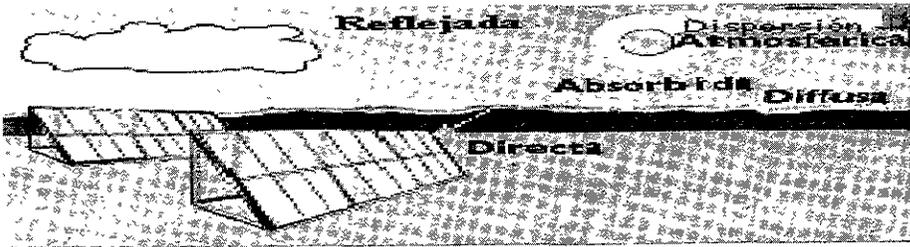


FIGURA I.3 Luz directa y difusa y la reflexión, absorción y dispersión de la luz

Durante su camino la radiación solar sufrirá diferentes absorciones y reflexiones que van mermando su intensidad inicial. Así que cuando llegan a nuestro planeta, su valor ha disminuido. Un 30% poco más o menos del total radiado, se ha proyectado de nuevo al exterior por reflejo, y sólo el 70 % que resta es absorbido por la tierra.

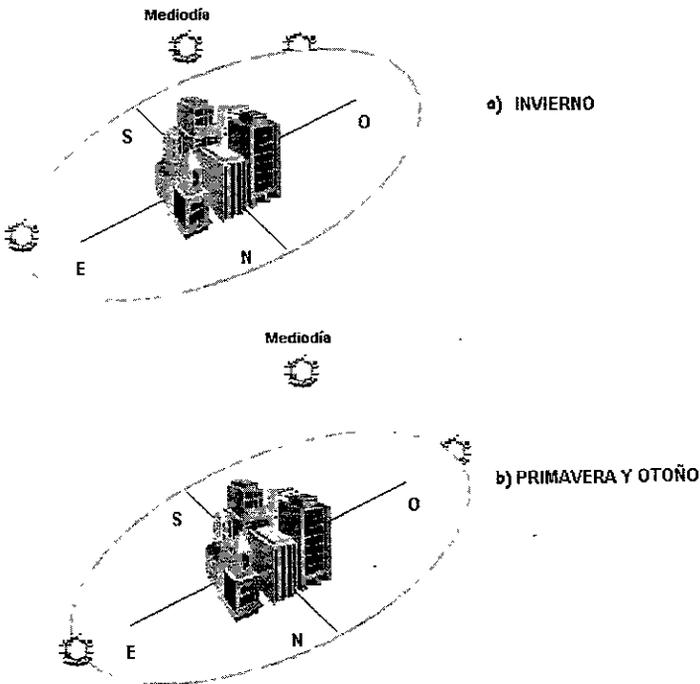
No obstante, a pesar de la pérdida de radiación producida al atravesar la atmósfera, esta energía tiene aún tal potencial que la intensidad por unidad de superficie, en condiciones normales, fluctúa entre los 1000 y 1200 watts por metro cuadrado.

El valor exacto de la radiación global en un punto depende tanto de la intensidad de esta misma radiación, como de la insolación o soleamiento del lugar. Ambas condiciones se hallan en función, principalmente, de las condiciones atmosféricas del punto de la tierra en donde se estudia el fenómeno.

Así, dicho valor variara según sea la zona geográfica en donde esté enclavada la localidad objeto del problema: la latitud es un factor determinante. También lo son, en mayor o en menor grado, la altura sobre el nivel del mar; la estación del año; la hora; y por supuesto, la calidad atmosférica. Tal es así, que se observan cambios importantes en la radiación que llega al suelo al comparar la recibida en una zona con atmósfera limpia y la que se recibe en una zona industrial próxima a la primera. Es que la presencia de partículas de pequeño diámetro, residuo de pequeñas combustiones, aumenta notablemente la dispersión.

El recurso solar

Cuando la luz del sol alcanza la Tierra, es distribuida de manera desigual en diferentes regiones. Sin sorprender que en las áreas cercanas al ecuador reciban más radiación solar que alguna otra parte en el mundo. La luz del sol varía de acuerdo con las estaciones, con la translación del eje rotacional de la tierra para hacer días más largos o más cortos con el cambio de estaciones (figura I.4). La cantidad de luz solar que alcanza alguna región también afectada por la hora del día, el clima (especialmente la cubierta de nubes, que dispersa los rayos del sol), y la contaminación en esa región. Asimismo, estos factores climáticos afectan el monto de la energía solar que esta disponible para los sistemas que aprovechan la luz solar.



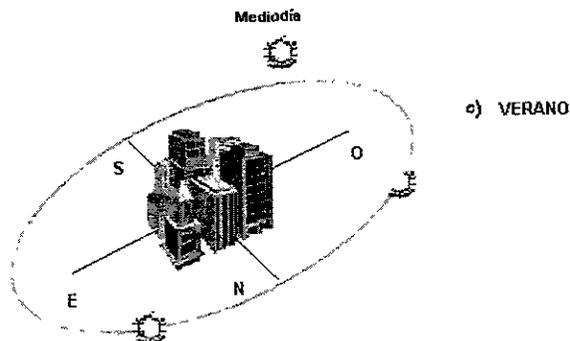


FIGURA I.4 Posición del sol al amanecer, mediodía y atardecer en latitudes del meridiano norte al principio de cada estación.

La radiación solar en México

El método que se emplea en el trabajo de “Radiación solar en la República Mexicana” y que nos sirve para obtener el dato de radiación solar es el empírico deducido por Jeevananda que obtiene la radiación global con desviaciones menores de 10 por ciento.

Dicho autor, además de los datos de insolación, emplea parámetros tales como latitud del lugar, longitud promedio del día y número de días lluviosos en el mes, así como humedad relativa promedio por día. Ya que todos pueden obtenerse para diferentes partes de la República (38 localidades): de 30 años para 14 localidades, para 11 localidades promedios que abarcan más de 25 años, Tres con promedios superiores a 15 años, dos con diez o más años y las cuatro restantes con unos siete años, se cree que el mapeo estará dentro de ± 10 por ciento de precisión.

Con base en este método, se realizaron mapeos mensuales de la República Mexicana a fin de conocer la radiación solar global media diaria, en ly/día (esta unidad esta definida en el glosario), mediante datos de horas de insolación. Además, se obtuvo el mapa de radiación media anual en las mismas unidades.

Los datos fueron bastante representativos, pues existe una continuidad aceptable con la información referente a la frontera norteamericana, con isólineas obtenidas por Bennett para los 12 meses del año.

En el mapa correspondiente al promedio anual de la figura I.5, se observa que las regiones de mayor radiación en la República son las del norte de Sonora y Chihuahua, que serían las más propicias para fines de instalaciones que requieran una incidencia alta de energía solar. Existen otras dos regiones bastante definidas, con más de 450 ly/día en el año: una que abarca Durango, Zacatecas, Aguascalientes, la mayor parte de Guanajuato y el noroeste de Jalisco, otra que comprende una parte de Puebla, y otra bastante amplia, de Oaxaca. Además, se aprecia que más de la mitad del país recibe 400 ly/día en el año, lo que significa que en México el uso de la energía solar representa una fuente importante de energéticos para el futuro.

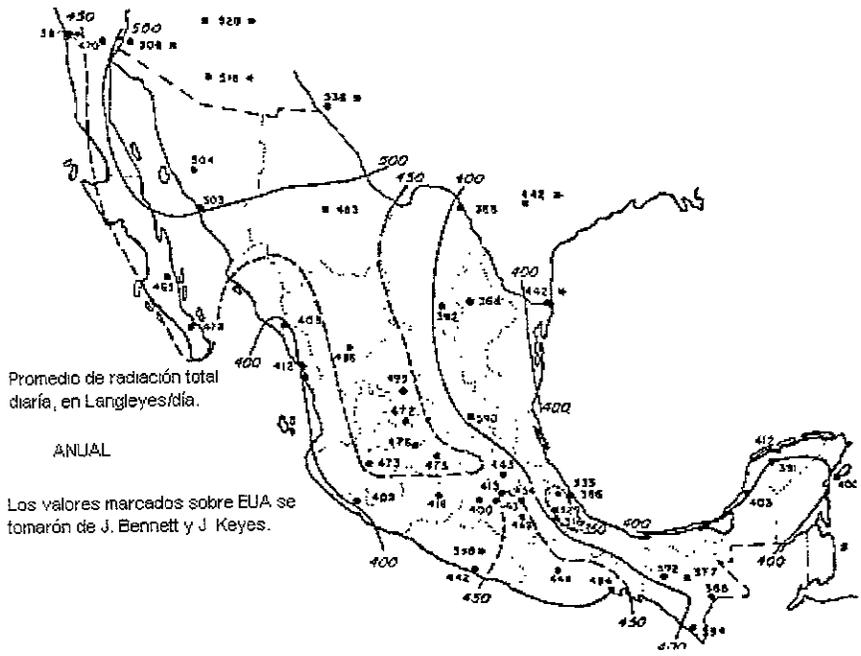
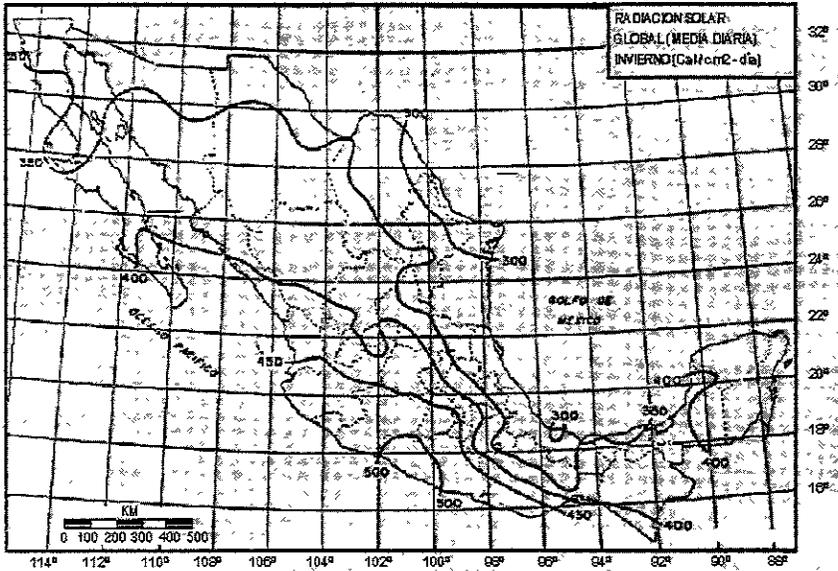
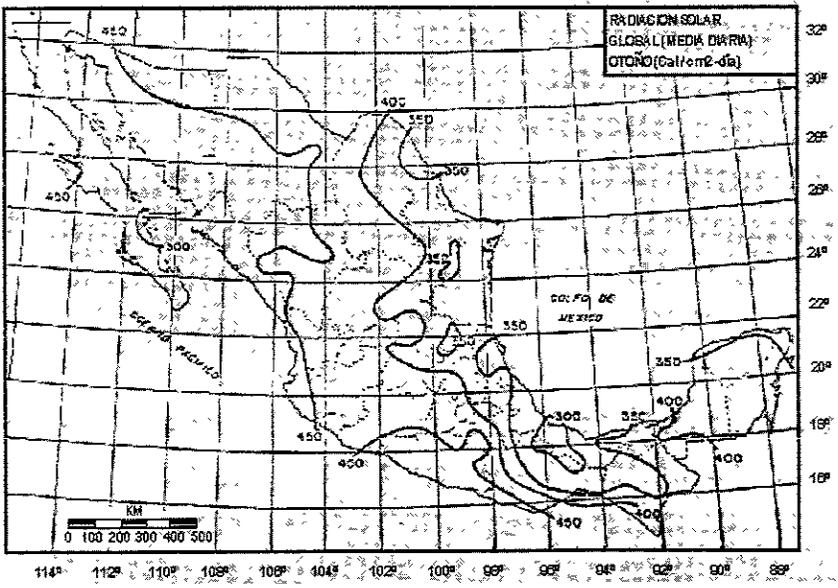


FIGURA I.5 Mapa de promedio anual de radiación total.

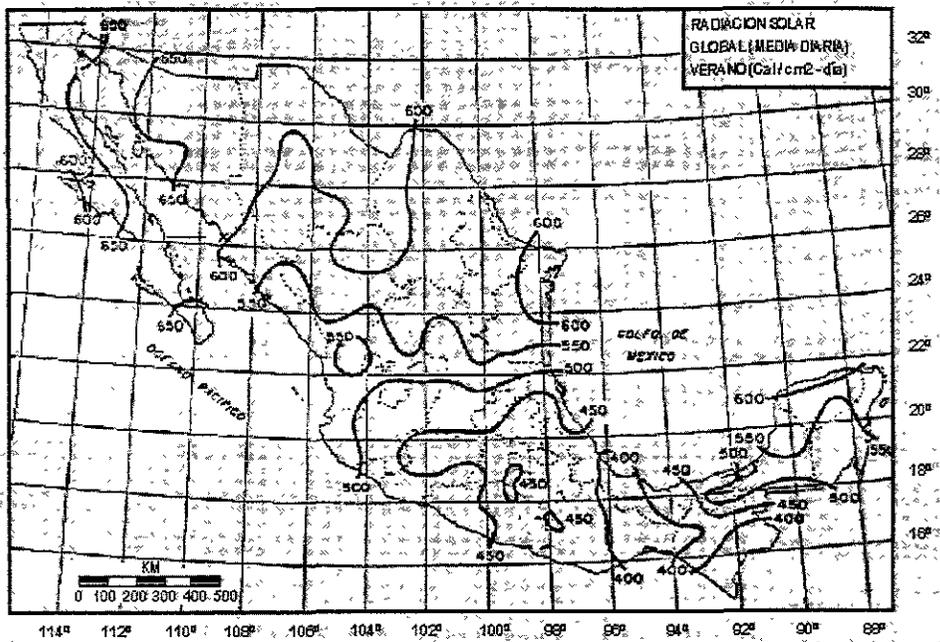
También podemos encontrar mapas de acuerdo a la estación como los de las siguientes figuras:



a)



b)

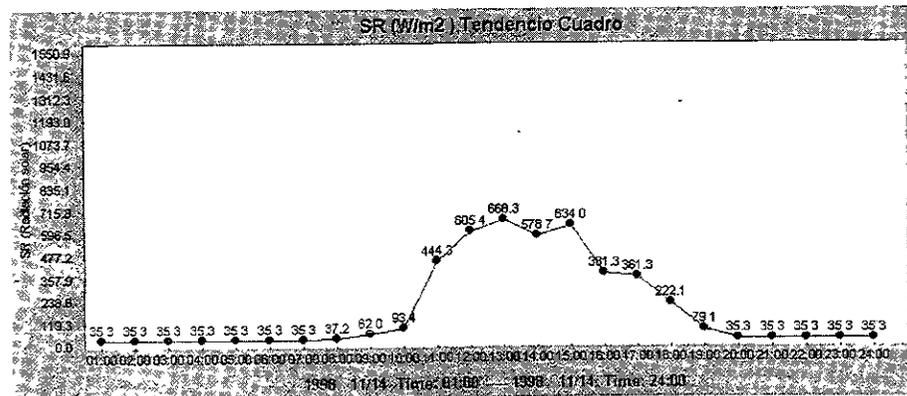
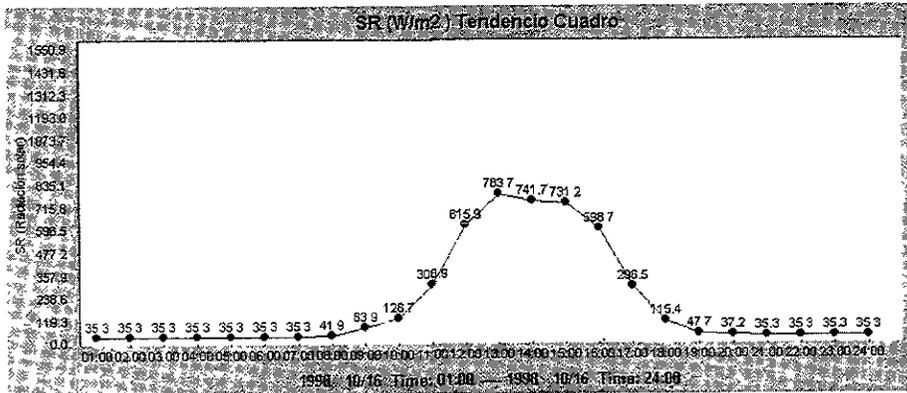
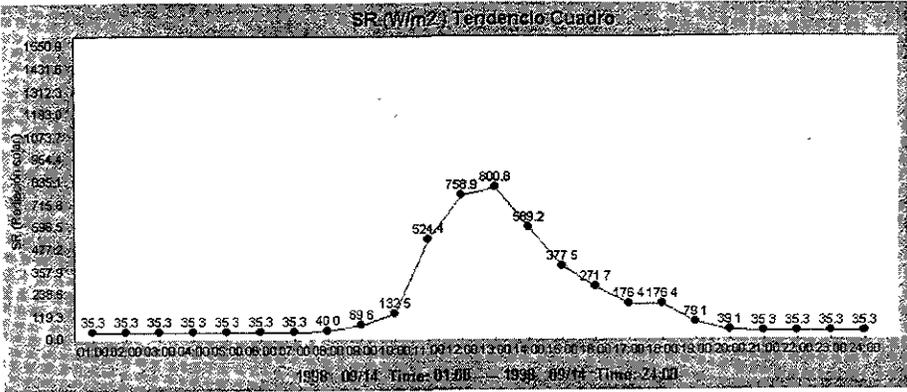


c)

FIGURA I.6 Mapas de radiación solar global en diferentes estaciones a) invierno, b) otoño y c) verano, incluyen los datos de latitud y altitud.

Al elaborar mapas climatológicos de radiación total, es común emplear mediciones de ésta en su forma directa más difusa, medida en unidades de energía por unidad de tiempo, por unidad de área sobre un plano horizontal mediante un piranómetro.

A modo de ejemplo presentaremos los datos obtenidos en el punto donde se realizaron las pruebas, utilizando un datalogger marca Met one y un piranómetro de la misma marca y obteniendo los siguientes curvas de la figura I.7 presenta los mejores días (entre 14-16) de cada mes a partir de septiembre 1998 hasta febrero de 1999.



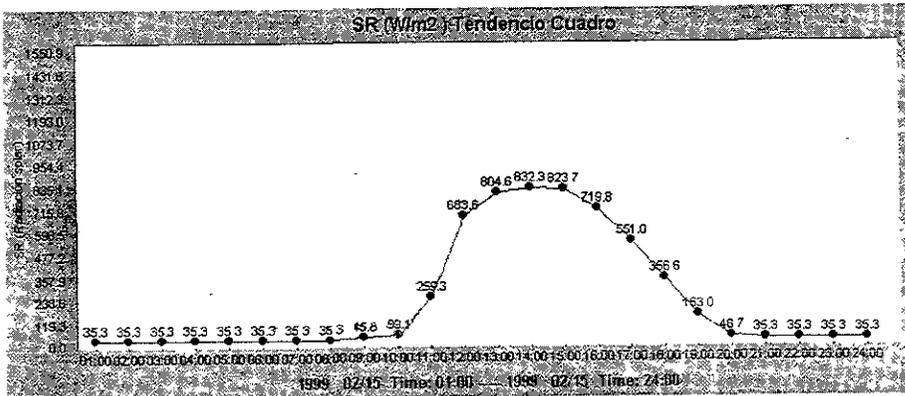
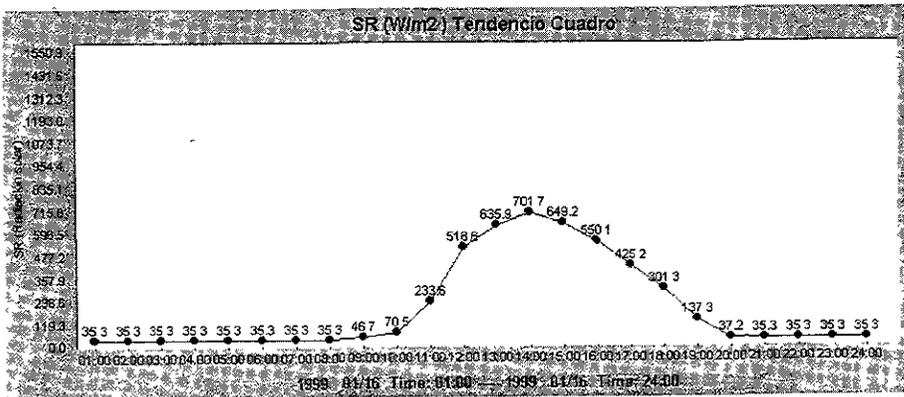
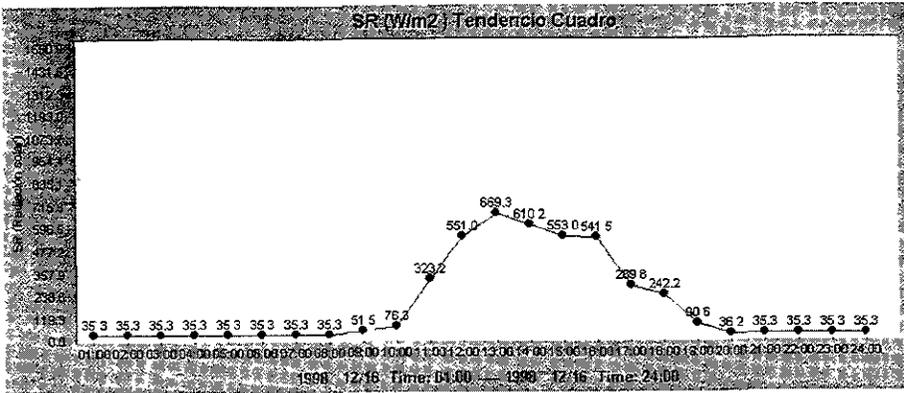


FIGURA I.7 Gráficas de radiación solar de los días : 14 de septiembre, 16 de octubre, 14 de noviembre, 16 de diciembre, 16 de enero y 15 de febrero.

1.2 Utilización de la energía solar

Las principales aplicaciones de la energía solar son de tipo térmico, donde la energía luminosa, mediante diversos mecanismos se aprovecha en forma de calor. Sin embargo, existe una aplicación no fototérmica de mucha importancia que consiste en la producción de electricidad a partir de la radiación solar mediante celdas solares en paneles fotovoltaicos.

La energía eléctrica no está presente en la naturaleza como fuente de energía primaria y, en consecuencia, sólo podemos disponer de ella obteniéndola por transformación de alguna otra forma de energía. Una de las primeras formas como el hombre obtuvo energía eléctrica fue mediante el uso de pilas que generaban electricidad a partir de reacciones químicas.

Posteriormente, la energía mecánica fue la principal fuente de electricidad gracias a la utilización de dinamos y alternadores. En la actualidad, la principal manera de obtener la electricidad es mediante el uso de grandes centrales termoeléctricas, en las que la energía térmica liberada por una fuente de energía primaria (madera, carbón, petróleo, gas, combustible nuclear, etc.) se transforma en electricidad a través de un proceso que exige el uso de turbinas y alternadores, los cuales cubren la etapa final de conversión de energía mecánica en eléctrica. También las centrales hidroeléctricas son de importancia en la actualidad y conceptualmente trabajan bajo el mismo principio al utilizar la energía potencial de una caída de agua para obtener energía mecánica que posteriormente será transformada en eléctrica.

Las tecnologías de energía solar usan la luz del sol para calentar e iluminar casas, calentar agua y generar electricidad. Esto incluye celdas solares (fotovoltaicas), plantas solares termo eléctricas de potencia, procesos de foto conversión, edificios solares pasivos, y sistemas solares calentadores de espacio y agua.

Recientemente, el hombre ha aprendido a obtener electricidad a partir de la energía solar mediante procesos fototérmicos y fotovoltaicos. Los primeros operan bajo principios semejantes a los de las centrales térmicas convencionales. Los denominados fotovoltaicos, presentan una importante simplificación respecto a los procesos energéticos convencionales, debido a que transforman una energía primaria, la solar, en electricidad de un modo directo, es decir, sin transformaciones intermedias en otras formas de energía. De lo anterior, podemos entonces decir que las celdas solares o celdas fotovoltaicas son dispositivos capaces de transformar la radiación solar en electricidad, de un modo directo. Estos dispositivos son estáticos y en absoluto semejantes a las generadores convencionales.

Los sistemas fotovoltaicos (o PV en inglés de Photovoltaic) convierten la energía de la luz en electricidad. El termino "foto" se deriva del griego fos que significa "luz". Volt es nombrado por Alejandro Volta (1745-1827), pionero en el estudio de la electricidad. "Fotovoltaico", entonces significaría literalmente "luz-electricidad". Más comúnmente conocidos como "celdas fotovoltaicas", los sistemas fotovoltaicos son ya parte importante de nuestra vida diaria.

Aquí se describen el efecto de las fotoceldas que les permite a varios materiales producir electricidad de la luz del sol; se muestra como se hacen las celdas, los módulos y los arreglos; explicaremos porque son en muchos casos las fotoceldas la elección más lógica.

El proceso de producir corriente eléctrica en un material sólido con la ayuda de luz solar fue descubierto en 1839 obteniendo la primera celda (figura I.8), desde entonces la ciencia ha ido refinando este proceso con los avances de la tecnología aumentando su eficiencia

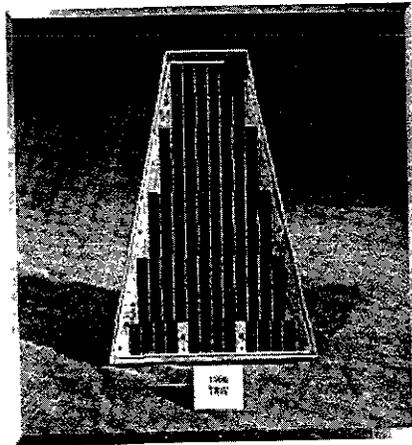


FIGURA I.8 La primer celda fotovoltaica

1.2.1 Historia del efecto fotovoltaico

Las celdas fotovoltaicas convierten la luz en electricidad en el nivel atómico. El físico francés Edmond Becquerel describió por primera vez el efecto fotovoltaico en 1839, cuatro décadas más tarde, Adams y Day observaron el mismo efecto sobre un sistema constituido exclusivamente por materiales sólidos, concretamente Platino y Selenio. Pero este despertó la curiosidad de la ciencia hasta los siguientes tres cuartos de siglo. A tan solo 19 años, Becquerel encontró que ciertos materiales podían inducir una tensión eléctrica y producir pequeñas cantidades de corriente eléctrica utilizando un electrodo inmerso en una solución electrolítica débilmente conductora cuando eran expuestos a la luz. El efecto fue estudiado primeramente en sólidos como el selenio, estudiado por Heinrich Hertz en los años de 1870. Pronto después, celdas fotovoltaicas de selenio convertían luz a electricidad con eficiencias del 1 y 2 %. Como resultado de ello, el selenio fue adoptado en el emergente campo de la fotografía utilizado en dispositivos de medición de luz.

Pasos mas grandes hacia la comercialización de las celdas fotovoltaicas se tomaron en los años de 1940 y en los primeros de 1950, cuando el proceso de Czochralski se desarrollo para producir silicio cristalino altamente puro. En 1954 en los Estados Unidos Pearson, Charpir y Fuller Bell de los laboratorios Bell Telephone Co. , siguiendo el proceso de Czochralski desarrollaron la primer celda fotovoltaica de silicio cristalino, que tenia una eficiencia de 4%.

Sin embargo, donde el aspecto económico no adquiría tanta relevancia era en el programa espacial de Estados Unidos, en pleno auge por aquella época. Así, el satélite Vanguard I, lanzado en 1958. Fue el primero en incorporar un sistema fotovoltaico. Su transmisor de radio estuvo operando durante ocho años, alimentado por celdas de silicio cuyo rendimiento en el espacio – fuera del filtro atmosférico ascendía al catorce por ciento. El precio por metro cuadrado de panel rondaba por entonces los 12,000 dólares.

Como se mencionó fue Becquerel quién descubrió este fenómeno con un dispositivo de selenio obteniendo un rendimiento aproximado al 1 %. Debido al bajo rendimiento, solo fue resaltado el aspecto físico.

Después comienza la proliferación de estudios encaminados a la optimización del dispositivo fotovoltaico.

La industria de la computación, especialmente la tecnología del transistor semiconductor, también contribuyo en el desarrollo de las celdas fotovoltaicas. Los transistores y las celdas fotovoltaicas están hechas de materiales similares y operan en la base de similares mecanismos físicos. Como resultado, los avances en los transistores trajeron bases de nueva información acerca de las celdas fotovoltaicas. (Hoy, incluso en ocasiones es al revés.)

Debido a estos avances, los dispositivos fotovoltaicos en 1970 eran aún demasiado caros para la mayoría de los usos en la Tierra. Pero, a mediados de los 70s el aumento de los costos de la energía, provocado por la crisis mundial del Petróleo, renovó el interés en hacer tecnología mejorada para las celdas.

Los paneles fotovoltaicos cubren el 0.3% de la tierra en los Estados Unidos, un cuarto de la tierra ocupada por las carreteras, podría abastecer toda la electricidad de consumo en ese lugar.

En 1995, los sistemas de paneles fotovoltaicos generaron más de 800 millones de kilovatio - hora de electricidad.

Los sistemas de paneles fotovoltaicos instalados desde 1988 proveen electricidad suficiente para energizar 150,000 hogares en los Estados Unidos o 8 millones de hogares en el mundo en desarrollo.

Los generadores de potencia fotovoltaicos correlacionan bien con los patrones de carga diaria de las compañías de luz, porque el poder es disponible cuando se necesita que es mayormente horas de luz del día

Los esfuerzos de la industria han reducido el costo de sistemas fotovoltaicos por más de 300% desde 1982. el mercado de los paneles fotovoltaicos se estima crecen 20% al año en estos días.

El número de las compañías DE EE.UU. que producen paneles fotovoltaicos ha aumentado 2000 % desde finales de la década de 1970 hasta hoy.

La aplicación más común de los paneles fotovoltaicos está en el consumo de productos portátiles que usan cantidades minúsculas de corriente directa menos de 1 vatio (W) (cd). Más de 1 billón de calculadoras de mano, los varios millones de watchman, y un par de millones de lamparas portátiles y los cargadores de pila son todos energizados por módulos de celdas fotovoltaicas.

Los paneles fotovoltaicos rápidamente se convierten en la fuente de alimentación de elección para lugares remotos y pequeñas aplicaciones de cd de 100 W o menos.

Más de 200,000 hogares a través del mundo dependen de los paneles fotovoltaicos para abastecer toda su electricidad. La mayoría de estos sistemas se normalizan a 1 kW y frecuentemente se abastecen con corriente alterna (ac).

La producción de los paneles fotovoltaicos para el uso terrestre ha aumentado 500 veces en los pasados 20 años. La producción a través del mundo de los paneles fotovoltaicos incluye 48% de silicio mono cristalino, 30% silicio policristalino, y 20% silicio amorfo, su uso es principalmente en productos de consumo. Los módulos con base en cadmio telurio están por esperar para entrar en el mercado de consumidor a finales de 1996.

Los módulos fotovoltaicos son eficientes y de costo mínimo para los clientes residenciales ubicados más allá de los cuatrocientos metros de la red más cercana. La confiabilidad y la duración constantemente mejoran; los fabricantes de paneles fotovoltaicos garantizan sus productos por hasta 20 años

El mundo industrial de los paneles fotovoltaicos ha crecido en ventas desde menos de \$2 los millones en 1975 a más de \$750 millones en 1993. Las compañías con el aumento más grande en ventas en el decenio de 1990 han sido las compañías de EE.UU. , sobre el Japón en ventas anuales brutas

1.2.2 El funcionamiento del efecto fotovoltaico.

El “efecto fotovoltaico” es el proceso físico base por el que una celda fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Cada celda solar es una plaquita muy delgada de silicio (de 0.4 a 0.5 mm de espesor máximo) y de 80 a 120 mm de diámetro y puede ser de forma redonda o cuadrada.

La luz solar esta compuesta de fotones o partículas de energía solar. Estos fotones contienen cierta cantidad de energía correspondiente a las diferentes longitudes de onda del espectro solar como ya se menciono en “la luz y el sol” del capítulo I.1. Cuando los fotones llegan a una celda solar, ellos pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden atravesar. Solo los fotones absorbidos pueden generar electricidad. Cuando esto sucede, la energía del fotón es transferida a un electrón de un átomo de la celda (que es de hecho un semiconductor). Con esta energía recién adquirida, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con el átomo para formar parte de la corriente eléctrica de un circuito tal como aparece en la figura I.9. Al dejar su posición, el electrón forma un “hueco”. Las propiedades eléctricas especiales de las celdas fotovoltaicas - de un campo eléctrico construido- proveen el voltaje requerido para conducir a la corriente hasta una carga externa (tal como un foco).

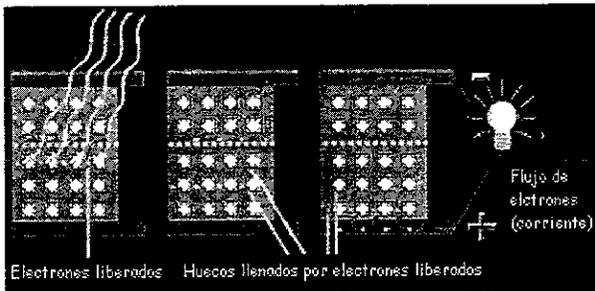


FIGURA I.9 Transferencia de electrones de los átomos de la celda para formar parte de una corriente eléctrica.

Cuando la luz solar llega a una celda solar, solo ciertas bandás (o longitudes de onda) de luz causaran que los electrones se muevan dentro del semiconductor, produciendo así corriente eléctrica. La banda de energía “gap” (anchura de la banda prohibida) del semiconductor determina la porción ideal del espectro que creara este efecto: Para permitir que todo esto suceda, las capas del semiconductor deben ser construidas para poder producir un campo eléctrico mostrado abajo en la figura I.10a como la capa +/-.

Por otro lado, la energía necesaria para crear un par electrón-hueco en el silicio es de 1.12 eV aproximadamente, que corresponde a una $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$. La energía de los fotones es inversamente proporcional a la longitud de onda, esta energía se puede obtener con radiación de longitud de onda, igual o menores que $1.1 \mu\text{m}$ y al valor máximo se le conoce como anchura de la banda prohibida.

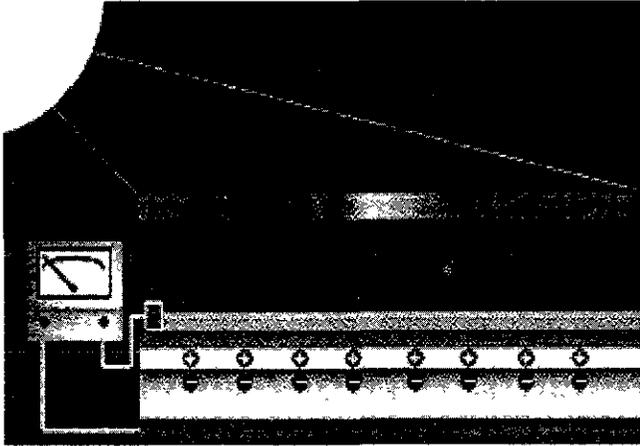


FIGURA I.10a

Mientras que las longitudes de onda de luz superior de la zona gap de la celda portan más energía, cierta porción de esta energía es absorbida por los electrones libres en la celda, y algo de esta energía es absorbida como calor como se muestra en a figura I.10b. La energía de la luz por debajo de la zona gap de la celda atraviesa la celda a través del campo sin afectar el movimiento de electrones. Como resumen, solo el 55% de la energía del sol puede ser convertido a electricidad.

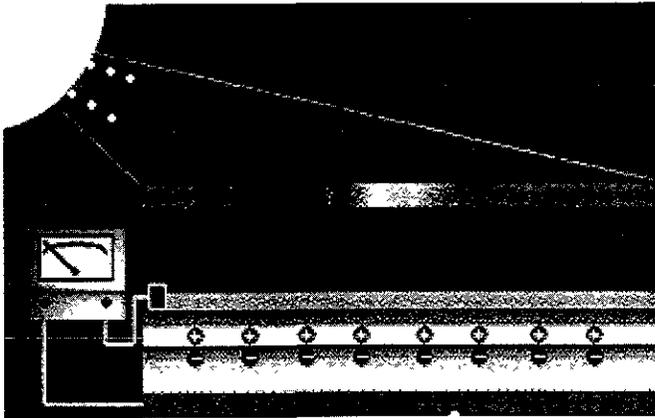


FIGURA I.10b

Así, las celdas solares comunes reciben el espectro solar completo. Pero solo la energía solar arriba de la zona gap de la celda causara un movimiento de electrones en la celda y formar parte del circuito eléctrico como se representa en la figura I.10c.

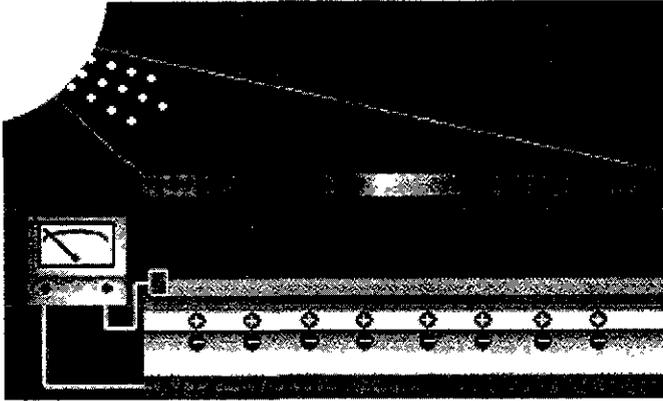


FIGURA I.10c

Entre los materiales que cumplen estos requisitos están los semiconductores. Estos materiales tienen una zona de energía prohibida (gap) que determina el rendimiento teórico máximo del dispositivo, pues fotones de energía menor que la energía del (gap) no pueden crear pares de cargas en el semiconductor. Los materiales más adecuados tendrán un (gap) comprendido entre 0.9 y 1.5 eV.

1.2.3 Absorción y conducción

Existen ciertos materiales que al absorber un determinado tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas. Si la radiación electromagnética es la solar y el material es un semiconductor tal como el silicio, Si, los pares de carga son electrones (e-) y huecos (h+) que una vez producidos se mueven aleatoriamente en el volumen del sólido. Si no hay ningún condicionante externo ni interno, las cargas de signos opuestos se recombinan neutralizándose mutuamente o recombinación como lo vemos en la figura I.11. Por el contrario, si mediante algún procedimiento se crea en el interior del material un campo eléctrico permanente, las cargas positivas y negativas serán separadas por él. Esta separación conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material que, si son conectadas entre sí mediante un circuito externo al mismo tiempo que la radiación electromagnética incide sobre el material, darán origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo apoyado por la conducción

y que observamos en la figura I.11. Este fenómeno se conoce como efecto fotovoltaico y es el fundamento en el que se basan las celdas fotovoltaicas.

El material deberá cumplir con las siguientes condiciones: Que se absorba la energía solar en pequeños espesores de material, que la luz interactúe con el material produciendo cargas positivas y negativas, y que dichas cargas tengan una duración tal que puedan llegar a la zonas del campo eléctrico separador.

En una celda fotovoltaica, los fotones son absorbidos en la capa p. Es muy importante "sintonizar" esta capa a las propiedades de los fotones de entrada para absorber tantos como sea posible como podemos observar en la primera celda de la figura I.11 y no reflejarlos como en la segunda celda de la misma figura, y de este modo liberar tantos como sea posible.

Otro reto es alejar los electrones de encontrarse con los huecos y recombinarse con ellos antes de salir de la celda. Para hacer esto se diseña el material de tal modo que los electrones sean liberados lo más cercano a la juntura como sea posible, para que el campo eléctrico sea capaz de ayudar a mandarlos a la capa de "conducción" (la capa n) y salgan hacia el circuito eléctrico. Maximizando estas características, aumentamos la eficiencia de la celda.

Por tanto para hacer una celda fotovoltaica eficiente, siempre se trata de maximizar la absorción, minimizar la reflexión y recombinación, y además maximizar la conducción.

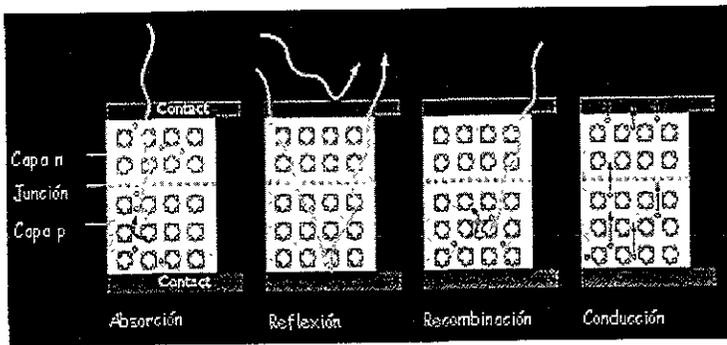


FIGURA I.11 Los fenómenos de absorción, reflexión, recombinación y conducción en una celda.

Para ello deberán tenerse en cuenta una serie de factores como son:

- a) Material.
- b) Campo eléctrico separador.
- c) Contactos eléctricos.
- d) Capa antirreflectiva

Que se estudian en el capítulo tres.

En una celda común los contactos de una rejilla en la superficie superior están diseñados con muchos dedos delgados y conductivos dispersados en cada parte de la superficie de la celda para disminuir la resistencia y maximizar la conducción como en la figura I.12 de abajo.

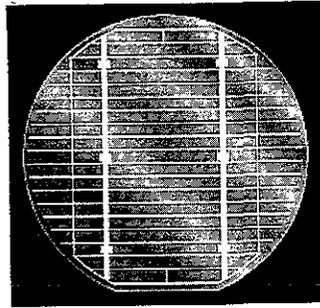


FIGURA I.12 Distribución de los contactos en una rejilla de una celda típica

1.2.4 La eficiencia de conversión de una celda fotovoltaica

La eficiencia de conversión de una celda fotovoltaica es la proporción de la energía de la luz solar que la celda convierte en energía eléctrica. Esto es muy importante cuando se discuten dispositivos fotovoltaicos, porque el aumentar la eficiencia es vital para hacer la energía de los paneles fotovoltaicos competitiva con las tradicionales fuentes de energía (ej. Combustibles fósiles). Naturalmente, si un panel solar eficiente puede ofrecer más energía que dos paneles de menor eficiencia, entonces el costo (sin mencionar el espacio requerido) será reducido. En comparación, los anteriores dispositivos fotovoltaicos convertían cerca de 1% - 2% de energía solar en energía eléctrica. Los dispositivos fotovoltaicos de hoy convierten 7-17% de energía de la luz en energía eléctrica.

Por supuesto que el otro lado de la ecuación es el dinero que cuesta manufacturar los dispositivos fotovoltaicos. Este aspecto ha sido mejorado con los años bien. De hecho, los sistemas fotovoltaicos de hoy producen electricidad en una fracción de costo de los sistemas anteriores.

1.3 Ventajas

Al preguntarse sobre la elección de las celdas fotovoltaicas es necesario tener en cuenta las ventajas de los sistemas generadores de potencia fotovoltaicos sobre los sistemas a diesel, baterías primarias, y aún las compañías de alimentación convencional.

Por otro lado, el sistema de paneles fotovoltaicos posee una vida larga, unos 20 a 25 años. Los beneficios que se obtienen con las celdas hacen de los paneles fotovoltaicos la elección de alimentación más viable por las siguientes las ventajas:

ALTA CONFIABILIDAD
BAJOS COSTOS DE OPERACIÓN
BENEFICIOS AMBIENTALES
MODULARIDAD
BAJOS COSTOS DE CONSTRUCCION

- **Confiabilidad**

Las celdas solares fueron desarrolladas originalmente para que fueran utilizadas en el espacio (En 1958, el satélite espacial Vanguard U.S incorporaba un pequeño arreglo de celdas para alimentar su equipo de radio) , donde el mantenimiento es altamente costoso, si no imposible. Los sistemas fotovoltaicos alimentan a la mayoría de los satélites que circundan la tierra porque operan confiablemente por largos periodos de tiempo virtualmente sin mantenimiento.

En nuestros días también son usados en sistemas de monitoreo, tal es el caso del monitoreo de agua en el Río Larami en Wyoming de la figura I.13, alimentado por paneles fotovoltaicos, que operará confiablemente por varios años con poco o ningún mantenimiento del sistema.

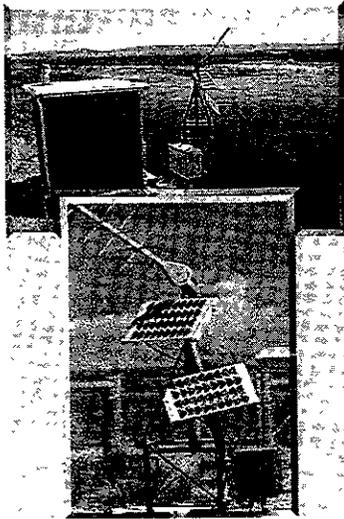


FIGURA I.13 Sistema de monitoreo de aguas alimentado por medio de energía solar.

- **Costos de operación.**

Los paneles fotovoltaicos usan la energía del sol para producir electricidad, por tanto el combustible es gratis, y por no tener partes móviles los módulos fotovoltaicos requieren poco mantenimiento. Este bajo mantenimiento hace efectivos en costo a los sistemas fotovoltaicos para alimentar de potencia a las estaciones de comunicaciones en cumbres de montañas (ver figura I.14), boyas navegables en el mar, o casas lejanas de una línea de alimentación local.

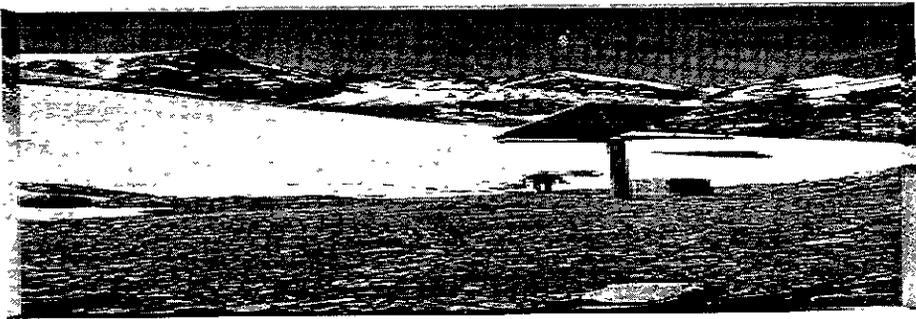


FIGURA I.14 Sistema fotovoltaico en las cumbres de una montaña.

- **Beneficios ambientales**

Como no consumen ningún combustible y no tienen partes móviles, los sistemas fotovoltaicos son limpios y silenciosos. Esto es especialmente importante donde las principales alternativas para obtener potencia y luz son los generadores a diesel y las lámparas de keroseno. Como cada vez se está más prevenido de los “gases de invernadero” y sus efectos nocivos en nuestro planeta, las fuentes de energía limpias como los sistemas fotovoltaicos se vuelven más importantes que nunca.

La Tierra es un sistema en equilibrio térmico (figura I.15) con una “entrada” de energía y una “salida” y el equilibrio entre ellos determina la temperatura. En la actualidad, aparte de la energía recibida del Sol, el sistema Tierra esta recibiendo una energía extra de entrada procedente del fuel, gas natural, carbón, fisión nuclear etc., que repercutirá en un aumento de la temperatura terrestre cuando la energía procedente de dichas fuentes alcance valores comparables a la energía recibida del Sol. Dicho aumento de temperatura tendrá las lógicas repercusiones en cuanto a la climatología, ecología, etc.

El comienzo de todo es darse cuenta de la fragilidad que tiene el ecosistema de nuestro planeta, para que fuentes de energía limpia como los paneles fotovoltaicos lleguen a ser de importancia extrema.



FIGURA I.15 Nuestro planeta es un ecosistema que requiere de fuentes limpias de energía.

- **Modularidad**

Una característica importante de los generadores fotovoltaicos es su carácter modular. Por modularidad se entiende la posibilidad de ampliar la potencia pico instalada por acoplamiento de nuevos paneles. Así, el sistema se adapta a la demanda sin la necesidad de adquirir un nuevo generador.

Un sistema fotovoltaicos esta construido de diferentes tamaños, los cuales dependen de los requerimientos de energía. Además, se puede aumentar el numero de paneles fotovoltaicos para aumentar la capacidad o mover el sistema si sus necesidades cambian. Así los propietarios de una casa pueden añadir paneles según crezca el uso de energía y recursos financieros. Las personas que tienen ganado por ejemplo pueden manejar un sistema de bombeo como el de la figura I.16 alimentado por módulos fotovoltaicos montado en un trailer y podrán llevar el ganado por diferentes partes.

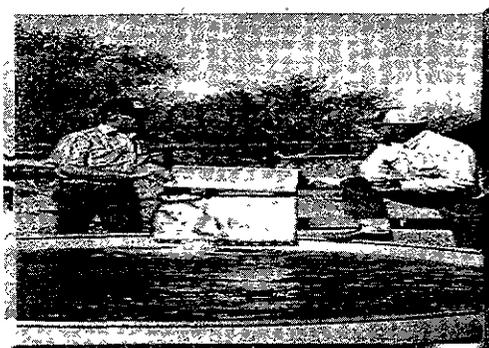


FIGURA I.16 Sistema de bombeo alimentado por paneles fotovoltaicos.

- **Costos de construcción**

Los sistemas fotovoltaicos son generalmente colocados cerca de a donde se va a ocupar la electricidad, requiriendo líneas de potencia más cortas que si la potencia se obtuviera de una red eléctrica. Además, usando paneles fotovoltaicos se elimina la necesidad de un transformador de distribución de las líneas de la red. Un menor cableado se traduce en menores costos, menor tiempo de construcción, y menores trámites, particularmente en áreas urbanas.

En la figura I.17 se muestra un ejemplo del uso de estos sistemas en la villa de Cacimbos en el estado de Ceará, Brasil, donde la gente esta a varias millas de una red eléctrica. Por esta razón cada una de estas casas tiene un sistema de 50 watts para proveer suficiente potencia para dos lamparas fluorescentes.



FIGURA I.17 La comunidad de Villa de Cacimbos en Brasil.

1.4 Aplicaciones

La competitividad de la energía solar fotovoltaica en zonas alejadas de las redes de distribución eléctrica esta fuera de toda duda, y ya hasta puede resultar rentable frente a los motores diesel de menos de 20 KW. A modo de ejemplo en la Agricultura y Ganadería solo en la India funcionan entre cuatro y cinco millones de bombas de agua a gasóleo de 3.5 KW, los sistemas autónomos para alumbrado son ya una realidad en diversas comunidades rurales así como en transporte terrestre la iluminación de cruces de carretera peligrosos y túneles largos o alimentación de radioteléfonos de emergencia o puestos de socorro lejos de líneas eléctricas, y embarcaciones señalizaciones de pasos a desnivel o cambio de vías en los ferrocarriles, ayudas a la navegación en sus señalizaciones, como alimentar eléctricamente faros, boyas, balizas, y plataformas. Las aplicaciones en la industria son para la obtención de metales como cobre, aluminio y plata, por electrólisis y la fabricación de acumuladores electroquímicos, también representan excelente solución cuando hay necesidad de transmitir cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado, por ejemplo, emisores de señales de TV, plataformas de telemetría, y radioenlaces.

En telecomunicaciones (estaciones terrenas, celulares, repetidoras microondas, UHF/VHF, fibra óptica) desde las alturas de la cordillera de los Andes hasta las aisladas áreas del interior de Australia, los sistemas de energía independiente proveen soluciones económicas y confiables que amplían las redes de comunicaciones a más lugares y más personas.

En salud en áreas remotas alrededor del mundo se tienen herramientas adicionales de iluminación, esterilización y refrigeración de vacunas para el tratamiento efectivo de las enfermedades y salvar vidas.

Cabe mencionar que en la actualidad también se está trabajando con generadores mixtos o híbridos, esto es, adaptar el generador fotovoltaico con otros generadores ya existentes como los eólicos o los generadores diesel. También podemos mencionar que actualmente se han construido algunas centrales fotovoltaicas que proporcionan una potencia considerable y que en un momento dado pueden llegar a ser rentables en ciertos casos, comparadas con las centrales tradicionales como las termoelectricas o hidráulicas.

Debido a que una celda solar genera corrientes y tensiones pequeños, éstas no son los elementos que se utilizan en las aplicaciones prácticas, sino que, con objeto de lograr potencias mayores, se acoplan en serie o en paralelo para obtener mayores tensiones y corrientes formando lo que se denomina panel fotovoltaico, que es el elemento que se comercializa. A la vez, estos paneles se conectan en serie o en paralelo para obtener las tensiones y corrientes que nos den la potencia deseada. Los paneles en serie aumentan el voltaje y conservan la misma corriente, mientras que los paneles en paralelo aumentan la corriente, conservando el mismo voltaje. Los paneles generalmente se fabrican para tener una salida de 12 VCD.

El más sencillo sistema de alimentación de las pequeñas calculadoras y relojes de pulso que usamos cada día. Sistemas más complicados proveen electricidad para bombeo de agua, alimentan equipos de comunicaciones, y hasta iluminan nuestras casas u otras aplicaciones. En un sorprendente número de casos, la energía de los módulos fotovoltaicos es la forma más barata de electricidad para desarrollar estas tareas; a continuación mostraremos ejemplos reales de cómo esta ciencia esta incursionando en la vida de la gente de todo el mundo.

Un ejemplo de electricidad por medio de energía solar lo tenemos en una casa de Peace River de la figura I.18 en el sudoeste de Florida con un sistema fotovoltaico alimentando una casa moderna capaz de soportar todas sus aplicaciones eléctricas.

Se integraron paneles fotovoltaicos en la casa sin mucha complicación, fue un proyecto parcialmente fundado por DOE y dirigido por FIRST Inc. (Fully Independent Residential Solar Technology), que se encarga de incorporar productos fotovoltaicos dentro de las crecientes casas manufacturadas. El costo de instalar una línea de CA hasta la casa era de \$15,000 US dls, se prefirió usar un sistema fotovoltaico autónomo para las luces y aplicaciones. Sin conexión a ninguna red eléctrica de alguna compañía, cuenta con contactos y aplicaciones estándar Aunque muchos elementos operan con CD, un inversor convierte cierta parte de la potencia almacenada en CD por las baterías en CA para los elementos que operan con CA. Se colocaron las baterías y controladores de carga cercanamente para recortar la longitud del cable empleado, para bajar los costos y aumentar la eficiencia. En esta casa se tiene todas las ventajas de una ciudad, desde una secadora y microondas, hasta una lavadora, TV o aire acondicionado.



Figura I.18 Una moderna casa en Peace River alimentada con paneles fotovoltaicos capaces de soportar todas sus aplicaciones eléctricas.

Otro ejemplo de estos sistemas se encuentra en la figura I.19 donde una estación telefónica remota captadora de señal con paneles PV de 60 w cada uno y un gran banco de baterías reduce el tiempo de encendido de generadores eléctricos de propano en las montañas del norte de Nevada.



FIGURA I.19 Estación telefónica remota del Estado de Nevada

Mas aún, hoy, los módulos fotovoltaicos juegan un papel importante en el espacio, alimentando casi todos los satélites (figura I.20).

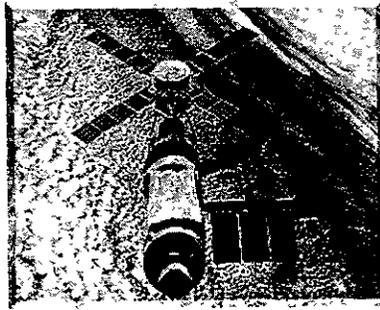


FIGURA I.20 Satélite alimentado por paneles fotovoltaicos

CAPITULO II Módulo de monitoreo ambiental

En el diseño de una fuente de energía eléctrica por medio de energía solar, la carga eléctrica que manejamos es un instrumento analizador de aire (analizador de SO_2) por pulsos fluorescentes marca Thermo Electron Modelo 43 como el de la figura II.1, que es un instrumento capaz de medir el dióxido de azufre ambiental en una base de tiempo real, continua, gracias a la excitación fluorescente del SO_2 por radiación ultravioleta, este instrumento posee una sensibilidad lineal inherente de dos partes por billón a cinco partes por millón (2ppb a 5 ppm).

Analizador de SO_2

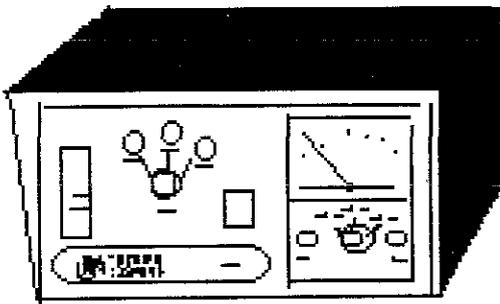


FIGURA II.1 El analizador de aire SO_2 o módulo de monitoreo ambiental.

2.1 Funcionamiento

La figura II.2 ilustra un diagrama a bloques del principio general de funcionamiento para un instrumento analógico de pulsos fluorescentes de monitoreo de SO_2 . Una luz pulsante ultravioleta se enfoca a través de un filtro estrecho de pasabanda dentro de una cámara fluorescente. En esta cámara se excita a las moléculas de SO_2 que tienen la característica de atenuar la radiación. Un segundo filtro permite que solo esta radiación caiga en un tubo fotomultiplicador. Un proceso electrónico de la señal transfiere la energía de la luz que ingresa en el fotomultiplicador a un voltaje que es en relación directa de la concentración de SO_2 en la muestra de gas que es analizada.

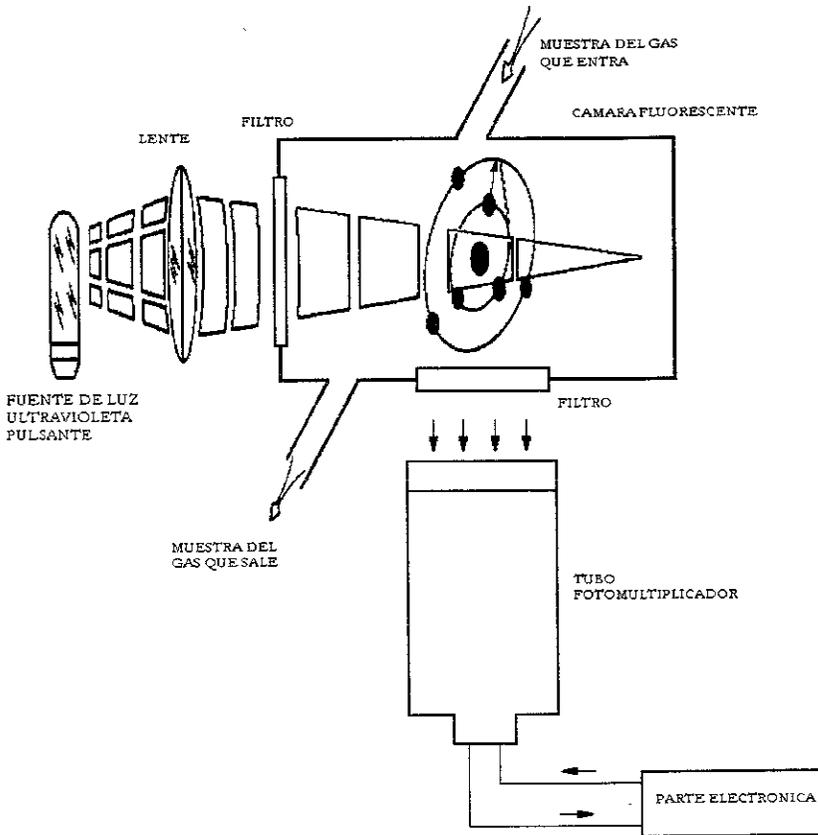


Figura II.2 Diagrama de funcionamiento

Una explicación más a fondo la encontramos al estudiar que el dióxido de azufre (SO_2) absorbe luz en tres regiones: La primera región no ha sido caracterizada debido a que hay una débil absorción y una pesada extinción de la radiación fluorescente. Las moléculas excitadas de dióxido de azufre por la radiación en la región 2 están fuertemente extintas por el oxígeno y nitrógeno del aire. La región 3 exhibe mínima extinción por el aire y la mayoría de las otras moléculas que podrían encontrarse en el aire. Por esto la energía de excitación para SO_2 esta localizada en la región 3. La fuente de luz pulsante emite radiación ultravioleta que actúa en el SO_2 en la muestra de gas produciendo SO_2 excitado que puede decaer a nivel de tierra por la fluorescencia o por la extinción, el SO_2 excitado que también puede ser eliminado del sistema debido a la disociación. A final de cuentas la radiación fluorescente que entra hasta el detector es directamente proporcional a la concentración de SO_2 en lo cual se basa la técnica de este instrumento.

Para analizar el instrumento es conveniente dividirlo en dos: el analizador y la parte electrónica.

- **El analizador** esta relacionado con el flujo del gas dentro del instrumento. La figura II.3 muestra un diagrama esquemático del flujo del aire que se muestrea dentro del analizador. Este tiene tres puertos de entrada en la parte trasera del instrumento; muestra o sample (por donde entra el aire que deseamos monitorear), muestra conocida o span (que es un gas con cierta cantidad de SO₂ que se utiliza para saber si estamos bien en muestrtras mediciones) y gas cero o zero (que es un gas que no contiene SO₂ y que también nos sirve en las calibraciones del instrumento). El flujo dentro del instrumento esta determinado por un selector en la parte frontal. En el modo de sample, la válvula de sample y la válvula zero son desenergizadas, de este modo se le permite al gas que fluya a través del puerto de sample. Moviendo el selector hacia zero o span causa que el gas se vaya por los puertos zero y span, respectivamente.

El flujo se dirige hacia un dispositivo de secado por permeación, que remueve el vapor de agua del gas al tiempo que deja la concentración de SO₂ intacta. Este dispositivo opera con un principio de permeación, permitiendo solo a las moléculas de agua a través de la membrana de teflón. La fuerza conductora para remover agua es la presión diferencial parcial de agua a través de la membrana. Esta es obtenida dentro del instrumento al tomar aire seco, reduciendo su presión a través de un capilar, y alimentándola en un lado del secador. Como la membrana es solo un medio de transferencia, no necesita ser cambiado por saturación.

Saliendo del tubo secador, la muestra fluye por un reductor de presión capilar que eleva la presión hasta el tubo permeador. La muestra se lleva entonces a un cortador aromático de hidrocarburos, que quita el efecto de éstos en la medición fluorescente y luego va a la cámara donde comienza su análisis. Si el principio fluorescente es insensitivo al flujo, no se registrara lectura del medidor de flujo. Un regulador vacuométrico y una bomba controlan la presión absoluta del sistema.

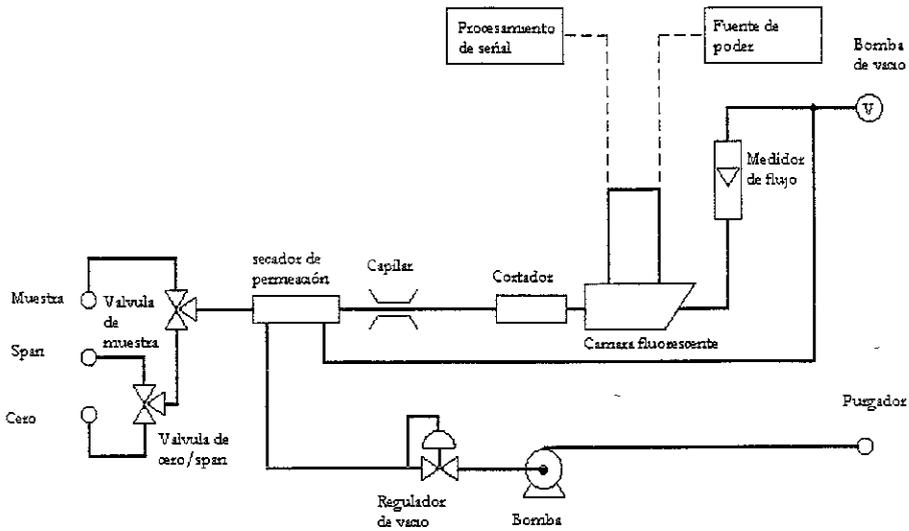


Figura II.3 Diagrama esquemático del flujo del aire

• **La parte electrónica** tiene dos áreas principales de interés: la fuente pulsante de luz ultravioleta y el proceso electrónico de la señal: Son seis las mayores razones para que la lampara UV sea de modo pulsante:

- ◆ Larga vida
- ◆ Una alta intensidad aumenta la razón señal a ruido
- ◆ Menor tamaño
- ◆ Menos demanda de potencia (menos de 1 watt)
- ◆ Estabilidad en largos periodos de operación
- ◆ proceso de la señal sin derivación de la corriente

La figura II.4 muestra el diagrama electrónico a bloques del analizador, los fotones pulsantes de energía del SO₂ fluorescente siguen la misma forma de intensidad general que la energía ultravioleta emitida por de la lampara pulsante. Esta energía es detectada por un tubo fotomultiplicador donde se convierte en un flujo de corriente. Un preamplificador y un amplificador de ganancia variable (que se ajusta con la lectura de un gas cero que pasa al encender el interruptor) integran la corriente a una forma de onda de voltaje. De aquí la señal es conectada a una compuerta electrónica que conmuta sincrónicamente con los pulsos de energía de la lampara pulsante. Entonces la señal es filtrada para desaparecer el ruido de alta frecuencia, usando un filtro ajustable en tiempo de respuesta antes de ir a cada medidor de ppm o al grabador de salida. El nivel del voltaje de salida puede seleccionarse de un divisor de voltaje fijado en una salida impresa de la tarjeta del circuito. Para la

calibración, el alto voltaje del fotomultiplicador o la ganancia en el amplificador final es ajustado hasta que el instrumento cumple con una concentración conocida de SO_2 .

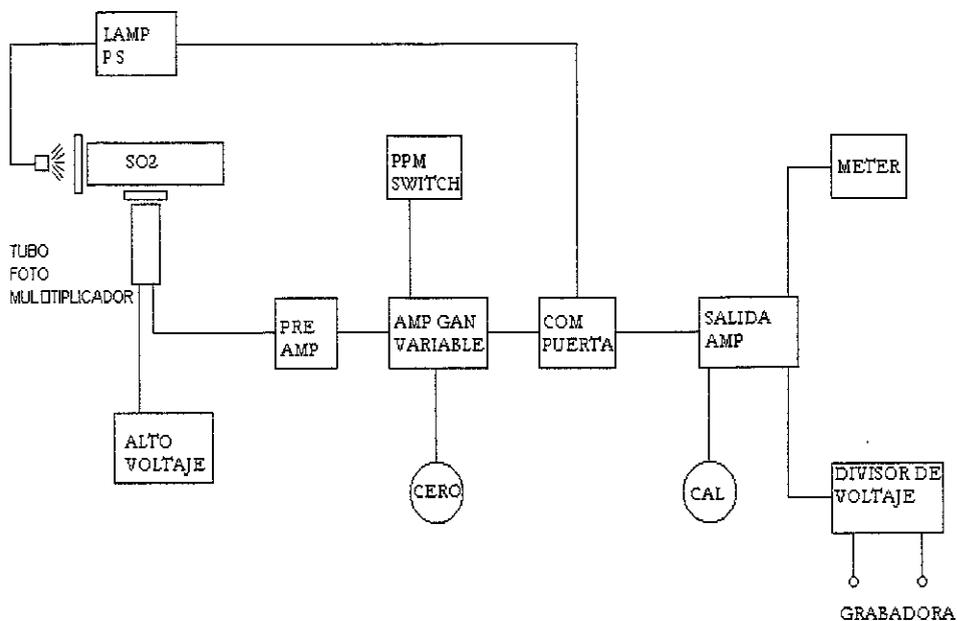


Figura II.4 Diagrama electrónico del analizador

2.2 Especificaciones del Equipo

La tabla II.1 nos muestra las especificaciones del equipo, como son modelo, rangos de medición del gas que muestrea, precisión y ruido entre otros

Especificaciones	
Modelo	Analizador de SO ₂ por pulsos fluorescente marca Thermo Electron Modelo 43
Rangos	0-0.5,0-1,** 0-5 ** ppm
Ruido	0.001 ppm
Límite inferior detectable	0.002 ppm
Equivalencia de interferencias	
Grupo 1 (no intervienen)	O ₃ menos de 0.0005 ppm H ₂ S NO ₂ CO ₂ CO
Grupo 2	Hidrocarburos aromáticos NO 0.003 ppm H ₂ O -0.003 ppm
Zero flotación (12 y 24 horas)	±0.005 ppm
Span flotación 24 horas	±1%
Tiempo de retraso	10 segundos
Tiempo de encendido	4 min. ***
Tiempo de apagado	4 min. ***
Precisión	
20% por encima del límite superior	0.005 ppm
80% por encima del límite superior	0.005 ppm

Tabla II.1 Características del equipo.

2.3 Características de voltaje y corriente del analizador de SO₂ con el inversor.

La Tabla II.2 muestra los valores generales de consumo eléctrico del analizador y las tablas II.3 y II.4 por cada componente, las tres tablas muestran los valores obtenidos con la línea de AC y con el inversor.

CARACTERISTICAS	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	CON EL INVERSOR
Consumo total de equipo	65 VCA	140 VCA	140 VCA
Consumo de corriente total	0.95 AMP.	2.00 AMP.	1.65 AMP
Frecuencia de operación del equipo			
Potencia total del equipo	55.6 WATTS	252 WATTS	207.9AMP
NOTA: La potencia total del equipo se obtuvo considerando un F.P.. = 0.9			

TABLA II.2 Tabla de valores generales del analizador.

Tablas para cada componente

COMPONENTE	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	CON EL INVERSOR
VENTILADOR	45 VCA	140 VCA	138 VCA
	0.04 AMP.	0.21 AMP.	0.17 AMP
	1.62 WATTS	26.5 WATTS	21.1 WATTS
Frecuencia de operación = 60 HZ			

TABLA II.3: Tabla con las características eléctricas del ventilador alimentado con una línea de AC y con el inversor.

COMPONENTE	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	CON EL INVERSOR	TOTAL
BOMBA NEUMATICA	65 VCA	140 VCA	138.3 VCA	140 VCA
	0.75 AMP.	2.05 AMP.	1.44 AMP	2.05 AMP.
	44 WATTS	259 WATTS	178.5 WATTS	259 WATTS
Frecuencia de operación = 60 HZ.				
Corriente de arranque = 1.05 AMP		YCON EL INVERSOR 1.48		

TABLA II.4: Tabla con las características eléctricas de la bomba neumática alimentado con una línea de AC y con el inversor.

NOTA: Se obtuvo también que para la operación del equipo con VCD se requieren 4 fuentes de poder y estas son las siguientes.

- 1.- fuente de 50 VCD
- 2.- fuente de 40 VCD
3. - fuente de + 15 VCD
4. - fuente de - 15 VCD

y que la temperatura a la que se tiene que adecuar el equipo para tener un buen funcionamiento del mismo es el siguiente:

RANGO 20 C. a 30 C.

CAPITULO III DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION.

3.1 INTRODUCCION

Dos son los métodos de calculo que más nos interesan en este capitulo, el método de calculo del capítulo III.3 y el del capitulo III.4, ambos se han seguido en este trabajo y tienen en cuenta los principales factores para que una aplicación fotovoltaica opere correctamente.

Los datos que necesitamos para poder trabajar con el primero (capítulo III.3) son: potencia de la carga, horas al día de uso, días a la semana de uso, el voltaje de operación del sistema, de la batería, la capacidad de la batería a régimen de descarga de 24 horas, el voltaje nominal de la batería, la descarga profunda temporal, las horas sol pico, los días consecutivos de peor temporada, la eficiencia del módulo, la corriente típica del módulo y el voltaje nominal del módulo.

A su vez el método nos entrega el resultado de los amp-hora de carga, los amp-hora corregidos, y la capacidad requerida en la batería, además del resultado de los amp-hora de carga, los amp-hora corregidos, la capacidad requerida en la batería, la corriente de diseño, la corriente de diseño corregida, la demanda de corriente del diseño, el número de módulos en serie y paralelo que debemos conectar y el total de módulos requeridos para la necesidad específica que se pretende cubrir.

Es necesario tener presente la peculiar naturaleza de un sistema con baterías: en tanto que la vida de los paneles es independiente de que la potencia instalada en el arreglo solar sea adecuada o no a la aplicación, lo contrario sucede con el subsistema de acumulación, cuya duración depende seriamente de las condiciones de trabajo y, en especial de los tres parámetros siguientes:

- Profundidad de ciclado diario
- Tiempo de permanencia en estado de carga parcial
- Profundidad límite de la descarga en el ciclo anual.

Definidos en el capítulo 4.3

Por lo tanto aplicamos un segundo método de calculo (capitulo III.4) de la instalación fotovoltaica parte de los datos de insolación del lugar correspondiente y de los datos de consumo que se debe garantizar. Este diseño consiste en establecer el balance entre la energía disponible y la energía de consumo, teniendo en cuenta los rendimientos de los diferentes pasos de transformación y aplicando los coeficientes de seguridad que se estimen pertinentes, para optimizar las contribuciones del subsistema de generación formado por los módulos fotovoltaicos y del subsistema de acumulación formado con baterías en nuestra aplicación.

Mediante el uso de formulas se establece el balance entre la energía disponible y la energía de consumo, teniendo en cuenta los rendimientos de los diferentes pasos de transformación y aplicando los coeficientes de seguridad que se estiman pertinentes.

Existen otros procedimientos para dimensionar y costear un sistema fotovoltaico a baterías de manera simplificada (capítulo III.2) con los cuales comenzaremos este capítulo. Estos procedimientos no son precisos (+ / - 15 %) pero permiten una estimación preliminar. Para un cálculo más preciso acudiremos a los capítulos III.3 y III.4 que son los que se describieron brevemente al comienzo de este capítulo.

Como ya se menciona en el capítulo I de este trabajo, el espectro de la radiación solar queda modificado por la presencia de la atmósfera, en ella se producen absorciones significativas en el extremo UV del espectro y en las zonas del IR cercano y medio, como consecuencia de la presencia de determinadas moléculas.

Hay que hacer constar la relevancia de la “radiación difusa” a nivel de la superficie del globo. La contribución relativa de las componentes directa y difusa es una función de diferentes variables, pero especialmente del estado atmosférico.

Como ya se indico en el capítulo I la radiación total (suma de la directa y la difusa) que incide sobre una superficie inclinada, esta en función del lugar (latitud), inclinación y orientación, desde el punto de vista práctico y en lo que se refiere al cálculo y diseño de una instalación, como es el caso que nos compete en este capítulo la información que se utiliza promedia siempre las variaciones anteriormente citadas. La situación geográfica y el estado meteorológico quedan englobados en los datos medios (obtenidos durante varios años) de insolación en el lugar escogido para una superficie horizontal. En este trabajo se obtiene esta información de “la radiación solar en la República Mexicana”

3.2 ALGUNOS MÉTODOS DE CALCULO PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

3.2.1 Calculo simplificado de CEAC

Para este cálculo comenzamos ubicando primeramente el lugar donde estará situada nuestra instalación para obtener las Horas pico solar basándonos en un mapa como el de la figura I.5, además en consumo de la carga que queremos alimentar.

Si la instalación se encuentra en el DF tenemos 450 ly (ver en glosario langley)de radiación solar promedio anual.

$$450 * 1 = 450 \text{ cal/cm}^2$$

$$450 * 4.18 / 1000 = 1.881 \text{ KJ/cm}^2$$

$$1.881 * 2.77 = 5.21 \text{ Hps}$$

La radiación solar durante los meses de mas bajo soleamiento es en invierno (noviembre, diciembre y enero) donde tenemos 400 ly. El cálculo se hace en función de estos meses para asegurar una constante de funcionamiento, así para los nueve meses restantes dispondremos de un excedente de producción

$$400 * 1 = 400 \text{ cal/cm}^2$$

$$400 * 4.18 / 1000 = 1.672 \text{ KJ/cm}^2$$

$$1.672 * 2.77 = 4.631 \text{ Hps}$$

Nuestra carga es un analizador que registró una corriente de 2 AMP con CA, por lo tanto:

Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia(W)
2	127	254

Al alimentarlo por medio de un arreglo fotovoltaico calculamos la corriente que debe obtener de este arreglo a 12 V de CD.

Potencia(W)	Voltaje (V)	Corriente (A)
254	12	20.8

Carga	Potencia (W)	Corriente (A)	horas de uso	A-hr/día
1 analizador	250	20	24	480

El consumo semanal es:

$$480 \text{ Ah/día} \times 7 \text{ días} = 3360 \text{ Ah/semana}$$

Suponemos pérdidas en la instalación del 12 %; por lo tanto, el previsto consumo semanal quedará establecido en:

$$\underline{3763.2 \text{ Ah/semana}}$$

La producción de un módulo MSX-64 es de 3.66 Ah (ver tabla IV.2) en una posición fija, encarado al sur e inclinado 35° con respecto a la superficie horizontal siguiendo la tabla IV.3 y IV.4. Además de acuerdo con los primeros datos que reproduce con relación a la radiación solar:

$$3.66 \times 4.631 \text{ Hps} = 16.95 \text{ Ah/día}$$

La producción semanal total de dicho módulo será por lo tanto:

$$16.95 \times 7 \text{ días} = 118.657 \text{ Ah/semana}$$

El número de módulos necesarios para este caso será el resultado de dividir el consumo semanal por la producción total semanal.

$$3763.2 / 118.657 = \underline{31.71 \text{ módulos}}$$

Con este cálculo queda pendiente el equiparar durante todo el año, el consumo + pérdidas y la producción diaria, para no descargar con el tiempo las baterías.

Cálculo de la Batería.

Para disponer de cuatro días de autonomía (en función de días nublados y riesgos de días sin sol, que pueden aumentar según la zona climatológica), y con una descarga máxima del 50 % de su capacidad, se calcula el valor de la capacidad requerida bajo la siguiente forma:

$$\text{Capacidad C100} = (\text{consumo diario} \times 4 \text{ días} / 50) \times 100 = \text{Ah}$$

Suponemos como en el cálculo anterior, unas pérdidas de instalación del 12%, por lo que el consumo diario será entonces de 537.6Ah/día.

$$(537.6 \times 4 / 50) \times 100 = \underline{4\,300.8 \text{ Ah}}$$

La capacidad de una batería FP 31-19 es de 110 Ah (ver tabla III.6).

El número de baterías necesarias para este caso será el resultado de dividir capacidad requerida por la capacidad de la batería utilizada.

$$4\,300.8 \text{ Ah} / 110 \text{ Ah} = \underline{39.09 \text{ baterías}}$$

Hay que advertir que la descarga máxima del 50% de la capacidad de la batería, sólo se producirá en el supuesto de consumir durante cuatro días sin disponer de sol. Por lo tanto, en ciclos diarios normales de trabajo, solo llegaremos a descargar el 13% de su capacidad, con lo que se asegura una larga vida de la misma.

3.2.2 Dimensionamiento preliminar de sistemas fotovoltaicos de CONDUMEX.

1.-Datos De Entrada

Se requieren dos datos únicamente: la localización de la instalación y el consumo diario de energía (E_C).

$$E_C = P \times t \text{ (watts-hora)}$$

P : Potencia consumida en los equipos por alimentar (watts)

t : Tiempo diario (horas) que se operan los equipos.

2 -Cálculo del sistema solar.

◆ Arreglo Solar

Se determinará el número de módulos fotovoltaicos de 64 watts-pico (datos de la tabla III.2) nominales que se requieren para suministrar el balance de energía del equipo :

$$M = \frac{E_C \times F_s}{I_m \times V_m \times H_{ps} \times \eta_{inv} \times \eta_{coul}}$$

Donde:

M = No. de módulos solares de 64 watts que se requieren

F_s = Factor de sobredimensionamiento del sistema. Típicamente se sobredimensiona 10% a 20 % (e.d. $F_s = 1.1$ a 1.2).

I_m = Corriente pico del modulo fotovoltaico. $I_m=3.66$ amp para el módulo MSX-64(tabla II.2).

V_m = Voltaje promedio de operación del módulo fotovoltaico una vez conectado al banco de baterías. Típicamente $V_m= 12.5$ volts

H_{ps} = Insolación de la localidad en el mes de menor insolación, expresada como el equivalente de horas diarias de máxima insolación (horas-pico). (Ver mapa de la figura I.5 para determinar este valor en la localidad considerada) que para este caso es en el D.F. de 400 ly. Considerando la inclinación del arreglo solar respecto a la horizontal (ver tablas IV.4 y IV.5).

η_{inv} = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en CA. Valores típicos: 0.8 y 0.9.

Si el equipo opera en CD el valor es 1

η_{cout} = Eficiencia de carga (coulombica) de la batería. Típicamente 0.9 a 0.95.

◆ Banco De Baterías

El banco de baterías se determina indicando el número de días que operara la batería a cero insolación, e.d. directamente del banco. Este valor se conoce como autonomía (Z).

$$C_B = \frac{Z \times E_C}{V_B \times f_U \times F_1 \times \eta_{inv}}$$

Donde :

C_B = Capacidad del banco de baterías (amper-horas).

E_C = Energía consumida por los equipos alimentados (wats-hora).

Z = Autonomía deseada en el banco de baterías (días). Varía entre cuatro días para lugares con buena insolación hasta 6 días para lugares con nublados prolongados.

V_B = Voltaje al cual trabajará el banco de baterías.

f_U = Factor de uso (fracción) de la capacidad total de la batería cuando se ha tomado la autonomía del sistema. Este factor toma también en cuenta la capacidad útil del banco utilizado al finalizar su vida útil.

$f_U = 0.5$ para baterías de placa delgada.

$f_U = 0.8$ para baterías de placa gruesa.

F_1 = Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga más lento que el especificado comercialmente.

Este valor varía desde 1.05 en baterías de placa delgada hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tabular.

η_{inv} = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en CA. Valores típicos: 0.8 y 0.9.

◆ Inversor

Se determina simplemente por la potencia de los equipos a alimentar, considerando la carga máxima constante.

3.- Costeo Preliminar

Se puede estimar el costo preliminar del sistema basado en la potencia del arreglo solar:

$$S = 64 \times M \times F_S$$

Donde:

M = No. de módulos fotovoltaicos calculados

F_S = Factor de costo del sistema solar por watt de módulos fotovoltaicos. Este valor depende del tipo de batería instalada:

F_S = \$12.5 Dlls / watt Baterías selladas libres de mantenimiento, placa delgada, 4-6 años de vida estimada.

F_S = \$16.0 Dlls / watt Baterías estacionarias, placa tabular, vaso transparente con una vida estimada de 10 a 12 años.

Si el sistema incluye inversor CD/CA añadir \$1.5 a \$2.0 dólares por cada watt de potencia del inversor.

SOLUCION

Entonces, si se desea dimensionar y costear en forma preliminar un sistema solar autónomo para alimentar un módulo de monitoreo (anализador de SO_2) que opera a 120 volts CA con un consumo de 250 W constantes durante todo el día, instalándolo como se mencionó en el D.F. se realiza el calculo de la manera siguiente:

$$E_C = 250 \times 24 \text{ h} = 6\ 000 \text{ (watts-hora)}$$

Hps = 4.631 Hps . Además la inclinación del arreglo debe ser 25° respecto a la horizontal.

Calculo Del Sistema Solar

◆ Arreglo Solar

$$M = \frac{6\,000 \text{ w-h} \times 1.1}{3.66\text{A} \times 12.5\text{V} \times 4.631\text{Hps} \times 0.87 \times 0.95} = 35.15$$

$M = \underline{35 \text{ módulos de } 64 \text{ watts}}$

◆ Banco De Baterías

$$C_B = \frac{4 \times 6\,000}{12 \times 0.5 \times 1.05 \times 0.87} = 4378.76 \text{ A-h}$$

La capacidad de una batería FP 31-19 es de 110 Ah (ver tabla IV.6).

El número de baterías necesarias para este caso será el resultado de dividir capacidad requerida por la capacidad de la batería utilizada.

$$4378.76 \text{ A-h} / 110 \text{ Ah} = \underline{39.80 \text{ baterías FP 31-19}}$$

◆ Inversor

La potencia del equipo a alimentar es de 250 W, así que un inversor de 400 W es suficiente (es un valor comercial).

Costeo Preliminar

$$\$ = 64 \text{ w/modulo} \times 35 \times 12.5 \text{ dlls/watt} + 1.5 \times 400 = \underline{81\,037.5}$$

3.2.3 Calculo simplificado de CHARNICOFF

Memoria Técnica

I) CARGAS

- Consumo = 250 W-h
- Tiempo de operación = 24 h/día
- Consumo diario = 6 000 W-h-día

II) GENERADOR SOLAR

- Rendimiento del sistema solar = 0.88
- Generación diaria = 6 000 W-h-día/0.88 = 6818.18 = 6.8 KW-h-día
- Producción diaria del módulo fotovoltaico MSX-64 (ver tabla IV.2 y figura I.5) =
 $17.5 \times 3.66/H \times 5 \text{ Hps} = 320.25 \text{ Wh-día.}$
- Número de módulos = $6\ 818 \text{ W-h-día} / 320.25 \text{ Wh-día} = \underline{21.28}$
- Superficie necesaria = $21 \times (110\text{cm} \times 50\text{cm}) = 11.55 \text{ m}^2$
- Peso de los módulos = $20 \times (7.8 \text{ Kg}) = 156 \text{ kg}$

III) ACUMULADORES

- Tipo = FP 31-19 sellado, libre de mantenimiento, 12V, 110 A-h (ver tabla IV.6).
- Dimensiones (c/u) = 32cm x 17cm x 24cm
- Peso = 28 k g
- No de acumuladores = $\frac{6\ 818 \text{ W-h-día} \times 2 \times 2 \text{ días de autonomía}}{12 \text{ V} \times 110 \text{ A-h}} = \underline{20.66}$

El 2 se debe a que un acumulador no debe descargarse más del 50% de su potencia por deteriorar su vida útil, sólo se dispondrá de la mitad de cada acumulador.

- Peso total = $21 \times 28 \text{ Kg} = 588 \text{ Kg}$

Lo primero que tenemos que insertar en este programa son datos secundarios como el nombre del proyecto y la paridad del dolar en ese momento, y después nombrar los equipos conectados y cantidad de cada uno, con su respectivo consumo en watts (figura III.1)

Los datos de mas interés son el voltaje a que operan, las horas al día de uso, el número de días a la semana, la eficiencia del cableado, la eficiencia de la batería, la eficiencia del módulo, la profundidad de descarga de la batería, el tipo de módulo batería, los días de autonomía que se requieren, las horas sol pico y el voltaje con que operan tanto las baterías como los módulos y controlador escogidos de una tabla dentro del mismo programa que automáticamente coloca los demás datos del dispositivo elegido (figura III.2).



LTH ENERGIA SOLAR



En atenció INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

Cotización No

Sistema:

Fecha: 27-Mar-96

Estimados Clientes y Amigos

De acuerdo a las características de los aparatos abajo mencionados.

Aparato	Cantidad	Watts	Voltaje	Hrs / día	Día / Sem
---------	----------	-------	---------	-----------	-----------

En el arreglo F.V

A la carga Hrs Sol Pico

Autonomía

Tenemos el gusto de presentarle la siguiente cotización

Codigo	Concepto	Cantidad	Lista	Descuento	Unitario	Total
--------	----------	----------	-------	-----------	----------	-------

Monto total de la Propuesta en USDlls \$0.00

Mas 15 % de I V A \$0.00

Total en USDlls: \$0.00

Esta cotización esta preparada en Dolares Norteamericanos

Para facturarse en Moneda Nacional al tipo de cambio vigente del día de pago

Tiempo de entrega: _____
 Condiciones de Pago _____
 Precios LAB. _____

FIGURA III.2 Parte de costos del programa Ofer

3.3 Calculo para dimensionar un banco de baterías y obtener el numero de módulos en una instalación fotovoltaica

A continuación se presenta un método de calculo detallado para determinar el número de módulos fotoeléctricos y baterías necesarios para alimentar al módulo de monitoreo ambiental del capítulo II, al final se presenta este mismo método en un programa elaborado en excel.

Consideremos el diseño para alimentar 1 Analizador de SO₂ con las siguientes premisas: tres días de autonomía, operación las 24 horas y los 7 días de la semana.

Primero determinamos el consumo de la carga a conectar:

El analizador registro una corriente de 2 AMP, por lo tanto:

Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia (W)
2	127	254

Potencia total de la carga: 250 watts

Nota: El diseño de la fuente se analizara a 12V de C.D. en los siguientes cálculos, aunque un inversor empleado en el sistema transforma el voltaje de los módulos y baterías a de 12V de C.D 127 V de A.C.

Por lo tanto, los siguientes cálculos son antes de pasar por el inversor.

- Determinación de la capacidad requerida en la batería:

Primero encontramos la corriente instantánea:

watts	volts	amperes
250	12	20.83

Después los referimos en un periodo de tiempo, por ejemplo si los multiplicamos x 1 hora, serán amp-hr , en este caso son 24 horas pero debe ser de acuerdo a las horas que se pretende o debe estar en operación la carga es decir lo normalizamos en horas.

AMPS	horas de uso	AMP-Hr
20.83	24	500

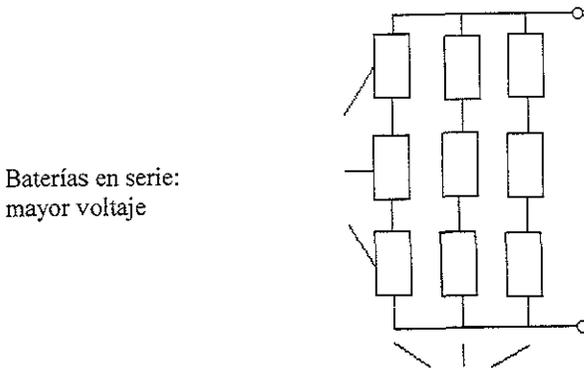
El resultado lo dividimos entre la eficiencia del cable = 0.97 y de la batería = 0.90 y obtenemos los AMP-Hr corregidos

AMP-Hr	n del cable	n de la bat.	AMP-Hr corregidos
500	0.97	0.9	572.74

Multiplicando los AMP-Hr corregidos por los días de autonomía (3) y obteniendo el 120% para proteger la batería con 20% de descarga, llegamos al resultado de la capacidad requerida en la batería:

AMP-Hr corregidos	autonomía	profundidad de descarga	Capacidad requerida
572.74	3	0.8	2147.77

En un sistema de baterías en paralelo el voltaje total es igual en las terminales de cualquiera de ellas, y la corriente total es la suma de las corrientes de cada una de las baterías. En un sistema de baterías en serie el voltaje total es igual a la suma del voltaje que nos entrega cada batería, y la corriente total es la misma que la que circula en cada una de las baterías, la figura III.3 nos muestra como es la conexión serie y paralelo.



Baterías en serie:
mayor voltaje

Baterías en paralelo :mayor corriente:

FIGURA III.3 Baterías conectadas en serie y paralelo.

Para este diseño como ya se dijo en la nota al comienzo de los cálculos, el voltaje de la fuente se considera de 12 V de C.D.. El número de baterías en serie es igual al voltaje del sistema entre el voltaje de la batería empleada, de este modo, como la batería FP-31-19 del capítulo IV.3 es de 12 V, necesitamos una batería en serie, sin embargo para determinar las baterías que en paralelo nos auxiliamos de los siguientes cálculos:

La capacidad requerida la dividimos entre la capacidad de las baterías empleadas en este diseño las FP-31-19 del capítulo IV.3 y nos da el no. de baterías en paralelo.

Capacidad requerida	Capacidad del acumulador a régimen de 24 Hrs (AMP)	No de baterías
2147.77	92	23.34

Por lo tanto la capacidad del banco de baterías es el producto del no. entero de baterías en paralelo redondeado, por el no. de baterías en serie, por la capacidad en amperes hora de la batería escogida.

No de baterías en serie.	No de baterías en paralelo.	Capacidad del acumulador a régimen de 24 Hrs (AMP)	Capacidad del banco
1	24	92	2208

- Determinación de la carga requerida en el arreglo

Se toma el 20 % de la capacidad total (que se necesita regenerar constantemente) ya que en la batería sólo se puede disponer del 20% de la carga de la batería.

Capacidad del arreglo (A)	descarga prof. temporal	Descarga temporal (AMP)
2208	0.2	441.60

Se calcula la corriente que es cedida en los días de peor temporada y que se recuperara según las horas pico de sol

Descarga temporal	Hps	días de peor temporada	Corriente de temporada
441.60	5.6	45	1.75

Basados en la corriente corregida que es la corriente que se necesitamos recuperar de un sólo día en las baterías y con las horas de aportación (Hps) obtenemos la corriente de diseño que sirve como ya se menciona para recuperar la carga de las baterías con la que alimentan la carga durante los tiempos en que no hay aportación (en la noche por ejemplo)

AMP-Hr corregidos	Hps	Corriente de diseño (AMP)
572.74	5.6	102.27

Finalmente Se suma la corriente de diseño (la corriente que carga completamente la batería durante un día) más la de temporada (corriente temporal de los días de peor temporada) para obtener la corriente de diseño corregida.

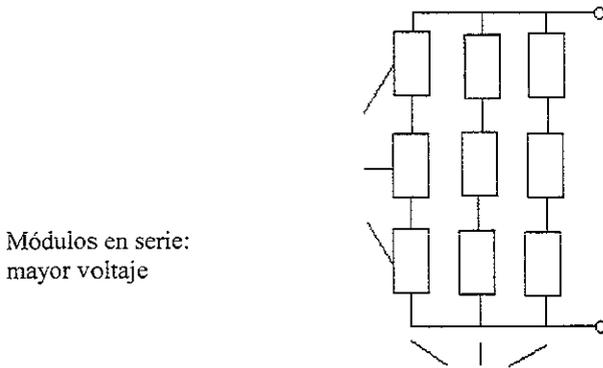
Corriente de diseño (AMP)	Corriente de temporada	Corriente de diseño corregida (AMP)
102.27	1.75	104.03

Al afectar la corriente de diseño corregida con la eficiencia de los módulos obtenemos la demanda de corriente en el arreglo de módulos

Corriente de diseño corregida (AMP)	n del módulo	Demanda de corriente en el arreglo
104.03	0.9	115.59

En un sistema de módulos en paralelo el voltaje total es igual al que existe en las terminales de cualquiera de ellos, y la corriente total es la suma de las corrientes de cada uno de los módulos.

En un sistema de módulos en serie el voltaje total es igual a la suma del voltaje que nos entrega cada módulo, y la corriente total es la misma que la que circula en cada uno de los módulos como se ve en la figura III.4



módulos en paralelo: mayor corriente

FIGURA III.4 Módulos en serie y paralelo

En cualquier diseño, el voltaje del arreglo debe ser de acuerdo al voltaje en el banco de baterías, que en este caso es de 12 V de C.D., el módulo empleado en este diseño es el MSX-64 del capítulo IV.2. que opera a 12V. El número de módulos en serie es uno, resultado de dividir el voltaje del sistema entre el voltaje del módulo, para determinar los módulos que deben estar en paralelo nos auxiliamos del siguiente calculo:

La capacidad requerida o demanda de corriente la dividimos entre la aportación que entrega el módulo MSX-64 del capítulo IV.2 empleados en este diseño y nos da el no. de módulos en paralelo que queremos.

Demanda de corriente en el arreglo	Corriente del módulo MSX-64	No de módulos en paralelo
115.59	3.66	31.58

El total de módulos para el arreglo se calcula multiplicando el no.de módulos en serie por el no. de módulos en paralelo.

no.de módulos en serie	no. de módulos en paralelo	total
1	32	32

No de módulos: **32**

Tomando el no. entero de la última operación y las características de la conexión serie o paralelo en cuanto a Voltaje y Corriente y el voltaje que necesitamos en el arreglo se determinan el número de módulos en serie y el número de módulos en paralelo.

⇒ Programa para dimensionar un banco de baterías y obtener el número de módulos en una instalación fotovoltaica.

Este sencillo programa de la figura III.5, desarrollado en excell nos lleva paso a paso al número de baterías y módulos a emplear en una instalación fotovoltaica tomando los datos de potencia de la carga, horas al día de uso, días a la semana de uso, el voltaje de operación del sistema, el factor de eficiencia del cable, el factor de eficiencia de la batería, los días de autonomía de la batería, la profundidad de descarga, de la batería, la capacidad de la batería a régimen de descarga de 24 horas, el voltaje nominal de la batería, la descarga profunda temporal, las horas sol pico, los días consecutivos de peor temporada, la eficiencia del módulo, la corriente típica del módulo y el voltaje nominal las horas sol pico, los días consecutivos de peor temporada, la eficiencia del módulo, la corriente típica del módulo y el voltaje nominal del módulo.

A su vez nos va entregando el resultado de los amp-hora de carga, los amp-hora corregidos, la capacidad requerida en la batería, el número de baterías en serie y paralelo, el total de baterías, la capacidad del banco de baterías, la descarga temporal, la demanda de amps de temporada, la corriente de diseño, la corriente de diseño corregida, la demanda de corriente

del diseño, el número de módulos en serie y paralelo y el total de módulos requeridos para la necesidad específica que se pretenda cubrir.

MEMORIA DE CALCULO					
No	operación	descripción	unidades	resultado	comentarios
1		Potencia total de la carga	watts	250.00	
2	x	horas al día de uso	h/día	24.00	
3	x	días a la semana de uso	día/sem	7.00	
4	/	días de la semana	sem	7.00	
5	/	voltaje de operación del sistema	volts	12.00	
6	,=	amp-hra de carga	a-h	500.00	
7	/	factor de eficiencia del cable	%	0.97	
8	/	factor de eficiencia de la batería	%	0.90	
9	,=	amps-hra corregidos	a-h	572.74	
10	x	días de autonomía	día	3.00	
11	/	profundidad de descarga de la batería	%	0.80	en acumuladores industriales
12	,=	capacidad requerida en la batería	a-h-día	2147.77	
13	/	capacidad del acumulador a regimen de 24 hrs	a-h-día	92.00	acumulador FP31-19 a regimen de 24 hrs
14	,=	baterías en paralelo	no.entero	23.35	
15		(5) voltaje de operación del sistema	volts	12.00	
16	/	voltaje nominal de la batería	volts	12.00	voltaje de una celda
17	,=	baterías en serie	no entero	1.00	
18	x	(14)baterías en paralelo	no.entero	23.35	
19	,=	total de baterías	no.entero	24.00	
20		(14)baterías en paralelo	no.entero	24.00	
21	x	(13)capacidad del acumulador a regimen de 24 hrs	a-h-día	92.00	acumulador FP31-19 a regimen de 24 hrs
22	,=	capacidad del arreglo de baterías	a-h-día	2208.00	
23	x	descarga profunda temporal	%	0.20	
24	,=	descarga temporal	a-h-día	441.60	
25	/	horas de sol pico	h	5.60	promedio anual en zona
26	/	días consecutivos de peor temporada	días	45.00	
27	,=	demanda de amps de temporada	A	1.75	
28		(9)amps.-hra corregidos	A-h	572.74	
29	/	(25)horas de sol pico	h	5.60	promedio anual en zona
30	,=	corriente de diseño	A	102.27	
31	,+	demanda en amps. De temporada(27)	A	1.75	
32	,=	corriente de diseño corregida	A	104.03	
33	/	eficiencia del módulo	%	0.90	mínima garantía para 20 años de uso
34	,=	demanda de corriente de diseño	A	115.59	
35	/	corriente típica del módulo	A	3.66	para el MSX-64 de SOLAREX
36	,=	módulos en paralelo	no.entero	32	31 5807431
37		(5)voltaje de operación del sistema	volts	12.00	
38	/	voltaje nominal del módulo	volts	12.00	
39	,=	módulos en serie	no.entero	1.00	
40	x	(36)módulos en paralelo	no entero	32.00	
41	,=	total de módulos	no.entero	32.00	

FIGURA III.5 Programa de calculo basado en las formulas del comienzo del capitulo.

3.4 Cálculo para optimizar las contribuciones del subsistema de generación (módulos fotovoltaicos) y del subsistema de acumulación (baterías).

El método de calculo utiliza como datos de entrada los siguientes:

- Datos de consumo
- Insolación
- Emplazamiento

El primer dato necesario para éste método de calculo, es la carga diaria que va a tener el generador fotovoltaico, o, en otras palabras, el consumo diario que se da en la aplicación que nos ocupa. Este consumo se expresa en alguna unidad de energía por día (Wh/d), resultante de la potencia que tenga el equipo alimentado y el numero de horas que este funcionando. Como sin duda se conoce la tensión a la que esta alimentado ese equipo. El consumo es expresado también como carga por día (Ah/d).

En segundo lugar hay que conocer la insolación media anual por día en el lugar pensado para la instalación fotovoltaica.

- ⇒ Los datos de insolación horizontal son valores medios mensuales.
- ⇒ Aproximación senoidal de la insolación entre el orto y el ocaso.
- ⇒ El método recursivo de optimización, trabaja con aproximaciones en los valores comparativos inferiores al 1%.
- ⇒ Los datos de insolación están tomados del capítulo I de la radiación solar en México.

Después, se calcula el número total de paneles fotovoltaicos necesarios en la instalación que es el producto de las que se deben conectar en serie que dependen del voltaje del sistema, por las que se deben conectar en paralelo que se calculan como el cociente de la carga media diaria (Ah/d) por la salida media diaria de un panel (Ah/d).

Conviene ahora indicar como se evalúa la capacidad de las baterías requeridas en la aplicación. Dichas baterías tienen la finalidad de suplir la insuficiencia solar, bien épocas de nubes, durante la noche o por una avería de los paneles. El parámetro más importante es conocer la “autonomía” que debe tener el sistema fotovoltaico, y que es igual al número máximo de días seguidos que puede haber sin sol en dicho periodo y esta ligado a la latitud del lugar a excepción de microclimas como lo vemos en la tabla III.I, en estos días el consumo se cubre únicamente con la energía acumulada

El calculo de la media anual del numero diario de horas equivalentes de sol nominal (se considera un sol nominal en usos terrestres la radiación con espectro AM 1.5 e intensidad de 1 kW/m²) H. Como una hora de sol nominal da lugar a una energía anual de 365 kW/m², bastara dividir la radiación anual del lugar expresada en kW/m² por 365 para obtener H

$$H = \frac{\text{radiación total anual (en kW)}}{365}$$

Latitud	Días de autonomía (recomendados)
0°-30°	10
30°-40°	20
40°-50°	25
50°-60°	30
60° o más	35 o más

TABLA III.I Número máximo de días seguidos que puede haber en un lugar según su latitud.

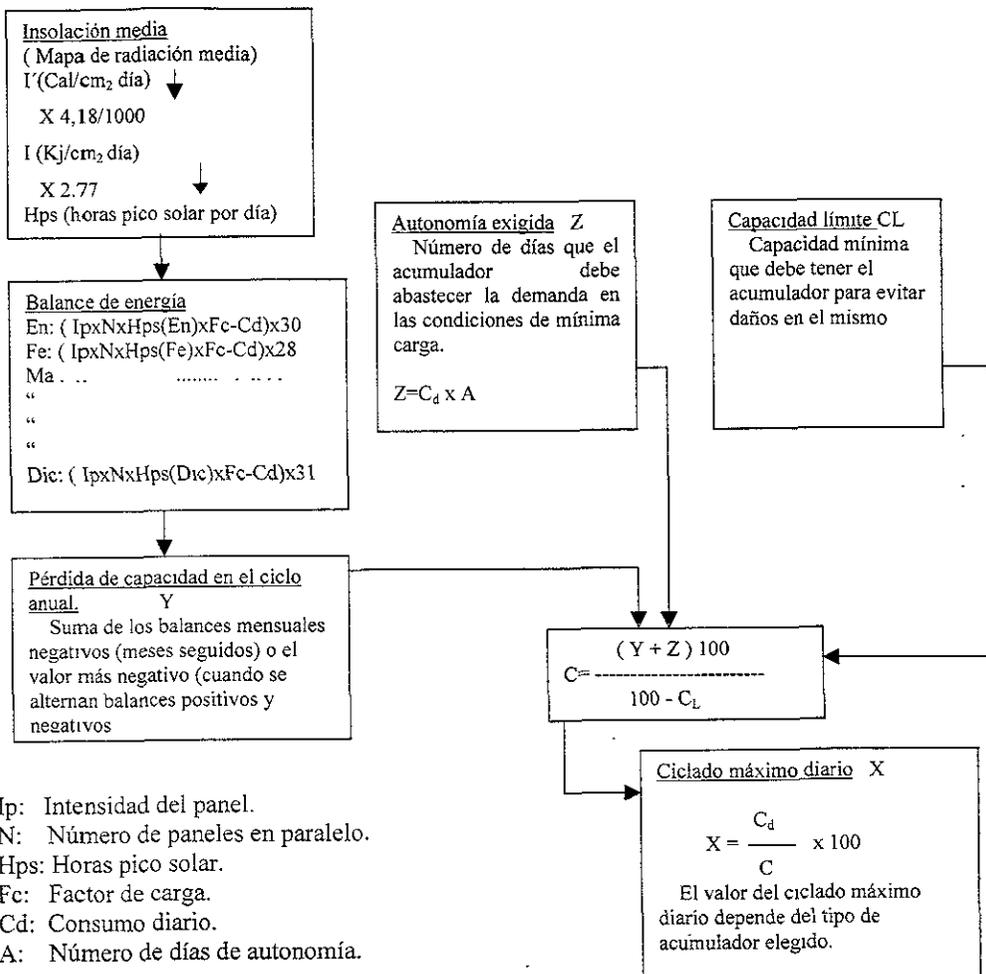


FIGURA III.6 Diagrama a bloques del método de cálculo seguido para optimizar las contribuciones del subsistema de generación y del subsistema de acumulación.

El método de la figura III.6 tiene en cuenta los siguientes factores:

- Insolación media del lugar
- Balance de energía
- Perdida de capacidad en el ciclo anual
- Capacidad límite del acumulador
- Ciclado máximo diario

- Autonomía exigida en la instalación.

El método cumple con dos condiciones exigidas al subsistema de acumulación: proporcionar la energía necesaria durante las épocas de no (o baja) insolación y asegurar la autonomía demandada; al mismo tiempo se garantiza la funcionalidad y vida del acumulador definiendo su capacidad límite y ciclado máximo diario.

INSOLACION MEDIA:

El método utiliza el concepto de horas pico solares (HPS) que significa las horas del día que el panel suministra su máxima potencia (valor definido en el catalogo por el fabricante del panel).

BALANCE ANUAL DE ENERGÍA:

Este balance puede realizarse, día a día, mes a mes, o estacionalmente; no obstante, es útil realizar un primer estudio, a partir de datos estacionales para conocer las magnitudes del dimensionado.

El balance de energía se va obteniendo por la diferencia entre la energía proporcionada por los paneles fotovoltaicos y el consumo del sistema que se alimenta. El calculo de la energía suministrada por los paneles contempla, según puede verse en la fig. III.1 un factor de carga (F_c) que esta directamente ligado al rendimiento de la carga de los acumuladores y que puede variar entre 0,8 y 0,9.

A partir de los balances se establece la pérdida máxima de capacidad en el ciclo anual, representando el mayor déficit de energía del año. Esta pérdida se determina por la suma de los balances negativos (si hay dos o más seguidos) o como el valor más negativo cuando se alternan positivos y negativos. Es importante resaltar que la perdida de capacidad debe ser aportada por los acumuladores exclusivamente.

El balance energético citado proporciona otro parámetro de interés practico: la sobrecarga anual, que representa la energía generada por los paneles fotovoltaicos que debe ser desechada ("tirada") ya que excede las necesidades de consumo y de acumulación.

Es importante destacar que la pérdida de capacidad exigida al acumulador, viene impuesta por el consumo, la insolación del lugar y la potencia fotovoltaica instalada.

CAPACIDAD LIMITE DEL ACUMULADOR

Denominamos "capacidad límite" aquella capacidad por debajo de la cual no se asegura la ausencia de los daños en el acumulador.

CICLADO MAXIMO DIARIO

Una de las funciones del acumulador en una instalación fotovoltaica es acumular la energía procedente de los paneles en las horas de mayor incidencia, para abastecer la demanda en las horas de no insolación. Este hecho somete al acumulador a un ciclado máximo diario, de cuya magnitud va a depender la mayor o menor vida del mismo. Para una esperanza de vida determinada, podrá establecerse, a partir de los datos suministrados por el fabricante de baterías, el ciclado máximo como el porcentaje que supone el consumo frente a la capacidad inicial del acumulador.

AUTONOMIA DEL SISTEMA DE GENERACION - ACUMULACION

La autonomía debe garantizarse incluso en las peores condiciones de carga del acumulador (Generalmente en los meses de invierno).

Dado que la autonomía contribuye de una forma importante en la capacidad del acumulador, será necesario estimar la autonomía en función de la fiabilidad del tipo de aplicación.

CALCULO DE LA ACUMULACION

La expresión que permite la estimación de la acumulación necesaria es la siguiente:

$$C = \frac{(Y + Z) 100}{100 - C_L}$$

Siendo: Y.-Pérdida de capacidad en el ciclo anual

Z.-Autonomía exigida

C_L.Capacidad límite

Una vez calculada la capacidad se debe verificar que el ciclado diario es inferior al ciclado máximo dado por el fabricante. En caso contrario, es aconsejable disminuir el número de paneles, con lo que aumentaría la pérdida de capacidad de ciclo anual y, por tanto, la acumulación. En otros casos será aconsejable mantener los paneles y aumentar la capacidad con lo que se garantiza una mayor autonomía.

CORRECCION DE LA CAPACIDAD SEGÚN EL REGIMEN DE DESCARGA

La capacidad de un acumulador varía sustancialmente según el diagrama de descarga de forma que cuanto mayor sea la intensidad de la descarga, mayor es la capacidad cedida por el acumulador.

Es conveniente estimar el régimen de descarga de la aplicación para trasladar la capacidad obtenida a un régimen de descarga conocido (por ejemplo 10 horas a 100 horas)

Una vez determinado el régimen de descarga (R) es posible saber la capacidad a un régimen de descarga usado basándose en los valores dados por el fabricante de baterías donde se relaciona el valor de la capacidad en función del número de horas de descarga.

Los resultados del proceso de calculo podemos desglosarlos en dos grupos según su representación :

a) Resultados numéricos (Tabla III.2)

- ⇒ Número de paneles a emplear
- ⇒ Capacidad nominal de la acumulación
- ⇒ Ciclado máximo diario en el año

b) Resultados gráficos: (Figuras III.7 a III.13)

- ⇒ Evolución de los estados de carga del acumulador (mínimo y máximo diario)
- ⇒ Evolución del ciclado diario

A continuación se detallan los resultados obtenidos.

cal/cm2 día x4.18/1000

=kJ/cm2 día x 2.77

=Hps

Ene	400	1.67	4.63
Feb	418	1.75	4.84
Mar.	455	1.90	5.27
Abr	455	1.90	5.27
May.	437	1.83	5.06
Jun.	406	1.70	4.70
Jul	415	1.73	4.81
Ag.	415	1.73	4.81
Sep.	388	1.62	4.49
Oct	370	1.55	4.28
Nov	350	1.46	4.05
Dic.	330	1.38	3.82

anual	480		2.01		5.56
-------	-----	--	------	--	------

	ipanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene.	3.66	32.00	4.63	0.80	31.00	-2047.63
Feb.	3.66	32.00	4.84	0.80	28.00	-1302.70
Mar.	3.66	32.00	5.27	0.80	31.00	-197.93
Abr.	3.66	32.00	5.27	0.80	30.00	-191.54
May.	3.66	32.00	5.06	0.80	31.00	-803.29
Jun.	3.66	32.00	4.70	0.80	30.00	-1786.30
Jul	3.66	32.00	4.81	0.80	31.00	-1543.17
Ag.	3.66	32.00	4.81	0.80	31.00	-1543.17
Sep.	3.66	32.00	4.49	0.80	30.00	-2372.13
Oct.	3.66	32.00	4.28	0.80	31.00	-3056.56
Nov.	3.66	32.00	4.05	0.80	30.00	-3608.88
Dic.	3.66	32.00	3.82	0.80	31.00	-4401.80

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-22855.09

	lpanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene.	3 66	33.00	4.63	0.80	31 00	-1627 24
Feb.	3 66	33.00	4 84	0 80	28 00	-905.91
Mar	3 66	33.00	5.27	0 80	31 00	280 26
Abr	3 66	33 00	5.27	0 80	30 00	271 22
May.	3 66	33.00	5 06	0 80	31 00	-344 01
Jun	3 66	33 00	4 70	0.80	30 00	-1373.37
Jul	3 66	33.00	4.81	0 80	31.00	-1107 02
Ag.	3 66	33.00	4.81	0 80	31 00	-1107 02
Sep.	3 66	33.00	4.49	0 80	30.00	-1977 51
Oct.	3 66	33.00	4.28	0 80	31.00	-2667 70
Nov	3 66	33.00	4.05	0.80	30.00	-3252.91
Dic	3 66	33.00	3.82	0 80	31.00	-4054.98

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-18417 67

	lpanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene	3 66	34 00	4 63	0 80	31 00	-1206 86
Feb.	3 66	34.00	4.84	0 80	28 00	-509 12
Mar	3 66	34.00	5 27	0 80	31 00	758.45
Abr	3.66	34.00	5.27	0.80	30 00	733.98
May.	3.66	34.00	5.06	0.80	31.00	115.26
Jun	3.66	34.00	4.70	0.80	30 00	-960.45
Jul	3.66	34.00	4.81	0.80	31.00	-670.86
Ag	3.66	34 00	4.81	0.80	31.00	-670 86
Sep.	3 66	34.00	4.49	0 80	30 00	-1582.89
Oct	3 66	34.00	4.28	0 80	31 00	-2278.84
Nov.	3.66	34.00	4 05	0.80	30.00	-2896.94
Dic.	3.66	34.00	3.82	0.80	31.00	-3708.16

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-14484 97

	Ipanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene.	3.66	35.00	4.63	0.80	31.00	-786.47
Feb	3.66	35.00	4.84	0.80	28.00	-112.33
Mar.	3.66	35.00	5.27	0.80	31.00	1236.64
Abr.	3.66	35.00	5.27	0.80	30.00	1196.75
May.	3.66	35.00	5.06	0.80	31.00	574.53
Jun.	3.66	35.00	4.70	0.80	30.00	-547.52
Jul.	3.66	35.00	4.81	0.80	31.00	-234.71
Ag.	3.66	35.00	4.81	0.80	31.00	-234.71
Sep.	3.66	35.00	4.49	0.80	30.00	-1188.27
Oct.	3.66	35.00	4.28	0.80	31.00	-1889.99
Nov.	3.66	35.00	4.05	0.80	30.00	-2540.96
Dic.	3.66	35.00	3.82	0.80	31.00	-3361.34

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-10896.30

	Ipanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene	3.66	36.00	4.63	0.80	31.00	-366.08
Feb	3.66	36.00	4.84	0.80	28.00	284.46
Mar.	3.66	36.00	5.27	0.80	31.00	1714.83
Abr	3.66	36.00	5.27	0.80	30.00	1659.51
May	3.66	36.00	5.06	0.80	31.00	1033.80
Jun.	3.66	36.00	4.70	0.80	30.00	-134.59
Jul.	3.66	36.00	4.81	0.80	31.00	201.44
Ag	3.66	36.00	4.81	0.80	31.00	201.44
Sep.	3.66	36.00	4.49	0.80	30.00	-793.65
Oct	3.66	36.00	4.28	0.80	31.00	-1501.13
Nov.	3.66	36.00	4.05	0.80	30.00	-2184.99
Dic	3.66	36.00	3.82	0.80	31.00	-3014.52

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-7994.96

	lpanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene.	3.66	37	4.63	0.8	31	54.30
Feb.	3.66	37	4.84	0.8	28	681.25
Mar.	3.66	37	5.27	0.8	31	2193.02
Abr.	3.66	37	5.27	0.8	30	2122.28
May	3.66	37	5.06	0.8	31	1493.08
Jun.	3.66	37	4.70	0.8	30	278.34
Jul.	3.66	37	4.81	0.8	31	637.59
Ag.	3.66	37	4.81	0.8	31	637.59
Sep	3.66	37	4.49	0.8	30	-399.03
Oct	3.66	37	4.28	0.8	31	-1112.27
Nov	3.66	37	4.05	0.8	30	-1829.02
Dic.	3.66	37	3.82	0.8	31	-2667.70

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-6008.02

	lpanel	Número	Hps	Fc	días / mes	Pérdida de capacidad
Ene.	3.66	38	4.63	0.8	31	474.69
Feb	3.66	38	4.84	0.8	28	1078.04
Mar.	3.66	38	5.27	0.8	31	2671.21
Abr	3.66	38	5.27	0.8	30	2585.04
May.	3.66	38	5.06	0.8	31	1952.35
Jun.	3.66	38	4.70	0.8	30	691.27
Jul.	3.66	38	4.81	0.8	31	1073.74
Ag.	3.66	38	4.81	0.8	31	1073.74
Sep	3.66	38	4.49	0.8	30	-4.41
Oct.	3.66	38	4.28	0.8	31	-723.41
Nov	3.66	38	4.05	0.8	30	-1473.05
Dic.	3.66	38	3.82	0.8	31	-2320.88

Pérdida de capacidad en el ciclo anual

-4521.75

No de módulos y su corriente	Capacidad limite Cl	Capacidad requerida C	Autonomía Z	Pérdida de cap Y	Ciclado diario X
32 paralelo	30	29997.95	10D/5000A-h	22855.09	1.67
	40	31188.42	10D/5000A-h	22855.09	1.60
	50	32855.09	10D/5000A-h	22855.09	1.52
117.12	30	26426.52	5D/2500A-h	22855.09	1.89
	40	27021.76	5D/2500A-h	22855.09	1.85
	50	27855.09	5D/2500A-h	22855.09	1.80
	30	32650.13	sin autonom	22855.09	1.53
	30	25560.52	10D/5000A-h	18417.67	1.96
	40	26751.00	10D/5000A-h	18417.67	1.87
120.78	50	28417.67	10D/5000A-h	18417.67	1.76
	30	21989.09	5D/2500A-h	18417.67	2.27
	40	22584.33	5D/2500A-h	18417.67	2.21
	50	23417.67	5D/2500A-h	18417.67	2.14
	30	26310.95	sin autonom	18417.67	1.90
	30	21627.83	10D/5000A-h	14484.97	2.31
124.44	40	22818.31	10D/5000A-h	14484.97	2.19
	50	24484.97	10D/5000A-h	14484.97	2.04
	30	18056.40	5D/2500A-h	14484.97	2.77
	40	18651.64	5D/2500A-h	14484.97	2.68
	50	19484.97	5D/2500A-h	14484.97	2.57
	30	20692.82	sin autonom.	14484.97	2.42
35 paralelo	30	18039.15	10D/5000A-h	10896.30	2.77
	40	19229.63	10D/5000A-h	10896.30	2.60
	50	20896.30	10D/5000A-h	10896.30	2.39
128.1	30	14467.73	5D/2500A-h	10896.30	3.46
	40	15062.96	5D/2500A-h	10896.30	3.32
	50	15896.30	5D/2500A-h	10896.30	3.15
	30	15566.14	sin autonom	10896.30	3.21
	30	15137.82	10D/5000A-h	7994.96	3.30
	40	16328.29	10D/5000A-h	7994.96	3.06
131.76	50	17994.96	10D/5000A-h	7994.96	2.78
	30	11566.39	5D/2500A-h	7994.96	4.32
	40	12161.63	5D/2500A-h	7994.96	4.11
	50	12994.96	5D/2500A-h	7994.96	3.85
	30	11421.37	sin autonom	7994.96	4.38

37 paralelo	30	13150.87	10D/5000A-h	6008 02	3 80
	40	14341 35	10D/5000A-h	6008 02	3 49
	50	16008 02	10D/5000A-h	6008.02	3 12
135.42	30	9579.44	5D/2500A-h	6008.02	5 22
	40	10174 68	5D/2500A-h	6008.02	4.91
	50	11008.02	5D/2500A-h	6008.02	4 54
	30	8582.88	sin autonom.	6008 02	5.83
38 paralelo	30	11664 60	10D/5000A-h	4521 75	4.29
	40	12855 08	10D/5000A-h	4521 75	3.89
	50	14521 75	10D/5000A-h	4521.75	3 44
139 08	30	8093.17	5D/2500A-h	4521.75	6 18
	40	8688.41	5D/2500A-h	4521.75	5 75
	50	9521.75	5D/2500A-h	4521.75	5 25
	30	6459.64	sin autonom	4521 75	7 74

TABLA III.2 Resultados obtenidos del método de cálculo.

Si la instalación estuviera formada por un número inferior a 32 se obtendría un proceso anual no cíclico, es decir, el aporte de energía realizado por los paneles en un año sería inferior al consumo anual. Por otro lado, si se instalan los paneles en un número superior a 38 la instalación es viable pero la acumulación estaría únicamente determinada por la autonomía del sistema y no tendría objeto realizar una optimización del dimensionado.

Al mismo tiempo, y según sea el número de paneles en el arreglo, se obtiene un rendimiento energético progresivamente menor ver figura III.7, entendiéndose por tal el porcentaje de la energía generada por los paneles que se utiliza a lo largo del año. La energía no utilizada debe ser disipada o de lo contrario sin el uso de controladores se traduce en sobrecarga a las baterías.

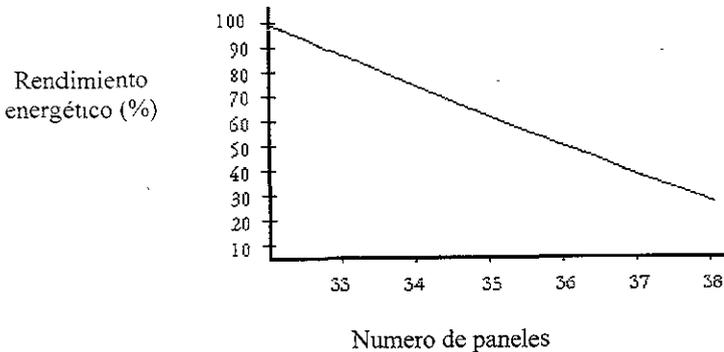


FIGURA III 7 Rendimientos energéticos (porcentaje de la energía generada por los paneles que se utiliza) como función del número de paneles instalados.

Como resultado de la tabla III.2 podemos saber que la capacidad de los acumuladores a instalar en la fuente es función de otros parámetros y depende de ellos tal como se ve en las figuras III.8, III.9 y III.10.

La capacidad decrece, al aumentar el número de paneles cuando el sistema goza de 5 días de autonomía. Si se permite que los acumuladores se descarguen hasta un 30 % de su capacidad nominal, la acumulación necesaria es menor (figura III.8) que si se establece que la capacidad límite de descarga sea un 60% de la nominal.

Evidentemente, en ambos casos la capacidad de acumulación aumenta se crece la energía consumida diariamente, siempre que se establezca un número de paneles suficiente.

Es importante destacar que aquellas baterías que pueden ser descargados hasta una capacidad límite más baja, permiten un dimensionado con menor capacidad nominal, y por lo tanto más bajo costo.

En la figura III.10 se muestra que la capacidad que han de tener los acumuladores aumenta con los días de autonomía de la instalación, cuando los restantes parámetros permanecen fijos (33 paneles fotovoltaicos y un 30% de capacidad límite hasta el cual se permite que se descarguen las baterías).

El conjunto de las gráficas anteriores representa variaciones de la capacidad nominal del acumulador con alguno de los parámetros cuando los demás permanecen fijos.

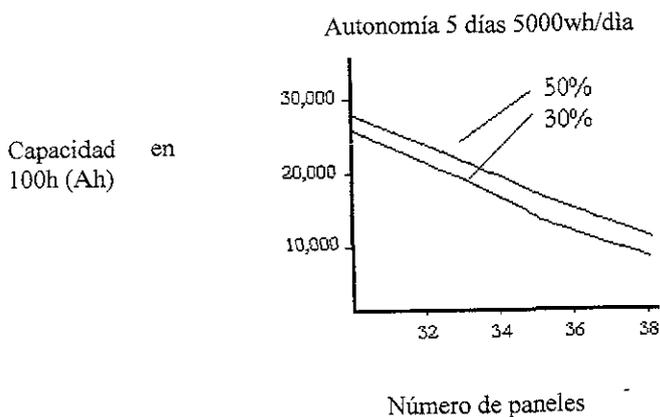


FIGURA III.8 Variación de la capacidad de las baterías en función del número de paneles fotovoltaicos

34 paneles, Autonomía 10 días, 5000wh/día.

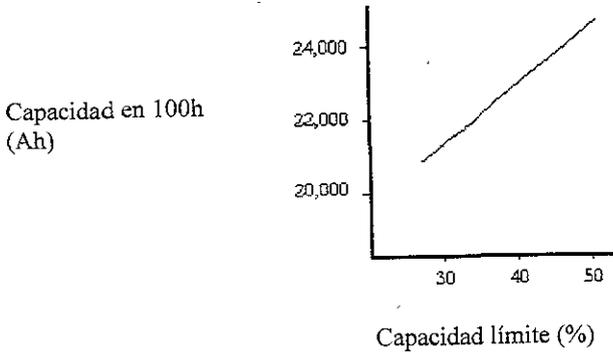


FIGURA III.9 Variación de la capacidad de las baterías en función de la capacidad límite anual.

33 paneles, capacidad mínima 30 % y 5000 wh/día.

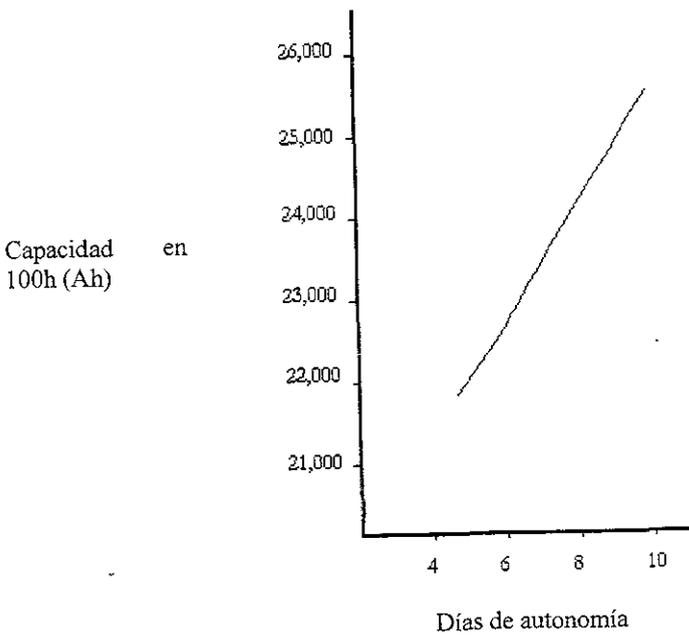


FIGURA III.10 Variación de la capacidad de las baterías en función del número de días de autonomía de la instalación.

El ciclado diario de una batería se define, en la aplicación solar como a diferencia entre los estados de máxima y mínima carga diarios. Esa diferencia se refiere siempre a la capacidad nominal y, por tanto, se expresa en tanto por ciento.

si se decide aumentar el número de paneles de la instalación como en la figura III.11 se produce un aumento importante en los valores máximos de los ciclados diarios como consecuencia de la disminución de la capacidad nominal de la instalación (figura III.8).

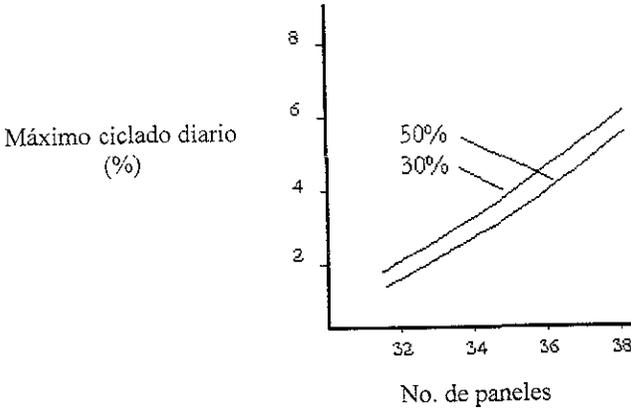


FIGURA III.11 Ciclado máximo diario de las baterías en función del numero de paneles.

En la figura III.12 se muestra la relación entre la profundidad de ciclado máximo diario y la capacidad límite que se permite alcanzar a la batería a lo largo del año. Puede observarse que aquellas baterías que permiten una mayor descarga anual (menor capacidad límite) sufriran un ciclado diario más profundo, como consecuencia de la disminución de la acumulación total del sistema. En consumos discontinuos, los ciclados diarios son más profundos.

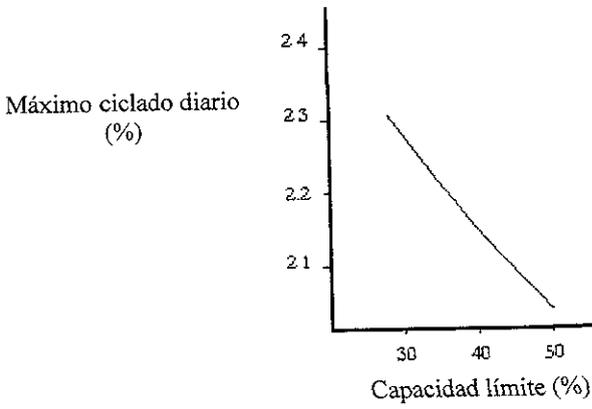


FIGURA III.12 Ciclado máximo diario de las baterías en función de la capacidad límite anual.

Es también claro que cualquiera que sea la aplicación, un aumento de días de autonomía se traduce, cuando el dimensionado es correcto, en un menor ciclado diario (figura III.13).

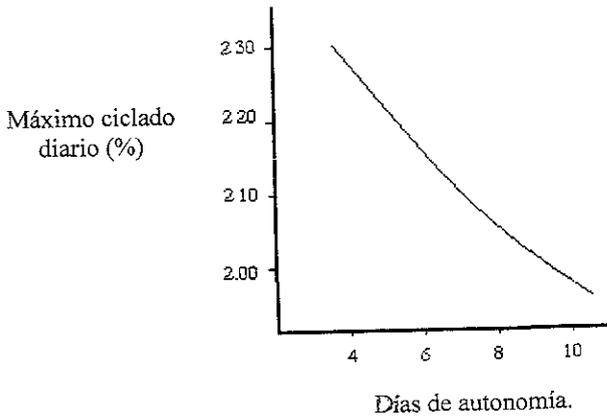


FIGURA III.13 Ciclado máximo diario de las baterías en función del número de días de autonomía.

Ahora bien , al aumentar el número de paneles fotovoltaicos, la acumulación queda definida por la autonomía solicitada a la instalación, con lo cual los ciclados diarios serán más profundos, como se muestra cualitativamente en la figura III.14 y están relacionados con la capacidad límite marcada a la acumulación. Según los resultados tendríamos 2.77 % y 2.57% para un 30 % y 50% respectivamente, de capacidades límites y 5 días de autonomía.

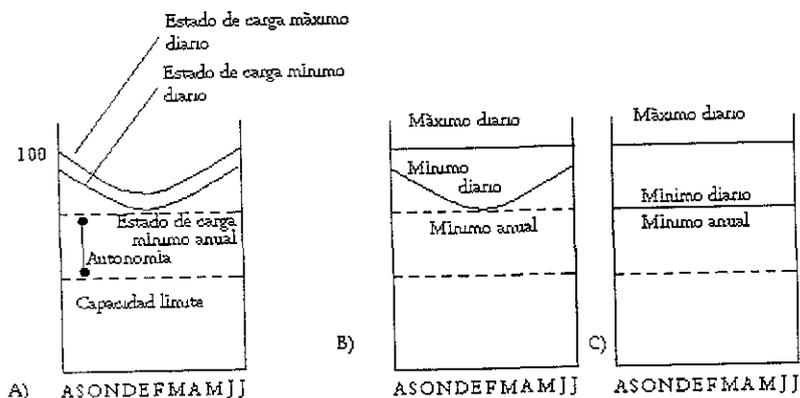
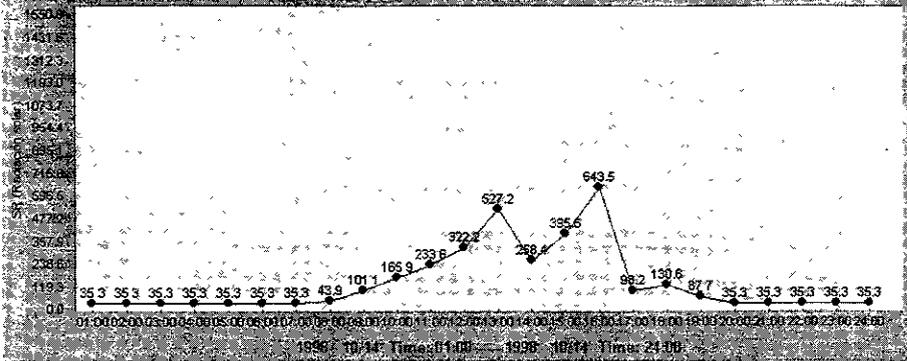


FIGURA III.14 (a) Curva cualitativa que indican el significado de algunos términos empleados en este trabajo. (b) y (c) Evolución de los estados de carga máximos y mínimos diarios para el consumo del analizador y para un consumo discontinuo cuando existe un sobredimensionado de los paneles.

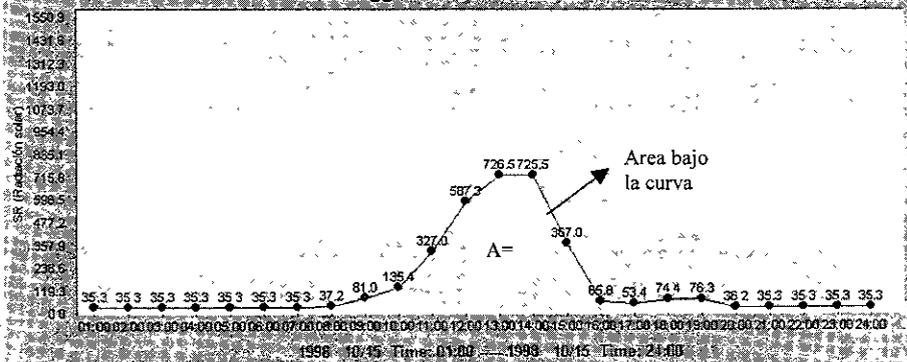
En el diseño dimensionado anteriormente las variaciones máximas del ciclado diario son importantes, en valor relativo en el caso del número de paneles, al pasar de 32 a 38 el ciclado se hace nueve veces mayor, pero la influencia sobre la vida de la batería será poco significativa ya que se presenta un ciclado superficial en todos los casos (menor del 5%), exceptuando el valor del 7% obtenido cuando se sobredimensiona el numero de paneles. Ciclados superiores al 10% afectan seriamente a los baterías esto se estudiara más a fondo en el capítulo IV.3.1

La figura III.15 nos muestra el perfil de consumo que presenta el analizador y la curva de radiación solar obtenida desde un datalogger por medio de un sensor de radiación solar marca MET ONE para tres días de octubre.

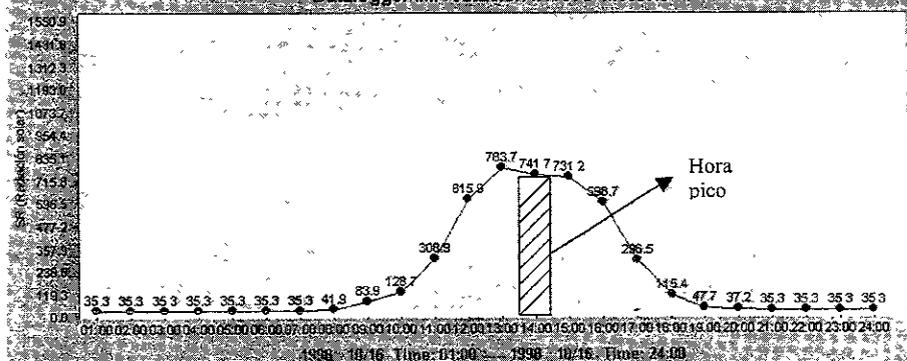
Datalogger IMP estación INT675 MetOne



Datalogger IMP estación INT675 MetOne



Datalogger IMP estación INT675 MetOne



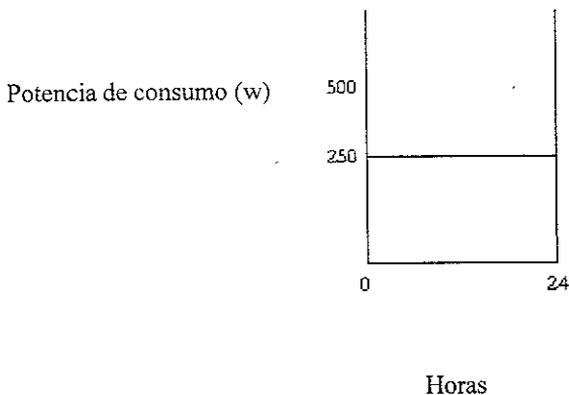


FIGURA III.15 Gráficas de radiación solar del 14, 15, y 16 de octubre de 1998; en promedio 5 horas pico solar = A ,obtenidas en un sensor de radiación solar, aparte el perfil de consumo del analizador de SO₂.

En la figura III. 16 se observan tres perfiles de demanda diaria muy distintos que suponen la misma energía total consumida en 24 H y que serían cubiertos por el mismo número de paneles y diferentes baterías. Superpuesta se indica a curva de insolación, y por tanto , de generación de los paneles fotovoltaicos, para un caso en particular.

Se observa que la potencia fotovoltaica instalada sería:

- 6.75 veces menor que la potencia de consumo I, si este se realiza durante una hora al día.
- 3.57 veces mayor que la potencia de consumo II si este es constante durante las 24 horas del día.
- Igual a la potencia de consumo III, si este se mantuviera constante solo durante 6 horas45 minutos aproximadamente al día.

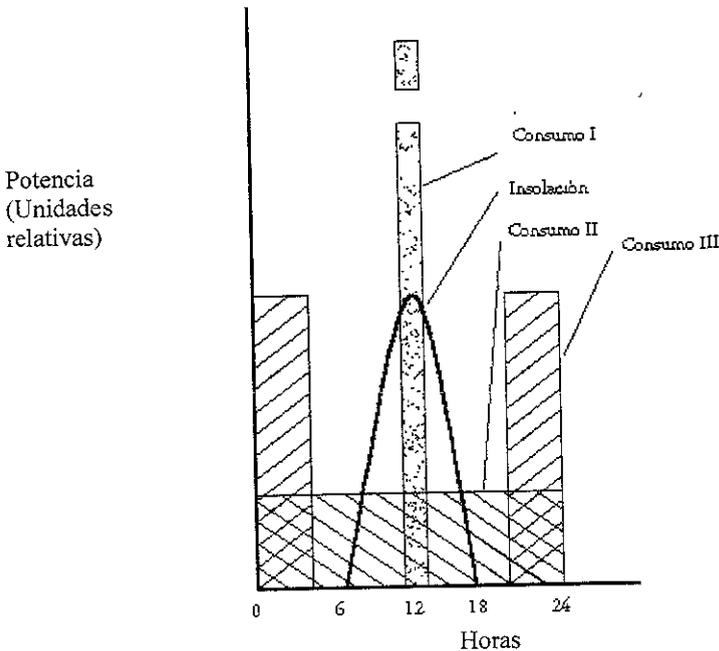


FIGURA III.16 Diferentes potencias de consumo (igual energía diaria consumida) atendidos por la misma potencia fotovoltaica instalada. La escala de potencia esta en unidades relativas.

En resumen, en el dimensionado optimo de un sistema fotovoltaico han de tenerse en cuenta:

- 1) El perfil de consumo.
- 2) Cómputos totales de consumo y suministros de energía en función de los datos mencionados.
- 3) Prestar cuidado especial al dimensionado de la batería, pues su vida va a depender, principalmente de ello.

El coste esta ligado a la duración; ya que un sobredimensionado de la acumulación aumentaría su duración (para un dimensionado correcto de los paneles que no fuera deficitario energéticamente respecto del consumo) pero a costa de incrementar la inversión; por otra parte, una disminución de esta por reducción del numero de paneles o baterías da lugar al empleo inadecuado de la acumulación y la reducción de su vida, con un incremento en el coste total al ser necesaria su sustitución en un plazo menor de tiempo.

El planteamiento anterior queda notablemente simplificado en ciertas aplicaciones. Así en las no autónomas, con las que se pretende solamente ahorrar en otra fuente de suministro regular, puede quedar eliminada la acumulación. La optimización en estos casos dependerá principalmente de las curvas de consumo.

Ahora bien, prácticamente la totalidad de las aplicaciones tienden al empleo de la energía solar como fuente autónoma, a lo sumo con aportes complementarios de otras fuentes no centralizadas (eólica, hidroeléctrica, generadores de combustión interna, etc.). En estos casos también hay situaciones que simplifican el cálculo; así, si se exigen autonomías notables, suele suceder que la superior acumulación precisada hace innecesario el cálculo detallado, bastando el sencillo dimensionado de los paneles a partir de los consumos y aportes solares anuales, con los factores de margen adecuados.

En las aplicaciones más frecuentes, con autonomías limitadas, deberá optimizarse globalmente el sistema.

En este caso, como se observa el no. de baterías y módulos es muy grande, por lo tanto no es viable el proporcionar recursos y el espacio para tal cantidad de baterías y módulos, a menos que se considere que instalarlos para alimentar los equipos supera la opción que representan los actuales Laboratorios móviles con sus plantas de emergencia.

Sin embargo, en la Gerencia de Ciencias del Ambiente, particularmente en el Laboratorio de Calibración, se continuo con el mismo interés en la adaptación de estos equipos para sentar un diseño que permitiera experimentar con los analizadores utilizando energía solar para que de esta manera en lo sucesivo podamos dar una solución completa a la autonomía de estos equipos, como construir sistemas híbridos con algún otro tipo de alimentación o cual quiera de las opciones presentadas en las conclusiones.

Se comenzó entonces con un cálculo para determinar el tiempo de que se podía alimentar al analizador de aire con el equipo que cuenta el Laboratorio de Calibración y posteriormente se hicieron algunas pruebas, como se muestra en el capítulo V.

Es indispensable saber que el Laboratorio de Calibración cuenta con cuatro baterías FP-31-19 (sus características se mencionan en el capítulo IV. 2), también cuenta con 4 módulos fotovoltaicos MSX-64 (sus características se mencionan en el capítulo IV.1), cuatro controladores de carga GPC-12-20-2 (sus características se mencionan en el capítulo IV.3).

- Utilizando el cálculo simplificado de CEAC

Para este cálculo comenzamos ubicando primeramente el lugar donde estará situada nuestra instalación para obtener las Horas pico solar basándonos en un mapa como el de la figura 1.5, además en consumo de la carga que queremos alimentar.

Considerándolo al igual que en 3.2.1

Nuestra carga es un analizador que registró una corriente de 2 AMP con CA, por lo tanto:

Corriente (A)	Voltaje (V)	Potencia(W)
2	127	254

Al alimentarlo por medio de un arreglo fotovoltaico calculamos la corriente que debe obtener de este arreglo a 12 V de CD.

Potencia(W)	Voltaje (V)	Corriente (A)
254	12	20.8

Carga	Potencia (W)	Corriente (A)	horas de uso	A-hr/día
1 analizador	250	20	24	480

Suponemos pérdidas en la instalación del 12 %; por lo tanto, el previsto consumo diario quedará establecido en:

537.6 Ah/diarios

La producción de un módulo MSX-64 es de 3.66 Ah (ver tabla IV.2) en una posición fija, encarado al sur e inclinado 35° con respecto a la superficie horizontal siguiendo la tabla IV 3 y IV.4. Además de acuerdo con los primeros datos que reproduce con relación a la radiación solar:

$$3.66 \times 4.631 \text{ Hps} = 16.95 \text{ Ah/día}$$

El número de módulos con que cuenta el Laboratorio de Calibración es de cuatro por lo tanto:

$$16.95 \text{ Ah/día} \times 4 = \underline{67.8 \text{ Ah/día}}$$

Dividiendo la aportación de los módulos entre el consumo diario obtendremos la fracción o en su caso el número de días que pueden alimentar los módulos al analizador:

$$67.8 \text{ Ah/día} / 537.6 \text{ Ah/diarios} = \underline{0.126 \text{ días}}$$

convirtiendo este valor a número de horas:

$$1 \text{ día} = 24 \text{ horas}$$

$$0.126 \text{ días} = X$$

$$X = 3.026 \text{ horas}$$

Cálculo de la Batería.

Por no disponer de días de autonomía (en función de días nublados y riesgos de días sin sol, que pueden aumentar según la zona climatológica) sustituimos con el número 1, y con una descarga máxima del 50 % de su capacidad, se calculo el número de horas que podemos disponer con las baterías de la siguiente forma:

$$\text{Capacidad } C_{100} = (\text{consumo diario} \times 1 \text{ días} / 50) \times 100 = \text{Ah}$$

Suponemos como en el cálculo anterior, unas pérdidas de instalación del 12%, por lo que el consumo diario será entonces de 537.6Ah/día.

$$(537.6 \times 1 / 50) \times 100 = \underline{1075.2 \text{ Ah}}$$

La capacidad de las baterías FP 31-19 con que cuenta el Laboratorio de Calibración es de 110 Ah cada una (ver tabla III.6) por lo tanto:

$$110 \text{ Ah} \times 4 = 440 \text{ Ah}$$

El número de días o fracción de días que soportan las baterías es

$$440 \text{ Ah} / 1075.2 \text{ Ah} = 0.408 \text{ días}$$

convirtiendo este valor a número de horas:

$$1 \text{ día} = 24 \text{ horas}$$

$$0.408 \text{ días} = X$$

$X = 9.821 \text{ horas}$

- Ayudándonos ahora con el dimensionado preliminar de condomex

1.-Datos de entrada

Se requieren dos datos únicamente: la localización de la instalación y el consumo diario de energía (E_c).

$$E_c = P \times t \text{ (watts-hora)}$$

P : Potencia consumida por los equipos a alimentar (watts)

t : Tiempo diario (horas) que se operan los equipos.

2.-Cálculo del sistema solar.

◆ Arreglo Solar

$$M = \frac{E_C \times F_S}{I_m \times V_m \times H_{ps} \times \eta_{inv} \times \eta_{coul}}$$

Sustituyendo $E_c = P \times t$ en la ecuación anterior

$$M = \frac{P \times t \times F_S}{I_m \times V_m \times H_{ps} \times \eta_{inv} \times \eta_{coul}}$$

Despejando t

$$t = \frac{M \times I_m \times V_m \times H_{ps} \times \eta_{inv} \times \eta_{coul}}{P \times F_S}$$

Donde:

M = No. de módulos solares de 64 watts que se requieren

F_S = Factor de sobredimensionamiento del sistema. Típicamente se sobredimensiona 10% a 20 % (e.d. $F_S = 1.1$ a 1.2).

I_m = Corriente pico del modulo fotovoltaico. $I_m=3.66$ amp para el módulo MSX-64(tabla II.2).

V_m = Voltaje promedio de operación del módulo fotovoltaico una vez conectado al banco de baterías. Típicamente $V_m= 12.5$ volts

H_{ps} = Insolación de la localidad en el mes de menor insolación, expresada como el equivalente de horas diarias de máxima insolación (horas-pico). (Ver mapa de la figura I.5 para determinar este valor en la localidad considerada) que para este caso es en el D.F. de 400 ly. Considerando la inclinación del arreglo solar respecto a la horizontal (ver tablas IV.4 y IV.5).

η_{inv} = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en CA. Valores típicos: 0.8 y 0.9.

Si el equipo opera en CD el valor es 1

η_{coul} = Eficiencia de carga (coulombica) de la batería. Típicamente 0.9 a 0.95.

$$t = \frac{4 \times 3.66 \times 12.5 \times 4.63 \times 0.87 \times 0.9}{250 \times 1.1}$$

$$t = 2.412 \text{ hrs}$$

◆ Banco De Baterías

El banco de baterías se determina indicando el número de días que operara la batería a cero insolación, e.d. directamente del banco. Este valor se conoce como autonomía (Z).

$$C_B = \frac{Z \times E_C}{V_B \times f_U \times F_1 \times \eta_{inv}}$$

Sustituyendo $E_C = P \times t$ en la ecuación anterior

$$C_B = \frac{Z \times P \times t}{V_B \times f_U \times F_1 \times \eta_{inv}}$$

Despejando t:

$$t = \frac{C_B \times V_B \times f_U \times F_1 \times \eta_{inv}}{Z \times P}$$

Donde :

C_B = Capacidad del banco de baterías (amper-horas).

E_C = Energía consumida por los equipos alimentados (wats-hora).

Z = Autonomía deseada en el banco de baterías (días). Para este caso es de 1

V_B = Voltaje al cual trabajará el banco de baterías.

f_U = Factor de uso (fracción) de la capacidad total de la batería cuando se ha tomado la autonomía del sistema. Este factor toma también en cuenta la capacidad útil del banco utilizado al finalizar su vida útil.

$f_U = 0.5$ para baterías de placa delgada.

$f_U = 0.8$ para baterías de placa gruesa.

F_1 = Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga más lento que el especificado comercialmente.

Este valor varía desde 1.05 en baterías de placa delgada hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tabular.

η_{inv} = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en CA. Valores típicos: 0.8 y 0.9.

$$t = 1 \times 250 / 12 \times 0.5 \times 1.05 \times 0.87$$

$t = 9.646$

CAPITULO IV

Características de los componentes.

4.1 Componentes del diseño

Al proyectar la instalación de un sistema fotovoltaico, hay que tomar en cuenta algunas medidas que garanticen el perfecto funcionamiento de los paneles, al mismo tiempo que deben protegerse los elementos básicos para evitar su envejecimiento.

La composición de una fuente de alimentación por medio de energía solar es variable según el fin al que este destinado . En todos los casos, sin embargo existe una estructura compuesta de tres subsistemas:

- Arreglo de paneles (subsistema generador)
- Regulador y convertor (subsistema electrónico)
- Banco de baterías (subsistema acumulador)

que se distribuyen en la forma que se refleja en la figura IV.1 en función de si el consumo de energía eléctrica se realiza en continua o alterna y de si existe o no apoyo con otra red de alimentación.

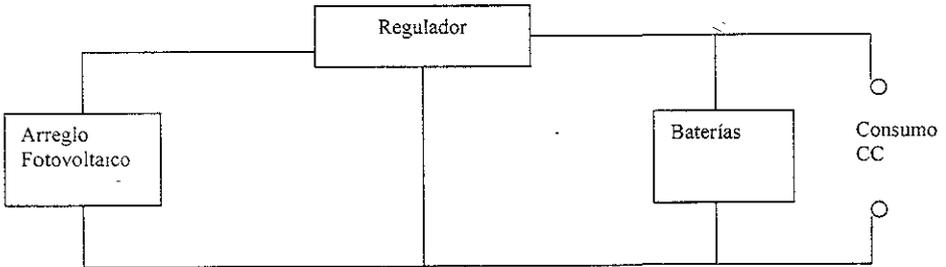


FIGURA IV.1a Consumo en corriente continua

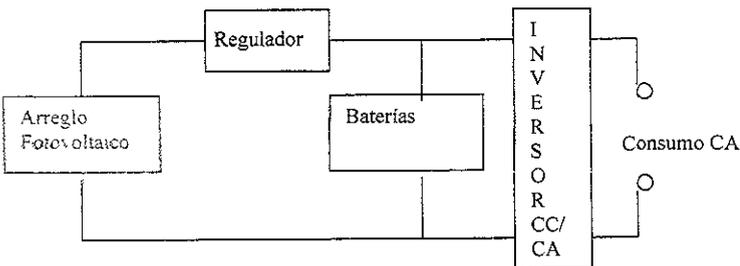


FIGURA IV.1b Consumo en corriente alterna

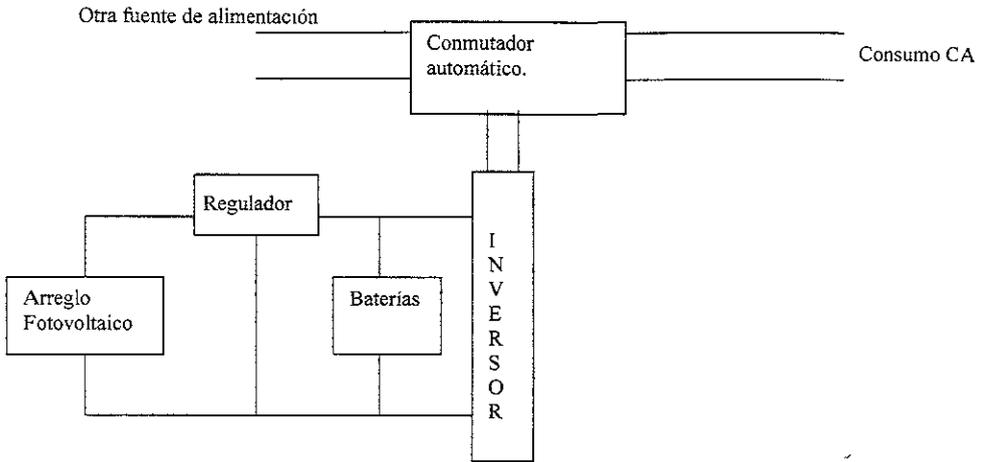


FIGURA IV.1c Consumo en corriente alterna con apoyo de otra fuente

Las partes fundamentales del sistema eléctrico solar de este trabajo son las siguientes:

- Paneles.
- Baterías.
- Controladores de carga.
- Inversor (porque la aplicación es de CA).
- Equipos de protección control y mando.
- Cables.
- Soportes (en el caso de que trabaje con otro tipo de fuente).

El esquema básico de un sistema de alimentación simple lo encontramos en la figura IV.2.

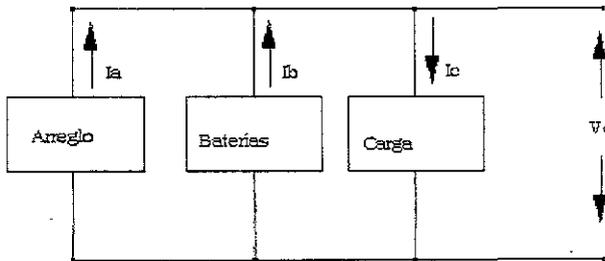


FIGURA IV.2 Sistema de alimentación simple

Por conveniencia, definimos como "positiva" la corriente que viene de las terminales de las baterías. Por la ley de Kirchoff, $I_c = I_a + I_b$, el buss de voltaje debe ajustarse por sí solo

Existe una solución para este caso, todas las corrientes de rama son conocidas. La solución gráfica de un sistema de alimentación simple esta ilustrada en las figuras siguientes. En el caso de carga de batería (figura IV.3b), la corriente disponible del arreglo, I_a , es más grande que la corriente de carga, I_c , y la magnitud de la corriente cargante de la batería es $|I_b| = I_a - I_c$. En el caso de descarga de la batería (figura IV.3a), la corriente disponible del arreglo, I_a es menor que la corriente requerida por la carga, I_c , requiriendo una corriente de las baterías de magnitud $|I_b| = I_c - I_a$.

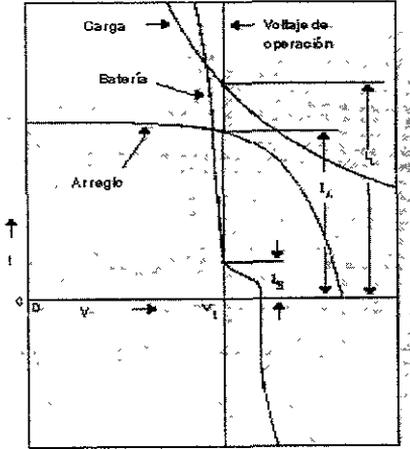


FIGURA IV.3a Descarga de la batería $I_L > I_A$

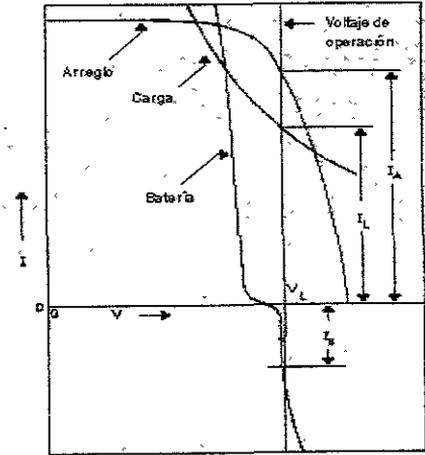


FIGURA IV.3b Carga de la batería $I_L < I_A$. En la conexión en paralelo del arreglo, baterías de almacenamiento y carga, la condición de $\Sigma I = 0$ debe ser cumplida en todos los casos.

El sistema esta compuesto por una fuente de energía eléctrica basado en 4 paneles fotovoltaicos, un banco de 4 baterías, 2 controladores de carga, un inversor que alimenta un analizador de SO₂ y un sistema de acondicionamiento de aire con un gabinete de protección térmica que forman parte de un proyecto aparte para brindar acondicionamiento de aire a los analizadores.

Principio de funcionamiento.- la energía eléctrica generada en los paneles fotovoltaicos en forma de CD se almacena en un banco de baterías gracias a varios controladores de carga, la salida de los controladores está conectada a un inversor que transforma la CD a corriente alterna (CA) de 127 volts, además un circuito de control desconecta la carga desde los 11.2 volts en la batería ya que en pruebas efectuadas con el analizador se observo que con el valor en las baterías de 11.2 éste ya no operaba correctamente.

Se tiene estimado que este sistema tiene una capacidad aproximada para alimentar a cualquier analizador durante 14 Hr. (4 Hr. con presencia del sol y 10 Hr de respaldo sin sol).

4.1.1 Acondicionamiento de Potencia

Se le llama acondicionamiento de potencia a los elementos que procesan la electricidad producida por un sistema fotovoltaico para hacerla apropiada a las demandas específicas de la carga. Esto se logra con varios equipos, la mayoría de estos son de un estándar típico, es sumamente importante ajustar las capacidades de estos dispositivos con la de la carga. Los acondicionadores de potencia deben desarrollar las siguientes funciones:

- Limitar la corriente y voltaje para maximizar la potencia de salida
- Convertir la potencia en CD en CA
- Ajustar la energía de CA convertida al patrón de una red eléctrica común
- Salvaguardar de algún daño al personal durante posibles reparaciones.

Existe una variedad de estos equipos para obtener las prestaciones adecuadas y óptimo rendimiento de la instalación que es su principal función (figura IV.4) como los siguientes:

- ⇒ Regulador de Carga
- ⇒ Inversor cd/ca
- ⇒ Arrancador automático
- ⇒ Protector automático (porbaja tensión)
- ⇒ Alarma de baterías descargadas
- ⇒ Diodos de bloqueo
- ⇒ Seguidor de máxima potencia, y en aquellas instalaciones que utilizan concentración dinámica, todo el conjunto necesario para realizar el seguimiento de la trayectoria del sol.

Si además, se desea tener información sobre el comportamiento de la instalación es necesario contar con equipos de medición de insolación y otros que reporten la energía eléctrica aportada por los paneles y por las baterías (medidores de Ah o Wh)

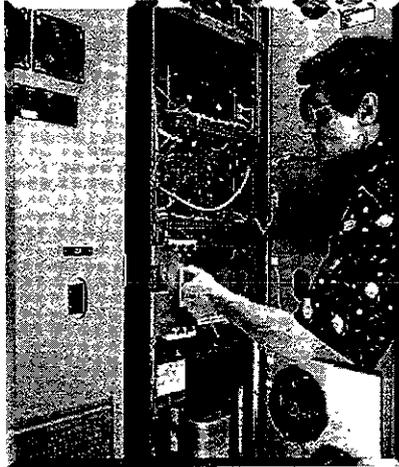


FIGURA IV.4 un inversor de gran capacidad

Los requerimientos de acondicionadores de potencia generalmente dependen del tipo de sistema al cual se integran y las aplicaciones del mismo. Para aplicaciones con CD, el acondicionamiento de potencia esta formado por reguladores, que controlan la salida a un nivel constante de voltaje y de corriente para maximizar la salida. Para cargas de CA, los acondicionadores de potencia deben formarse un inversor que convierta la corriente directa generada por el arreglo de paneles fotovoltaicos en corriente alterna como se muestra en la figura IV.4 con un inversor de 300 kW como parte de un sistema fotovoltaico autónomo.

La primera condición que debe de cumplir un sistema de aprovechamiento de energía solar es la de recoger la mayor cantidad de energía recibida en un determinado lugar. Esta condición exige que la superficie colectora sea, en todo momento, perpendicular a los rayos solares y, por tanto, una colección óptima sólo puede conseguirse si dicha superficie esta dotada de un movimiento de seguimiento de sol, que forma parte del acondicionamiento de Potencia.

Utilizando un panel con seguimiento, la energía total recibida en un día claro puede ser el orden de un 35 % mayor que para el mismo panel estático. Un incremento de esta cuantía compensaría sobradamente la energía requerida para el seguimiento.

Existen esquemas diferentes con dos tipos de control: los sistemas que utilizan fotosensores para obtener la señal de error de puntería y los que calculan la posición del sol en función de datos astronómicos, geográficos del lugar y la hora del día.

En el primer caso , el sensor suele estar constituido por pares de elementos fotosensibles (fotoresistencias, fototransistores, fotoceldas) montados de tal manera que proporcionan una salida nula cuando la orientación del panel coincida con la del sol y una señal negativa o positiva proporcional a la desviación, en caso de que no se de tal coincidencia.

En el caso de seguimiento por coordenadas calculadas, una forma de proceder puede consistir en un calculador (generalmente un micro o miniordenador) que tenga en memoria o calcule la posición instantánea del sol en la esfera celeste y, a partir de estos datos, los del día del año, hora local y las coordenadas geográficas del lugar calcule los ángulos de acimut y elevación del sol en cada momento.

Indudablemente la función más específica de un sistema de seguimiento es, la de lograr que el panel siga al sol en su movimiento pero hay otras funciones que también son necesarias para el buen funcionamiento de todo el sistema de captación de energía solar como son las de retorno nocturno, búsqueda del sol, parada por falta de luminosidad, parada por emergencia, posicionamiento de seguridad, etc. y que normalmente se integran en el sistema de seguimiento.

Sin embargo, en la práctica este aumento puede reducirse considerablemente para el caso de nublados frecuentes y en todas aquellas condiciones climatológicas en las que la relación entre la energía recibida por radiación directa y difusa tienda a disminuir. Esto hace que el seguimiento no sea una solución definitiva en pequeños sistemas fotovoltaicos sin concentrador.

Una facilidad adicional que pueden ofrecer los equipos de acondicionamiento de potencia es la de obligar al campo solar a que trabaje en el punto donde el producto V por I de los paneles, (figura IV 11) sea máximo.

La potencia suministrada por un campo solar depende del punto en el que trabaje o lo que es lo mismo, de la carga que se le conecte. Para cada nivel de radiación y temperatura existe un punto de funcionamiento óptimo en el cual se obtiene del campo solar la máxima potencia que es capaz de suministrar, acomodando la energía en corriente continua suministrada por el campo solar, que esta sometida a fluctuaciones debidas a los cambios de temperatura y radiación, a las necesidades, que en algunos casos, como el de las centrales eléctricas, son muy estrictas, este punto de funcionamiento se puede conseguir por diversos métodos y uno de ellos es variando la impedancia de carga del equipo de acondicionamiento de potencia.

4.2 Celdas Fotovoltaicas

Existen ciertos materiales que al absorber un determinado tipo de radiación electromagnética generan en su interior pares de cargas positivas y negativas. Si la radiación electromagnética es la solar y el material es un semiconductor tal como el silicio, Si, los pares de carga son electrones (e^-) y huecos (h^+) que una vez producidos se mueven aleatoriamente en el volumen del sólido. Si no hay ningún condicionante externo ni interno, las cargas de signos opuestos se recombinan neutralizándose mutuamente. Por el contrario, si mediante algún procedimiento se crea en el interior del material un campo eléctrico permanente, las cargas positivas y negativas serán separadas por él. Esta separación conduce al establecimiento de una diferencia de potencial entre dos zonas del material que, si son conectadas entre sí mediante un circuito externo al mismo tiempo que la radiación electromagnética incide sobre el material, darán origen a una corriente eléctrica que recorrerá el circuito externo. Este fenómeno se conoce como efecto fotovoltaico y es el fundamento en el que se basan las celdas fotovoltaicas.

4.2.1 Materiales para las celdas

- Las partes más importantes de una celda solar son las capas semiconductoras, porque es aquí donde la corriente de electrones se crea. Hay un gran número de materiales apropiados para fabricar estas capas semiconductoras, y cada una tiene ventajas y desventajas. Desgraciadamente no hay material ideal para todos los tipos de celdas y aplicaciones.

En adición a los materiales semiconductores, las celdas solares consisten de una rejilla metálica superior u otros contactos eléctricos para recoger los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa, y una capa de contacto trasero para completar el circuito. Además en la parte superior de la celda ya completa comúnmente hay una cubierta de cristal o algún tipo de encapsulante transparente para sellar la celda y mantenerla libre del clima, y una cubierta antireflectiva para evitar que la luz se regrese de la celda.

En cuanto al campo eléctrico separador, que es la parte activa del dispositivo, se puede crear en los semiconductores por presencia de una inhomogeneidad en el material. Si la inhomogeneidad se produce a nivel de impurezas se dirá que se trata de una homounión. y en caso de que se deba a constituyentes se tratará de una heterounión. La intensidad del campo eléctrico nos va a definir su capacidad de transformación, por lo que se sugieren campos altos.

Los parámetros a destacar son: Profundidad de difusión y concentración máxima de difusión.

En cuanto a los contactos colectores deberán ser ohmicos y con una resistencia de contacto baja, menor de 1Ω . Debido a que el contacto superior debe dejar pasar el máximo de radiación solar, se debe encontrar una formula de compromiso para determinar el número de dedos o dientes de la rejilla, teniendo en cuenta que la resistencia de contactos disminuye con el cuadrado del número de dedos.

Los parámetros a destacar son: R_s y espesor del metal.

En cuanto a la capa antireflectiva sabemos que los materiales semiconductores escogidos reflejan la radiación solar en un porcentaje para λ largas y en otro porcentaje mayor para las cortas. Esto se puede corregir empleando una capa de AR de espesor conveniente para que la reflectividad sea mínima para fotones correspondientes al máximo de intensidad del espectro solar (600 A).

En la figura IV.5 se ilustra una celda solar común, que consiste de una cubierta de cristal o algún otro encapsulante, una Capa anti reflectiva, un contacto superior que permite a los electrones entrar al circuito y un contacto trasero que les permite completar el circuito y las capas semiconductoras donde los electrones comienzan y terminan sus voltajes.

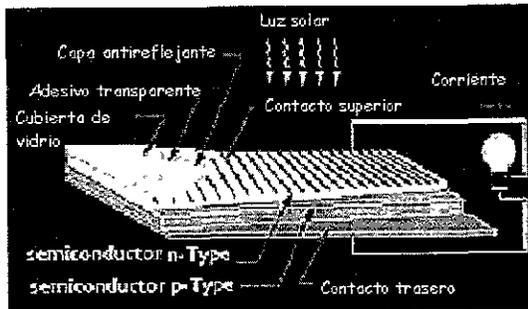


FIGURA IV.5 Estructura de una celda solar.

Para inducir un campo eléctrico dentro de una celda fotovoltaica, dos semiconductores separados son concentrados estrechamente juntos. Los semiconductores tipo "p" y "n" corresponden a "positivo" y "negativo" por su abundancia de huecos o electrones (los electrones extras hacen un tipo "n" porque los electrones de hecho son los que tienen una carga negativa).

Si bien ambos materiales son eléctricamente neutros, el silicio de tipo "n" tiene un exceso de electrones y el silicio tipo "p" tiene un exceso de huecos. Concentrando estos dos juntos se crea una juntura p/n en su interfaz, creando así un campo eléctrico.

Cuando los semiconductores tipo p y tipo n son concentrados juntamente, el exceso de electrones en el material tipo n fluye al tipo p, y de este modo los huecos vacantes durante este proceso fluyen al tipo n. (El concepto de un hueco moviéndose es algo como ver una burbuja en un líquido. Aunque es el líquido el que de hecho se está moviendo, es más fácil describir el movimiento de las burbujas que hacerlo en la otra forma.) A través de este flujo de electrones y huecos, los dos semiconductores actúan como una batería, creando un campo eléctrico en la superficie de la unión (conocida como “juntura”). Es este campo el que causa que los electrones brinquen del semiconductor hacia la superficie y los pone en disponibilidad del circuito eléctrico, (los conceptos de material tipo p y tipo n los observamos fácilmente en la figura IV.6). Al mismo tiempo, los huecos se mueven en la dirección opuesta, hacia la superficie positiva, donde esperan la llegada de electrones.

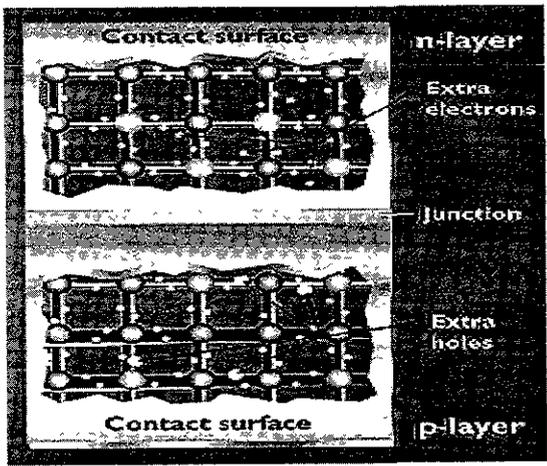


FIGURA IV.6 Material tipo p , tipo n y juntura

Como consecuencia, el átomo queda con carga positiva y atrae a un electrón de otro átomo de la segunda placa, que se desprende y se pasa a la primera, para ser absorbido. Así se provoca una diferencia de potencial, con relación a la segunda placa, comúnmente del orden de los 0.54 volts y 0.018 amp/cm². Es decir, cada célula puede suministrar una tensión de 0.5 volts a 18 mA/cm típicamente.

En la fabricación del silicio semicristalino (figura IV.7) existen una variedad métodos. El método mas comercial es el de vaciado en el que el silicio fundido es directamente vaciado en un molde y se le permite solidificarse en lingotes. Que pueden ser cortados en obleas para que el modulo sea más compacto dentro del modulo fotovoltaico los lingotes en forma de cuadrado no dejan espacio entre celdas y no desaprovechan

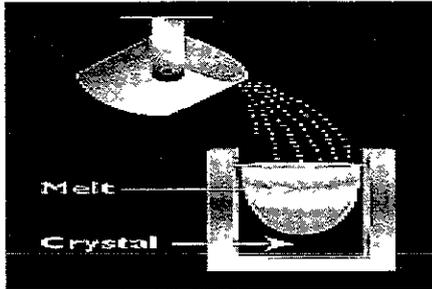


FIGURA IV.7 Fabricación de una celda

La forma más común de hacer del silicio un material tipo p o tipo n es añadiendo un elemento que tenga un electrón extra o una carencia de un electrón. En el silicio se utiliza un proceso llamado “dopado”.

Usaremos el ejemplo del silicio porque el silicio fue el material semiconductor usado con mayor éxito en los más recientes dispositivos fotovoltaicos y diseños que aprovechan el efecto fotovoltaico en pequeñas maneras diferentes, conociendo como trabaja el efecto fotovoltaico en silicio cristalino nos da un entendimiento básico de cómo trabajan estos dispositivos.

El proceso de dopado introduce un átomo de otro elemento dentro del cristal de silicio para alterar sus propiedades eléctricas. El donante tiene o tres o cinco electrones de valencia, en contraste con el silicio con cuatro.

Los átomos de fósforo, tienen cinco electrones de valencia, son usados en el dopado del silicio tipo n (porque el fósforo provee sus cinco electrones libres). Un átomo de fósforo ocupa el mismo lugar en la trama del cristal que era ocupado anteriormente por el átomo de silicio es reemplazado. Pero el quinto electrón de valencia se mantiene libre, sin responsabilidades de enlace. Cuando se sustituyen un gran número de electrones de fósforo en un cristal de silicio, se tienen disponibles muchos electrones (figura IV.8).

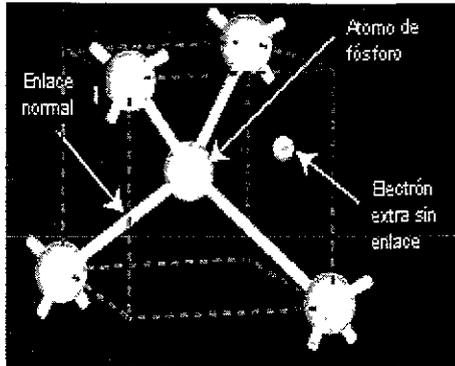


FIGURA IV.8 Sustituyendo un átomo de silicio (con cinco electrones de valencia) por uno de fósforo en un cristal de silicio deja un electrón extra, sin enlazar que es relativamente libre de moverse alrededor del cristal.

El método más común de dopado es cubrir la parte superior de una capa de silicio con fósforo y suministrarle calor en la superficie. Esto permite a los átomos de fósforo esparcirse dentro del silicio. Después la temperatura se baja hasta que la razón de esparcimiento cae a cero. Otros métodos de introducir el fósforo dentro del silicio incluyen difusión gaseosa, un proceso de donador líquido en spray, y una técnica en la cual iones de fósforo son conducidos precisamente hacia dentro de la superficie del silicio.

Por supuesto que el silicio tipo n no puede formar el campo eléctrico por si mismo; es necesario tener parte del silicio alterado para tener las propiedades eléctricas opuestas. Por lo que el Boro, que tiene tres electrones de valencia, es usado en el dopado del silicio tipo p. El Boro se introduce durante el proceso del silicio donde el silicio es purificado para uso en los sistemas PV. Cuando un átomo de Boro obtiene una posición en la trama del cristal anteriormente ocupado por un átomo de silicio existe un enlace con electrón faltante, en otras palabras un hueco extra (figura IV.9).

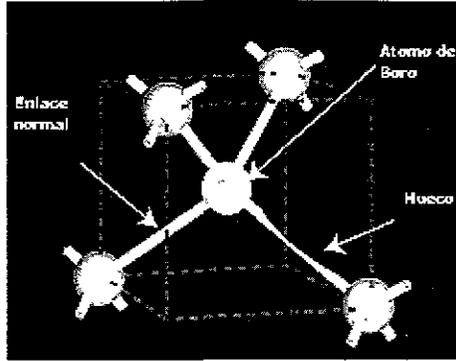


FIGURA IV.9Al sustituir un átomo de Boro (con tres electrones de valencia) por uno de silicio en un cristal de silicio se deja un hueco (con un enlace con electrón faltante) que queda relativamente libre de moverse alrededor del cristal.

En un cristal simple de silicio, la estructura molecular del material es uniforme porque la estructura completa crece del mismo cristal "simple". Esta uniformidad es ideal para la eficiente transferencia de electrones a través del material. Para hacer una celda fotovoltaica efectiva, el silicio es "dopado para transformarlo en un tipo n o tipo p. El silicio semicristalino, por otra parte, consiste de pequeños cristales o "granos" que introducen "bordes". Estos bordes impiden el flujo de electrones y los lleva a recombinarse con los huecos y de este modo se reduce la potencia de salida de la celda. Sin embargo el silicio semicristalino es más barato de producir que el silicio de cristal simple, por lo que los investigadores trabajan en otras formas de minimizar el efecto de los bordes de los granos.

En estos momentos, los programas de investigación se centran en tres líneas principales: silicio mono y policristalino (en la que más acento se ha puesto hasta ahora); silicio amorfo; y otros materiales semiconductores.

Otros materiales semiconductores

Como el silicio, todos los materiales para PV deben ser transformados a configuraciones de tipo n y de tipo p para crear el campo eléctrico necesario que caracteriza una celda fotovoltaica. Pero esto se consigue de diferentes maneras, dependiendo de las características del material. Por ejemplo, la estructura única del silicio amorfo hace una capa intrínseca (o capa i) necesaria. Esta capa sin dopar de silicio amorfo se ubica entre la de tipo n y la de tipo p para formar el nombrado diseño "p-i-n".

Las delgadas películas policristalinas como el diselenio de indio cúprico ($CuInSe_2$) y telurio de Cadmio ($CdTe$) ofrecen una gran promesa para las celdas fotovoltaicas. Pero estos materiales no pueden ser dopados tan fácilmente para formar las capas n y p. En vez de eso, se usan capas, o diferentes materiales para formar esas capas. Por ejemplo, se usa

una “ventana” de sulfuro de cadmio o material similar para proveer los electrones extra necesarios para hacer un tipo n. El CuInSe2 puede por sí mismo ser transformado a tipo p, de este modo el CdTe aprovecha una capa tipo p hecha de un material como el telurio de Zinc (ZnTe).

El arsénico de Galio (GaAs) es modificado similarmente, usualmente con Indio, fósforo, o aluminio, para producir un amplio rango de materiales tipo n y tipo p.

4.2.2 Modelos de las celdas fotovoltaicas

Una celda fotovoltaica se puede modelar de la siguiente manera:

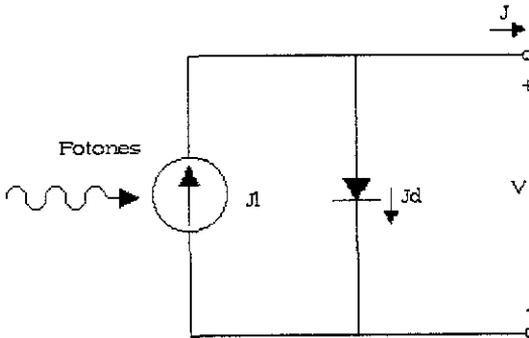


FIGURA IV.10a Representación de una celda

De este circuito se obtiene la ecuación:

$$J = J_L - J_D$$

donde $J_D = J_0 (\exp eV/kt - 1)$
 por lo que $J = J_L - J_0 (\exp eV/kt - 1)$(1)

En el circuito de la figura IV.10a ,la fuente de corriente produce una corriente de magnitud J_L igual al “nivel de inyección” (intensidad de luz),mientras que la curva de la celda I-V (o J-V) esta definida por el valor de J_L y la corriente J_D que fluye internamente a través de la juntura semiconductor ideal de la celda a una temperatura, T, y un voltaje terminal, V.

La observación de las características de las terminales de las celdas solares bajo una variedad de condiciones de prueba han llevado la inclusión de los siguientes parámetros : A , R_S , y R_{SH} ; por lo que la ecuación de la celda solar queda como sigue:

$$I = I_L - I_0 \{ \exp[e(V + I R_S) / AkT] - 1 \} - V / R_{SH} \dots\dots\dots (2)$$

Y la celda se puede modelar por el circuito siguiente:

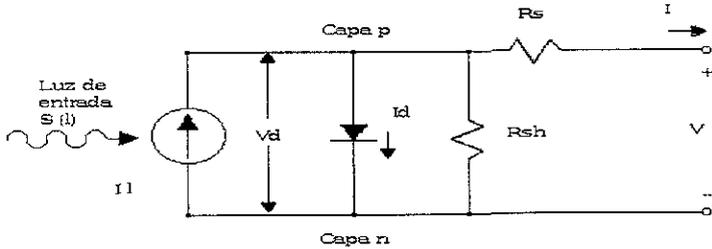


FIGURA IV.10b Circuito modelo de una celda en CD

Los símbolos se definen como sigue:

- A = una curva constante arbitraria entre 1 y 5.
- R_S = resistencia de la celda en serie
- I = corriente de salida de la celda
- I_L = corriente generada por la luz
- I_0 = corriente de saturación del diodo
- E = carga de un electrón
- V = Voltaje terminal de la celda
- K = constante de boltzmann
- T = temperatura absoluta.

El modelo de la figura IV.10b tiene algunas pequeñas desviaciones de las características de las celdas solares debido a la dificultad de medir la resistencia serie en todas las celdas disponibles comúnmente para todos los rangos de temperatura, intensidad de iluminación, y daños por radiación, sin embargo ha sido ampliamente usado para celdas solares y análisis de arreglos.

El termino de “ $(V + I R_S)$ ” en la ecuación (2) es conocido en ocasiones como “ $(V - I R_S)$ ”. Este termino representa el voltaje del diodo V_D dentro de la celda solar. La magnitud de este voltaje de diodo es mayor que el voltaje en las terminales V cuando la potencia se entrega a una carga externa. Si fluye una corriente positiva será definida en dirección contraria que la de la figura, el signo sería el inverso quedando como $V_D = (V - I R_S)$.

La siguiente curva nos muestra que la máxima aportación se obtiene cuando el rectángulo V_{mp} e I_{mp} ocupa el área más grande.

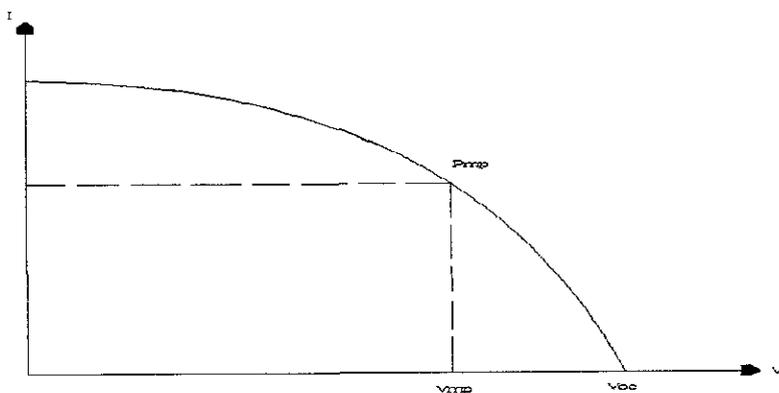


FIGURA IV.11 Curva (I-V) del circuito equivalente de una celda solar de CD.

4.2.3 Consideraciones al instalar un panel fotovoltaico.

Dependiendo del uso, un panel puede requerir un diodo de bloqueo para prevenir la descarga de la batería durante los periodos de oscuridad, evitando que la corriente fluya hacia el panel porque en la noche se comporta como una carga.

Cuando se conectan dos o más paneles en serie, se aconseja conectar diodos de bypass en paralelo cada 18 celdas (dos diodos por modulo). Esto protege el arreglo de daños debido a sombras parciales. Una sombra parcial es cuando el o los módulos no se encuentran totalmente iluminados debido a una sombra y que puede causar pérdidas y sobrecalentamiento. Cuando se trabaja con voltajes mayores de 24 VCD, cada panel requiere un diodo de bypass de acuerdo al rango o de 6A. El diodo proveerá de protección a la línea de 18 celdas.

Cuando se conectan varios paneles en paralelo, se recomienda conectar un diodo de bloqueo en cada línea en serie con los paneles. Esto previene que líneas parcialmente iluminadas conectadas en paralelo absorban corriente de cadenas iluminadas totalmente de la conexión paralelo, que pueden reducir la salida del arreglo y dañar el modulo.

En la figura IV.12 podemos ver que el diodo de bloqueo evita que fluya corriente en sentido inverso entre dos paneles con diferente nivel de voltaje (por ejemplo en el caso de que uno de ellos este parcialmente iluminado) o cuando los paneles no aportan corriente a las baterías (en las noches por ejemplo) este diodo no permite que un regreso de corriente de la batería a los paneles. Los diodos de bypass a su vez evitan que cuando una celda no aporta corriente (por ejemplo en el caso de que una de ellas este parcialmente iluminada) la corriente fluya a través de la otra provocando pérdidas y calentamiento sino que fluye a través del diodo de bypass de la celda que no aporta corriente.

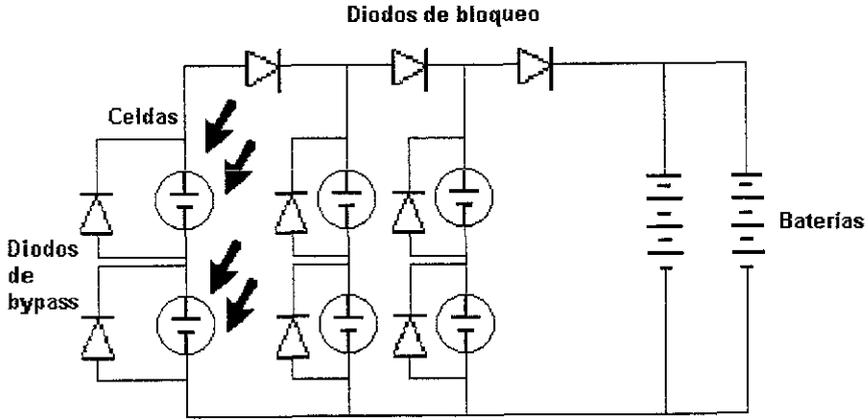


FIGURA IV.12 La colocación de los diodos de bloqueo y de bypass

El modulo MSX-64W, marca Solarex viene de fábrica para una operación de 12 volts con su conexión interna en serie como se muestra en la figura IV.13A. Puede ser recableado para una operación a 6 volts en campo como se muestra en la figura IV.13B

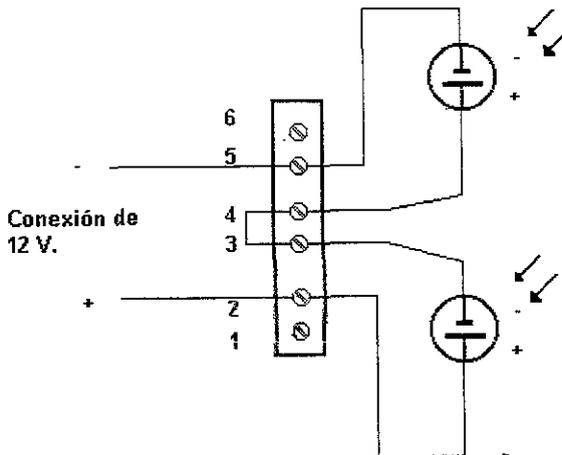


FIGURA IV 13a Conexión de dos celdas en serie dentro del módulo para obtener 12 V

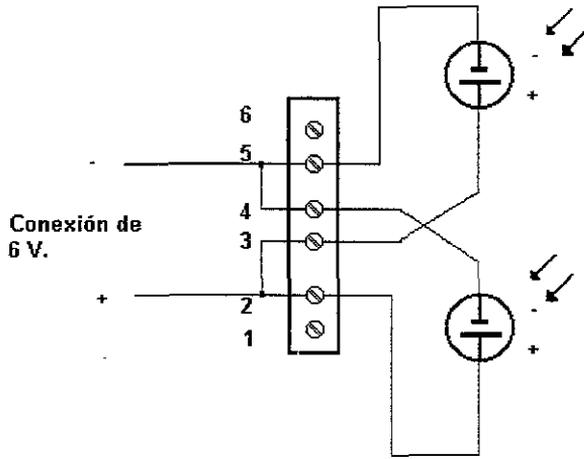


FIGURA IV.13b Conexión de dos celdas en paralelo dentro del módulo para obtener 6 V

El módulo fotovoltaico genera corriente directa cuando se expone a la luz del sol o alguna otra fuente de luz. Aunque los paneles sencillos producen bajos niveles de voltaje y corriente, el riesgo de un choque eléctrico y quemaduras es probable, al tener contacto con el módulo de salida en donde se realiza el cableado. Estos riesgos aumentan cuando se multiplica el número de paneles conectados juntos para proveer mayores niveles de voltaje o de corriente en un sistema.

Los paneles generadores de voltaje no tienen que conectarse para generar electricidad (es decir para alimentar directamente una carga). Aunque producen electricidad en presencia de luz al no estar conectados a una carga, la superficie frontal del módulo debe estar cubierta por una cubierta opaca y solo debe descubrirse después de realizar las conexiones con otros paneles y componentes del sistema.

Cuando se instalan los paneles fotovoltaicos, se debe cumplir con las especificaciones de los códigos específicos que tienen los gobiernos en el uso e instalación de éstos paneles en paredes exteriores, botes o vehículos automotores y por tanto.

National Electrical Code (NEC) dirige la instalación de dispositivos fotovoltaicos y puede ser consultada para recomendaciones, especialmente en la instalación de sistemas con múltiples paneles.

Al realizar las conexiones es necesario satisfacer las condiciones de Underwriters Laboratories (UL) que clasifican al panel MSX-64, marca solarex, como de clase C en el rango de prevención de incendios. Estos mismos laboratorios marcan que al instalar un sistema se debe proteger el panel y el cableado del arreglo de las interconexiones. El cableado debe también ser colocado en un conduit que sea resistente a la luz del sol con

forme al artículo 351 de la National Electric Code (NEC), o un cableado a través de conductor de cobre trenzado sencillo tipo UF resistente al calor.

Como parte del mantenimiento preventivo inspeccione el panel dos veces al año completamente. Asegúrese que las conexiones de la carga y/o baterías estén bien sujetas y libres de conexión.

Dentro de la limpieza es necesario usar guantes para protegerse de un posible shock eléctrico en la acumulación de polvo en la superficie frontal del panel puede reducir la energía colectada por el panel, disminuyendo la salida de potencia.

Si los paneles no son limpiados regularmente se recomienda que no sean montados en un ángulo menor de 15°, ángulos menores no aprovechan la ventaja de la acción limpiadora de la lluvia.

La limpieza se realiza con tela limpia y suave o esponja y usando agua con un detergente suave sin tallar o cepillar por que esto puede dañar la superficie frontal del panel.

Dentro de las recomendaciones y transporte es necesario que no sufra impactos ni en el frente ni en la parte trasera que no este sujeto a cargas mecánicas, tensiones o deflecciones que puedan deformar su estructura no se debe de tratar de desensamblar el panel o alguna de sus celdas ni concentrar la luz con propósito de incrementar su salida, teniendo cuidado de dejar el panel libre de sombras en todas las estaciones y principalmente en el medio día.

De igual modo dependiendo su uso, un panel puede requerir un diodo de bloqueo, que previene la descarga de la batería, durante periodos de obscuridad o un regulador de carga de baterías, que previene que el almacenamiento de baterías llegue a ser excesivo y sobre cargado lo cual cause la destrucción de las baterías. Para elegir un diodo de bloqueo y un regulador de carga en aplicaciones que requieren regulación de carga podemos basarnos en la tabla IV.1:

		¿Esta conectado el panel de noche?	
		SÍ	NO
¿ la corriente dentro de la Batería excede la corriente que cede Diariamente?	SÍ	Controlador	Controlador
	NO	Diodo de bloqueo	No requiere regulación

TABLA IV.1 para elegir si es necesario un controlador de carga

4.2.4 Características eléctricas de acuerdo al fabricante:

La variación espectral mencionada en el capítulo I queda absorbida en las características que de los paneles fotovoltaicos proporcionan sus fabricantes, quienes, generalmente dan como datos valores de corriente en corto circuito y tensión en circuito abierto para una insolación de 1000 W/M² (de radiación solar perpendicular a la superficie de la Tierra).

En la primera parte de la tabla IV.2 se muestran las características eléctricas del módulo MSX-64 con rango dentro del 10% de valores medidos en condiciones estándar de prueba de 1000W/M², 25°C de temperatura en la celda, y una radiación solar de 892 ASTME 892.

PANEL MSX-64	MÁXIMA POTENCIA (W _M)(watts)	VOLTAJE A CIRCUITO ABIERTO (V _{OC}) [volts]	CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (I _{sc}) [amp]	VOLTAJE EN LA CARGA (V _M)[volts]	CORRIENTE EN LA CARGA (I _M)[amp]
	64	21.3	4	17.5	3.66
	AREA UNITARIA (M ²)	PESO UNITARIO (KG)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTO (mm)
	0.554	7.8	1105	501.6	50

TABLA IV.2 Valores de Corriente en cortocircuito (I_{sc}), Tensión en circuito abierto (V_{oc}), Corriente en el punto de máxima potencia (I_m), Tensión en el punto de máxima potencia (V_m), Potencia máxima (W_m), Area unitaria (M²), peso unitario (KG), largo (mm) ancho (mm) y alto(mm).

Los datos eléctricos pueden variar en condiciones ordinarias pudiéndose incrementar el voltaje o la corriente, por lo tanto, es necesario considerar un factor de 1.25, al determinar las variaciones de voltaje, las capacidades del conductor, el tamaño de los fusibles y de los controles conectados al panel de salida

Cuando se instalan paneles fotovoltaicos, es importante que estén dirigidos al sol directamente para que generen la máxima potencia. La posición que debe arreglarse para que en el curso del año se maximice la producción anual de energía es de cara al sur (para el hemisferio norte). Note que estas orientaciones son las verdaderas y no las magnéticas del norte y sur. En las instalaciones complejas se ajustan los paneles según la estación del año sin importar el costo del acondicionador de potencia así Por ejemplo en el verano se ajustan los paneles a un ángulo menor al recomendado y a un ángulo mayor en invierno para aumentar su desarrollo, de no ser el caso se puede usar la recomendación de la tabla IV.3.

Latitud del sitio	Ángulo de inclinación
0-4°	10°
5-20°	Añada 5° a la latitud local
21-45°	Añada 10° a la latitud local
46-65°	Añada 15° a la latitud local
66-75°	80°

TABLA IV.3 Recomendación para el ángulo de inclinación

La latitud en México varía de la siguiente forma:

Zona	Latitud
Zona Sur	15°
Zona Centro	20°
Zona Norte	30°

TABLA IV.4 Latitudes de la República mexicana según la Zona

4.3 Baterías

La Batería es el elemento destinado al almacenamiento de la corriente producida por los módulos fotovoltaicos. Debe disponerse en un lugar ventilado, cerca de la instalación, preservada de inclemencias meteorológicas y protegida de temperaturas extremas. Una vez desconectados sus bornes, deben cubrirse con vaselina para evitar la oxidación. Se debe evitar encender fuego cerca de la batería, ya que desprende hidrogeno y podría provocar una explosión.

En la mayoría de las aplicaciones de los paneles fotovoltaicos es imprescindible la utilización de algún sistema de acumulación de energía eléctrica. Las funciones de una batería se resumen en lo siguiente:

- a) Suministro de energía en horas de no insolación o en épocas de menor insolación (invierno).
- b) Garantizar una autonomía en días nublados.
- c) Garantizar, en conjunción con el regulador, una tensión de funcionamiento de la instalación bien definida.
- d) Suministrar energía a aparatos de elevada potencia y corto período de utilización por ejemplo en instalaciones cuya potencia es superior a la pico de los paneles fotovoltaicos ya que las baterías pueden ser descargadas en un amplio margen de intensidades sin ser dañados.

Es necesario que un batería tenga las siguientes características de comportamiento:

- Permitir alcanzar un bajo estado de carga mínima en el ciclado anual
- Resistir ciclados diarios de cierta profundidad
- No sufrir deterioros irreversibles por permanencias prolongadas en estados de baja carga
- Alto rendimiento en procesos de carga y descarga para diferentes estados de carga de la batería
- Aumentos importantes de capacidad al hacer más lenta su descarga.
- Baja autodescarga (que tiene lugar cuando la batería esta en circuito abierto).
- Mínimo mantenimiento
- Larga vida y mínimo costo.

Con respecto al estado parcial de carga durante tiempos prolongados, las baterías de arranque, estacionarias o de tracción están diseñadas para ser recargadas una vez que se han cedido total o parcialmente su capacidad. Este no es el caso del acumulador solar, que en los periodos de invierno debe permanecer parcialmente cargado y restablecer su capacidad en los periodos de mayor insolación.

En relación al ciclado diario estas baterías sufren un ciclado diario mas o menos marcado. Según sea la descarga para que el acumulador no sufra pérdidas de características, será mayor o menor la acumulación total necesaria. El tipo de ciclado se define más adelante en 4.3.1

Las baterías fotovoltaicas tienen además un aumento de capacidad a bajos regímenes de descarga en comparación con las habituales de arranque, de tracción o estacionarios.

En tanto que los acumuladores de arranque están diseñados para descargas a altas intensidades en cortos periodos de tiempo y los de tracción descargan la casi totalidad de su capacidad en una jornada de 8 horas, los acumuladores solares se descargan diariamente a intensidades tales que cederían su capacidad en periodos largos, a veces superiores a cien horas.

Esta capacidad no es un valor absoluto y hay que referenciarla a un determinado régimen de descarga y una determinada tensión final de corte. Cuanto mayor es la intensidad de la descarga antes se alcanzara la tensión final y por tanto menor es su capacidad. La perdida de tensión se debe al aumento de resistencia en las placas y el agotamiento del electrolito retenido entre ellas. Cuando se disminuye la intensidad de descarga, la difusión del electrolito permite ir manteniendo más tiempo una determinada concentración del mismo en el interior de la placa con lo cual se obtiene una mayor capacidad.

Las baterías de arranque por ejemplo están especialmente diseñadas para obtener la máxima capacidad a altas intensidades de corriente en cortos periodos de tiempo. Los valores tan elevados obligan a disminuir al máximo la resistencia interna para lo cual se necesita una distancia lo más pequeña posible entre placas. Al mismo tiempo la reserva total de electrolito es pequeña debido a la necesidad de un gran rendimiento por unidad de volumen y peso. Todo lo anterior implica que estos acumuladores tienen un menor aumento de la capacidad en bajos regímenes (por agotamiento del electrolito), mientras que las fotoeléctricas tienen una gran reserva de electrolito que les permite un mínimo mantenimiento , una reducción de gasificación y se descargan diariamente a intensidades tales que, como ya se menciono, cederían su capacidad total en periodos largos

Estas baterías tienen una baja autodescarga, que ocurre cuando la batería esta en circuito abierto, lo que ayuda a no sobredimensionar la acumulación total.

Suele llamarse sistema fotovoltaico al conjunto de elementos, debidamente acoplados, que permiten utilizar la energía eléctrica obtenida por conversión de la solar mediante las celdas solares. La estructura de un sistema es variable según la aplicación a la que está destinado, aunque algunos elementos tienen que estar presentes necesariamente. Para fines prácticos, podemos decir que hay dos grandes grupos de sistemas: los autónomos, que constituyen una fuente de energía eléctrica independiente de la red general de electricidad y que por lo tanto precisan de algún sistema de almacenamiento de energía eléctrica; y los no autónomos, que operan en conjunto con dicha red y que pueden prescindir del sistema de almacenamiento.

La conexión a redes del sistemas fotovoltaico, excluye la necesidad de acumulación. En la actualidad, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos están instalados en lugares alejados de los tendidos de la red y, precisamente, para suplir su falta. Así que la conexión queda automáticamente excluida y aparece la necesidad de acumulación. (Térmica, mecánica, eléctrica, electroquímica).

4.3.1 Los sistemas con baterías

Los sistemas fotovoltaicos autónomos se componen de tres subsistemas: el panel fotovoltaico, donde la energía solar se convierte en corriente continua, el regulador-conversor electrónico y el subsistema de almacenamiento, que generalmente son baterías electroquímicas. El acoplamiento de estos tres subsistemas se hace en función del tipo de consumo que vaya a satisfacer el sistema fotovoltaico.

Los sistemas con baterías funcionan conectando los paneles fotovoltaicos a baterías, y después, a la carga. Durante las horas de insolación, los paneles cargan la batería. La batería alimenta la carga cuando sea que se necesite (figura IV.14)

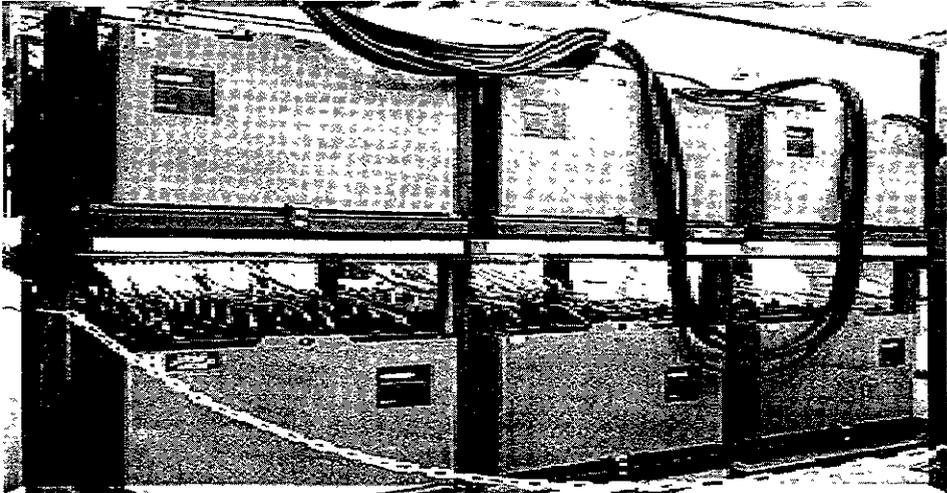


FIGURA IV.14 Un banco de baterías que almacena electricidad de CD para un sistema fotovoltaico grande.

Las baterías hacen de los sistemas fotovoltaicos más apropiados para más situaciones pero también requieren de cierto mantenimiento. Las baterías usadas en sistemas fotovoltaicos son muy similares a las de los autos, pero se construyen algo diferente para permitir que más de su energía almacenada pueda ser usada diariamente (se dice que son de "ciclado profundo"). Las baterías diseñadas para proyectos fotovoltaicos requieren el mismo cuidado y precaución en el manejo que las automotrices. El fluido en las baterías no selladas debe ser chequeado periódicamente y protegidas de temperaturas extremadamente bajas.

Un sistema de generación solar con baterías provee electricidad cuando es necesario. La energía que puede ser usada después del ocaso o en días nublados está determinado por la salida de los paneles fotovoltaicos y la naturaleza del banco de baterías. Al incluir baterías y paneles incrementamos el costo, por lo que el consumo de energía debe ser cuidadosamente estudiado para el tamaño óptimo del sistema. Un sistema bien diseñado balancea el costo y la conveniencia de ajustar a las necesidades del usuario, y pueden modificarse según las necesidades del usuario.

En muchos sistemas fotovoltaicos, la energía no es usada tal como se va produciendo, y puede ser requerida en la noche o en días nublados. Si la conmutación a una línea de AC de una red no es una opción, será necesario un sistema de banco de baterías. La desventaja de las baterías es que disminuye la eficiencia del sistema fotovoltaico, porque sólo el 80% de la energía canalizada hacia ellas puede ser demandada. También incrementan el costo del sistema completo y tienen que ser cambiadas cada 10 años aproximadamente. Ocupan un espacio considerable de área, requieren ciertas medidas de seguridad, y algunas de ellas necesitan mantenimiento periódico.

El banco de baterías deberá tener un buen comportamiento frente a los ciclos de carga - descarga y por otra parte deben tener una larga duración. Otras características son mínimo mantenimiento, buena aceptación de corriente, mínima autodescarga y alta fiabilidad en algunas circunstancias estas baterías deben tener una construcción adecuada para soportar duras condiciones ambientales (Polvo, niebla salina, temperaturas extremas, etc...)

En cuanto a factores de diseño el elemento deberá tener una buena reserva de electrolito con lo que se reducirá el mantenimiento y se evitara que en las descargas profundas sea la agitación del electrolito la que limite la capacidad de la batería.

La capacidad de la batería depende de numerosos factores, algunos son de diseño: espesor de placas, materiales activos, volumen y densidad del electrolito, etc... y otros son externos como son la temperatura (figura IV.22), las tensiones de corte y la velocidad de descarga. La vida de la batería también está influenciada por muchas variables: número y tipo de los ciclos de carga y descarga, intensidad de sobrecarga y tiempo de permanencia de la batería en baja carga, entre otras.

La tensión de carga influye de una forma importante en la vida de la batería. La elección de la tensión de carga hay que hacerla teniendo en cuenta la relación existente entre la energía suministrada por las células solares y el consumo de la instalación. En aquellos

casos en los que el balance de energía sea tal que la batería este largos periodos en estados de carga parcial, la tensión de carga deberá de ser elevada, de esta manera el rendimiento de carga será máximo, los efectos detrimentales de un excesivo gaseo y de la corrosión en sobrecargar serán mínimos en este caso, ya que estos ocurren cuando la batería esta totalmente cargado.

Cuando la aplicación requiere que la batería este la mayor parte del tiempo cargado (por ejemplo, sistemas de alarma o emergencia), la tensión de carga, mas propiamente llamada en este caso llamada tensión de flotación, debe ser ligeramente superior a la tensión de equilibrio y por tanto notablemente inferior a la tensión de gasificación. La pequeña intensidad que pasa a través de la batería en este caso tiene la función de compensar la perdida de capacidad producida por acción local o autodescarga.

El rendimiento de carga es menor cuanto más baja esta la temperatura del electrolito, por esta razón las tensiones de carga deben variarse en razón inversa con la temperatura

Una de las causas que mas limitan la vida de una batería solar es el número de ciclos de carga – descarga se producen tensiones en el material activo debido al diferente volumen de los materiales que entran en juego (figura IV.20). Cuanto mayor es la profundidad de la descarga mayor será la cantidad de materia activa que se transforma y las tensiones originadas pueden dar lugar al desprendimiento de material activo, además de la perdida de capacidad que esto lleva consigo, en el momento en que los depósitos de lodo se llenen, se producirán corto circuitos entre placas quedando el elemento inutilizado.

Ciclado diario

Durante los ciclos carga – descarga tiene lugar el desprendimiento del material activo de las placas. Este únicamente tiene importancia en la positiva es debido a que se producen contracciones y dilataciones de los cristales de óxido de plomo que se crean en la carga y de sulfato de plomo que se originan en la descarga. El problema, lógicamente, se acentúa cuando mayor es la profundidad de la descarga diaria.

Las baterías de placa tubular (blindada), donde el material activo esta sujeto por unas vainas o fundas de un tejido de fibras sintéticas, tienen una mayor resistencias a los ciclos profundos que las baterías con placa convencional (plana). La placa tubular se emplea, principalmente, en baterías industriales de tracción, mientras que la placa plana es la que se instala en las baterías de arranque. Las baterías de tracción deben soportar 1500 ciclos con una profundidad del 80% mientras que la batería de arranque únicamente soporta 250 ciclos con una profundidad del 60%

Según sea la misión la batería a utilizar se puede presentar un ciclado de la siguiente forma:

1. ciclado diario superficial.
2. ciclado anual.
3. ciclado diario profundo.

Ciclado diario superficial

Este modo de funcionamiento es el más suave para la batería, ya que su misión consiste en abastecer el consumo diario en horas de no insolación y garantizar un número de días de autonomía. La batería debe cargarse totalmente antes de la puesta de sol y mantener ese comportamiento a lo largo de todo el año. Únicamente en los días nublados la batería se descarga hasta un límite que debe ser indicado por el fabricante de baterías, para después cargarse totalmente en unos pocos días tras el periodo nublado. Para que se cumplan estas condiciones es necesario que el panel suministre energía suficiente para abastecer el consumo en los meses de menor insolación (invierno). En estas circunstancias el panel suministra a lo largo del año mucha más energía que la exigida por la demanda de consumo.

Ciclado anual

Este modo de funcionamiento implica que la batería 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, la batería en las condiciones mínimas de carga del ciclo anual debe garantizar, como en el caso anterior, unos días de autonomía pasados los cuales su capacidad final no debe ser inferior a un valor prefijado por el fabricante. En este caso las condiciones de funcionamiento de la batería son duras ya que debe permanecer un periodo de tiempo, más o menos largo, en condiciones de baja carga.

De esta forma el número de paneles solares necesarios es menor que en el caso anterior para las mismas condiciones de instalación. La capacidad necesaria de acumulación será mayor que en el caso anterior. Este sistema implica un mayor aprovechamiento de la energía anual que suministra el arreglo que el conseguido en el caso anterior.

Ciclado diario profundo.

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 solo puede emplearse como un sistema de ahorro de otro tipo de energía disponible.

La seguridad del funcionamiento del sistema global no depende, como en los dos casos anteriores de la batería, sino de la 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 la acumulación basándose en poder realizar ciclados diarios del 50-80% de la capacidad nominal aunque la vida de la batería sea menor.

En este tipo de instalación la energía que suministra el panel es aprovechada al máximo al contrario de los dos casos anteriores.

Por todo lo anterior, debe elegirse cuidadosamente la relación existente entre la capacidad de la batería y la sollicitación de energía diaria al batería en función de la esperanza de vida de la instalación.

Hay que considerar, según el tipo de batería, su descarga máxima reversible, tasas de autodescarga, niveles de tensión (para ajuste del controlador..) en carga y flotación etc..; así como otros factores, normalmente no cuantificados en las especificaciones, tales como tiempo máximo de permanencia en bajo estado de carga, temperatura del local, etc.. que influyen claramente en la duración de la batería. Las características del fabricante las podemos ver en el capítulo 4.3.2 y 4.3.3

La capacidad que puede suministrar una batería esta fuertemente influenciada por la magnitud de descarga. Los mecanismos que controlan la capacidad son diferentes según se realice a altos o bajos regímenes.

En las figuras IV.15, IV.16 y IV.17 se pone patente la importante influencia del régimen de descarga sobre la capacidad; por ejemplo, la capacidad se hace más del doble al pasar de 10 a 600 horas.

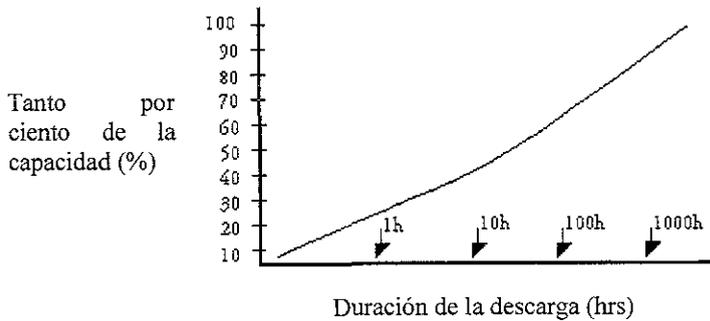


FIGURA IV.15 Variación de la capacidad de una batería en función de la descarga.

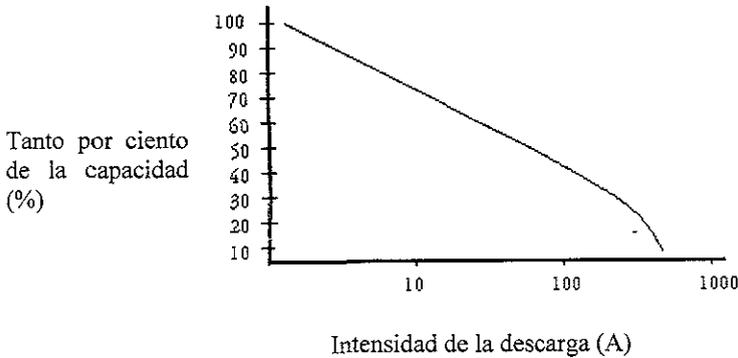


FIGURA IV.16 Variación de la capacidad de una batería en función de la intensidad de la descarga.

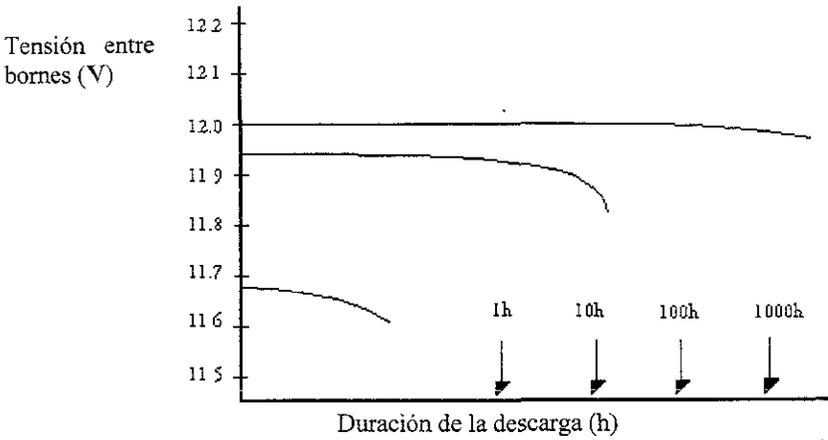


FIGURA IV.17 Evolución de la tensión en los bornes de una batería en diferentes regímenes de descarga. Esta curva es sólo indicativa para tener datos precisos consultar la figura del IV.23

Un factor que habrá que tener en cuenta es la corrección de la capacidad en función de la descarga. Para ello, a partir del consumo (Ah) y de las horas en que se realiza, se debe calcular la intensidad de descarga (A). A partir de este dato y de la acumulación que se ha estimado se calcula el número de horas que durara la descarga. Utilizando una gráfica semejante a la de la figura IV .18 se obtiene en ordenadas el % que supone la capacidad real calculada sobre la capacidad de referencia del fabricante, que puede estar dada en 10 h, 100h o 500h.

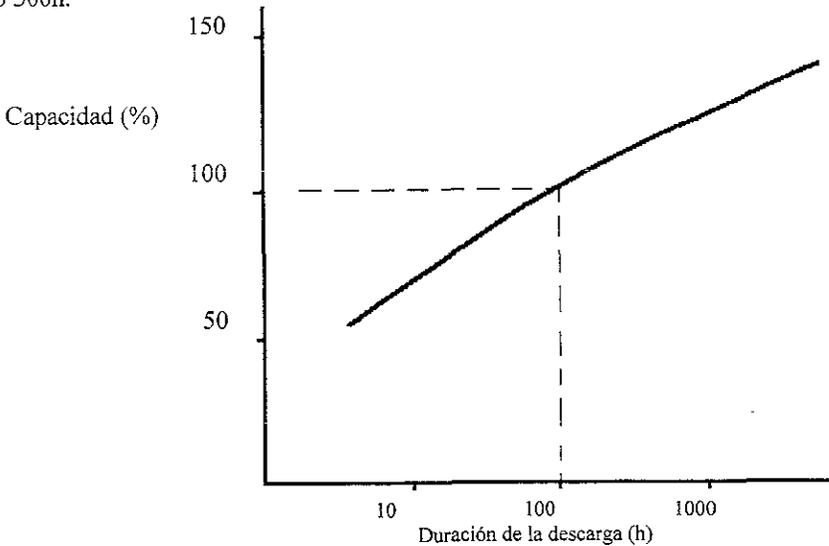


FIGURA IV.18 Variación de la capacidad en función de la descarga.

En la descarga de las baterías hay un consumo de ácido y se produce agua con lo que la densidad del electrolito disminuye, éste principio ha dado origen a la idea de emplear la medida de la densidad como indicador del estado de carga.

En el caso de las baterías solares, la utilización de la medida de densidad para detectar el estado de carga, tiene ciertas limitaciones: la variación de densidad con el estado de carga será inferior a otros tipos de baterías, a causa de la elevada reserva de electrolito que deben tener; por otra parte, en los grandes periodos que deben permanecer las baterías en estado de carga parcial, se producirá una falta de homogeneización del electrolito y la lectura de la densidad no será fiable.

Como las celdas fotovoltaicas y las baterías son dispositivos de CD y son directamente compatibles únicamente con cargas de CD. Sin embargo, las baterías pueden también servir como acondicionadores de potencia para estas cargas por regular la potencia; esto le permite al arreglo operar mas cercanamente a su optima potencia de salida. La mayoría de las baterías también deben ser protegidas contra sobre carga y descarga excesiva, que puede causar perdida de electrolito y puede también dañar o arruinar las placas de las baterías. Esta protección se logra usando un controlador de carga, que también mantiene el voltaje del sistema. La mayoría de los controladores de carga también previene que la corriente de la batería fluya hacia el arreglo en la noche.

El tiempo necesario para la carga de las baterías se ha ido acortando con el desarrollo de nuevos tipos de cargadores que utilizando la técnica de despolarización de electrodos, permiten cargar las baterías a intensidades muy elevadas sin que la temperatura del electrolito alcance límites prohibitivos.

Una forma sencilla para cargar las baterías se muestra en la siguiente figura:

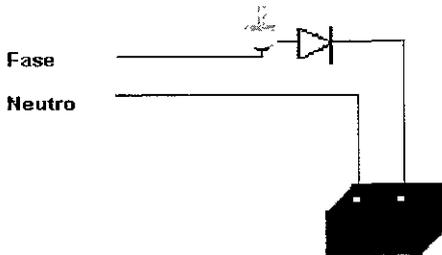


FIGURA IV.19 El diodo limita la corriente que llega a la batería y por tanto se elige al 10% de la capacidad de la batería para una carga lenta que no dañe la batería.

4.3.2 Curvas de funcionamiento de acuerdo al fabricante:

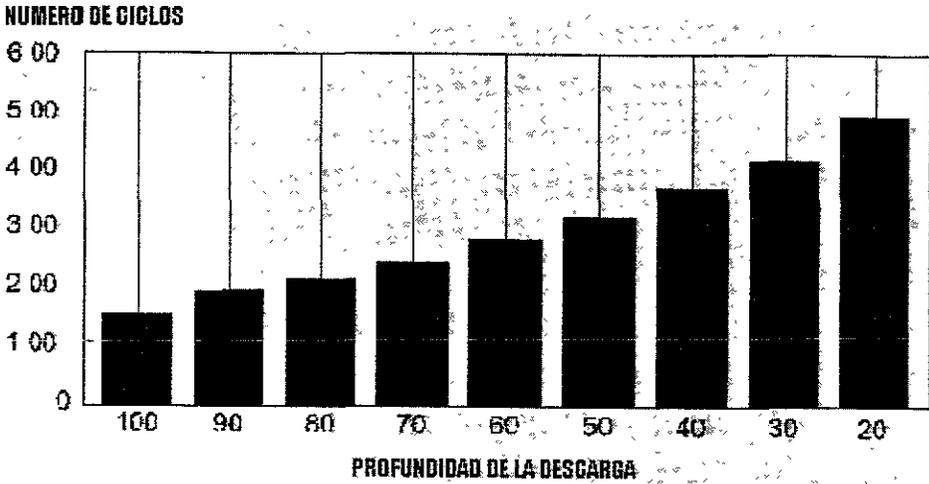


FIGURA IV.20 Número de ciclos que soporta frente a la profundidad de descarga.

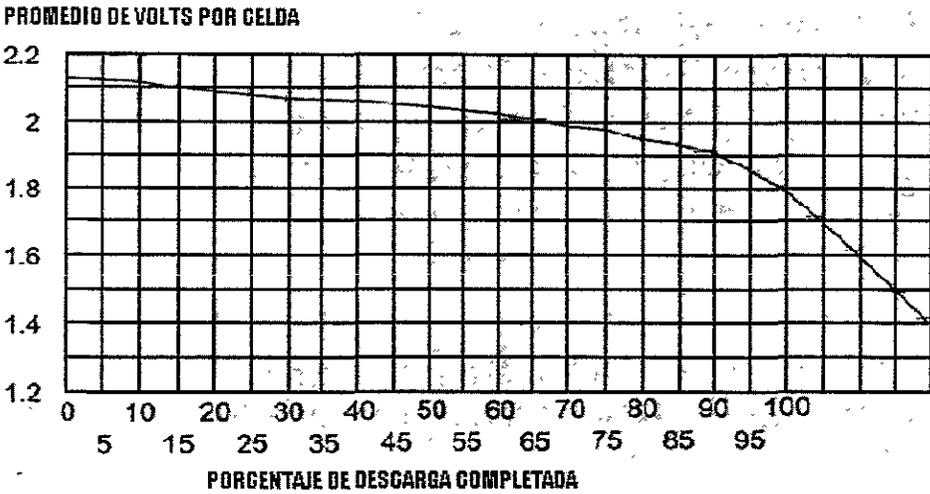


FIGURA IV.21 Promedio de volts por celda contra el porcentaje de descarga completada.

Esta batería resiste altas temperaturas (figura IV.22), tiene la facilidad de aceptar carga a bajas corrientes y bajos niveles de gasificación y consumo de agua, para que un mejor respaldo de energía.

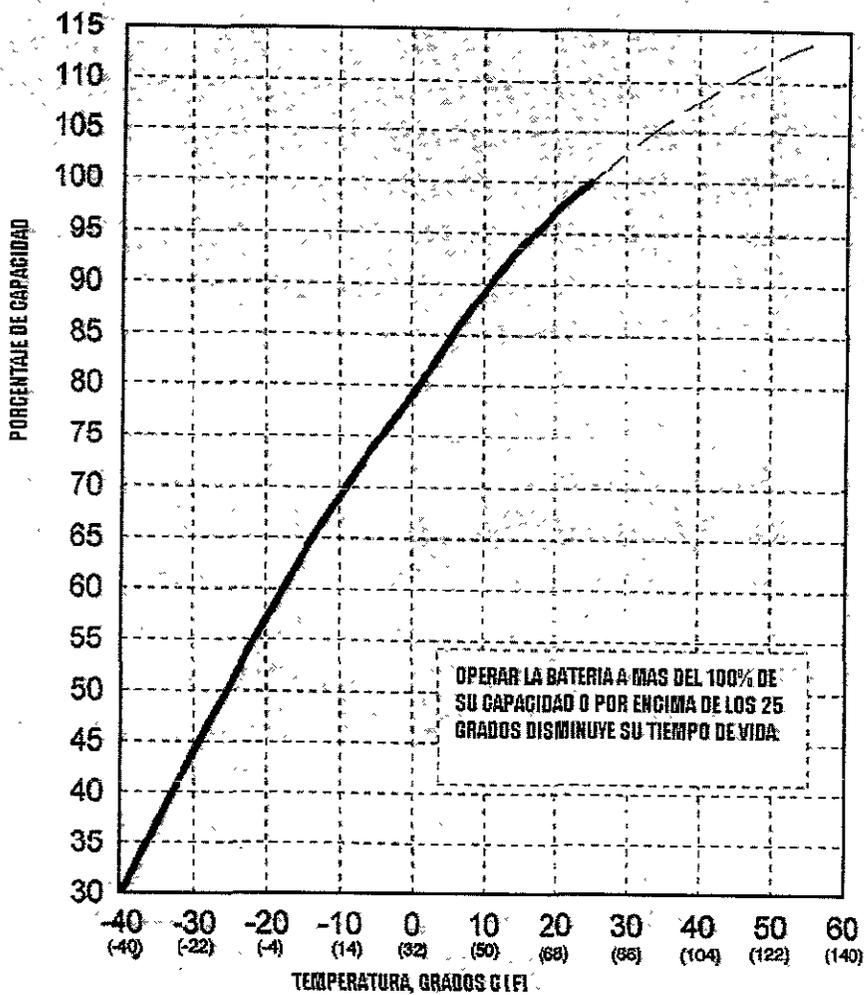


FIGURA IV.22 Porcentaje de capacidad contra temperatura

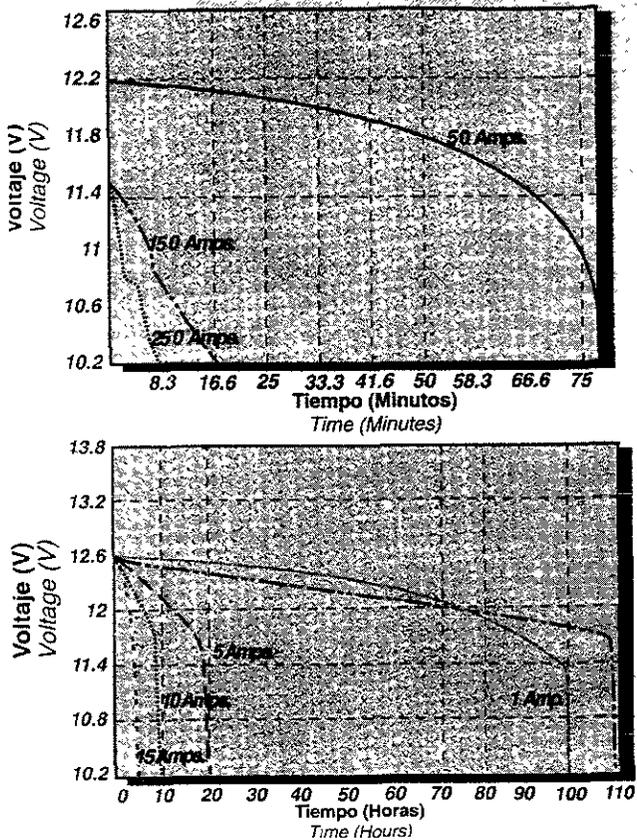


FIGURA IV.23 Evolución de la tensión en los bornes de una batería en diferentes regímenes de descarga.

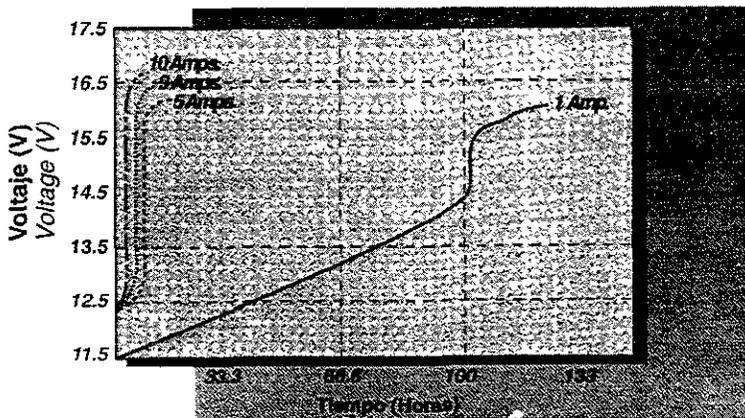


FIGURA IV.24 Curva de carga de la batería a diferentes intensidades de corriente (A) con relación al tiempo.

4.3.3 Características de las baterías de acuerdo al fabricante:

En lo referente a flexibilidad ésta batería tiene facilidad para conexión en serie o en paralelo, recargabilidad mediante celdas fotovoltaicas

Además posee resistencia a la corrosión por el ácido, resistencia a las condiciones de uso rudo, reducción de riesgo por corto circuitos y caja y tapa sellada térmicamente.

Con respecto a su construcción la batería tiene entre sus características agujeros en tapa para mejor maniobra, tamaño compacto, separadores de polietileno con fibra envolvente de glass mat, aleaciones en la parrilla que reducen la gasificación.

La siguiente tabla nos muestra las características físicas de la batería FP 31-19:

Especificaciones de la batería	
Voltaje normal	12 Volts
Longitud	325 mm
Ancho	170 mm
Alto	245 mm
Peso	28 k g

TABLA IV.5 Características físicas de la batería empleada

En la tabla IV.6 se muestran todas las características mencionadas a lo largo de este capítulo en particular para la batería FP 31-19

Características de la batería:	
Tipo de batería	Grupo BCI 31
Placas	Mayor Espesor y Densidad
Tipo de electrolito	Plomo-calcio-plomo-antimonio
Tipo de cierre	Sellado térmico
Régimen de carga	9 Amperes 13 horas
Capacidad de descarga a 100 horas	110 A-hr
Capacidad de reserva	190 min. 25 Amperes
Profundidad máxima de descarga recomendable	70 %
Razón de recarga / descarga	1.30
Numero de ciclos esperados en la Profundidad normal de descarga (50 %)	300 a 400
Rango de temperatura permisible operación	-18°C a 48°C
Densidad de Energía (Wh/kg)	48.99
Densidad de Potencia (W/kg)	10.71

Mantenimiento	No requiere
Tipo de separador	Sobre polietileno con Glass´mat
Aleación de Rejillas	Calcio-Calcio (Especial)
Gravedad Especifica del Electrolito	1.280
Razón de Autodescarga/mes a 25°	Menor de 0.6 %
Voltaje de flotación	14.2 -14.5 V

TABLA IV.6 Características eléctricas de la batería

4.4 Controladores de carga

Los controladores de carga son aparatos diseñados para la regulación y control de la carga de la batería, a la que protegen de manera automática contra una posible sobredescarga.

Algunos de los controladores de carga tienen las funciones siguientes:

- ✓ Evitan la sobrecarga de las baterías desconectándolas cuando ya están cargadas
- ✓ Evitan la descarga de las mismas a través de los paneles en periodos en que los paneles no generan suficiente energía por haber baja insolación o cuando es de noche.
- ✓ Ajustan la tensión de carga según el estado de carga de las baterías.
- ✓ Pueden, si se desea, ajustar la tensión de carga de las baterías en función de la temperatura ambiental, o al menos variarla según las estaciones del año, por ejemplo en baterías de 12 V, la tensión de carga en invierno podría ser de 14.4 V y de 14.2 V en verano.
- ✓ Protegen contra inversión en la polaridad (bien por error en la conexión o por error de fabricación de alguno de los componentes)

Algunos incorporan un circuito para realizar el “seguimiento del punto de máxima potencia” que asegura unas prestaciones óptimas de los paneles fotovoltaicos cualquiera que sea la radiación solar que reciban.

Sin embargo las funciones principales son las dos primeras, algunas de las misiones más importantes de un regulador de carga están fundamentadas en un buen conocimiento previo del estado de carga de las baterías. En la actualidad, dicho parámetro se detecta a través de medidas de tensión en circuito abierto; sin embargo los fabricantes de baterías consideran que dichas medidas no son suficientemente significativas. De hecho la medida del estado de carga instantáneo de una batería se puede considerar un problema que en la práctica no esta resuelto en forma totalmente satisfactoria.

Las tensiones de salida de los reguladores comunes son de 12,24,36 y 48 V y operan con intensidades de hasta 20A (o superiores con diseños especiales)

La instalación de un regulador la vemos en la figura V.3 y su estructura interna la podemos ver en la siguiente figura:

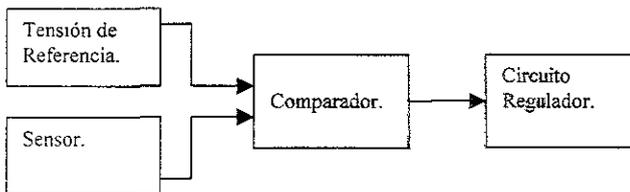


FIGURA IV.25 Estructura interna de un regulador. -

4.4.1 Funcionamiento

En nuestro caso los circuitos se alimentan por medio de la batería o a través de la salida de un regulador como nos lo muestra la figura IV.26

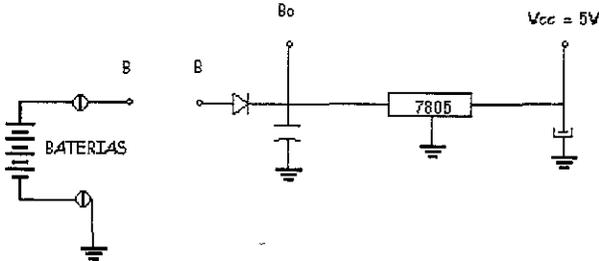


FIGURA IV.26 Fuente interna de un controlador de carga común.

Un circuito divisor de voltaje cumple la misión de verificar el nivel de voltaje en la batería (figura IV.27).

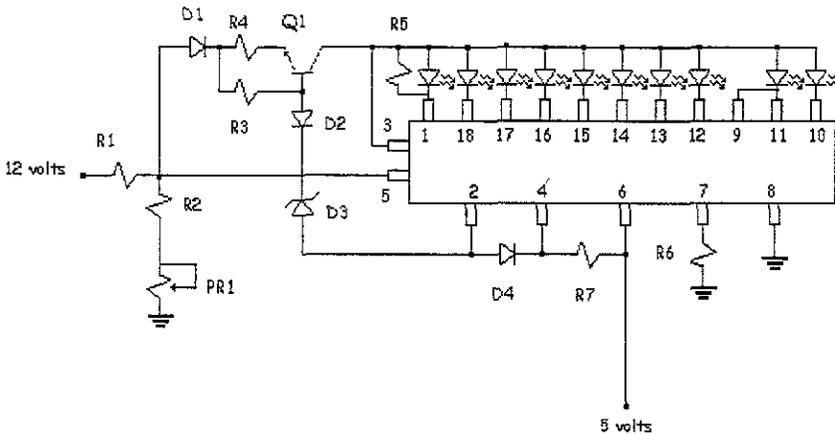


FIGURA IV.27 Circuito indicador del nivel de voltaje.

Un relevador interrumpe la carga de la batería cuando llega al 100%. Tan pronto como la tensión en los bornes ha decrecido por debajo de su nivel de estabilización, hecho que indica la necesidad de recargar, el controlador reanuda el proceso hasta que vuelve a cerrar el ciclo, como se puede observar en la figura IV.28 esto se logra gracias a la comparación del voltaje de la batería con una referencia, un led nos indica la presencia de actividad solar y dos diodos nos impiden un flujo de corriente de las baterías a los paneles fotovoltaicos

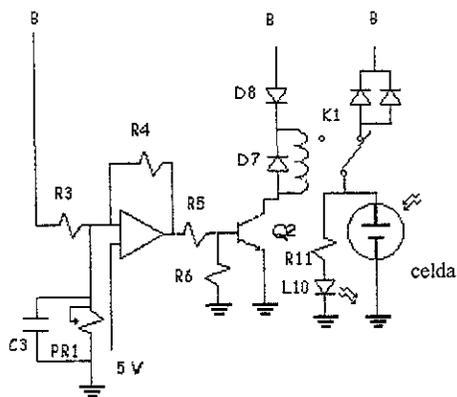


FIGURA IV 28 Circuito típico de la parte conectada a los paneles fotovoltaicos en un controlador de carga.

El desconectador de carga (figura IV.29), tal como su nombre lo indica, sirve para controlar el estado de descarga de la propia batería, en la que una excesiva descarga puede provocar daños irreparables al equipo, en cuanto atañe a su capacidad útil. Cuando la carga de la batería, bien sea a causa del consumo o por falta de insolación, desciende a niveles demasiados bajos, se dispara una señal de pre-alarma, que puede ser luminosa o acústica. En el momento que se produce tal situación de emergencia, hay que reducir inmediatamente el consumo para evitar que la carga continúe bajando en este caso se indica con dos leds si las baterías están normales o bajas respectivamente otro led más nos indica si una sobre corriente ha abierto el circuito de la carga conectada.

Lista de partes:

R1=22K	R11=2.7K	C1=5 f	CI 9410 B2045
R2=10	R12=2.7K	C2=1 f	CI LM 3914N
R3=6.8K	R13=2.7K	C3=104 f	CI=7805
R4=38K	R14=6.8K	C4=104 f	CI 29040 60486
R5=6.8K	R15=1.2K	C5=5 f	CI D64AT LM34075
R6=2.2K	R16=2.2K		
R7=100	R17=2.2K		
R8=6.8K		Q1=BC 547	RELE 12V K1
R9=38K		Q2=BC 547	RELE 12V K2
R10=6.8K		Q3=BC 547	
		Q4=BC 558B	

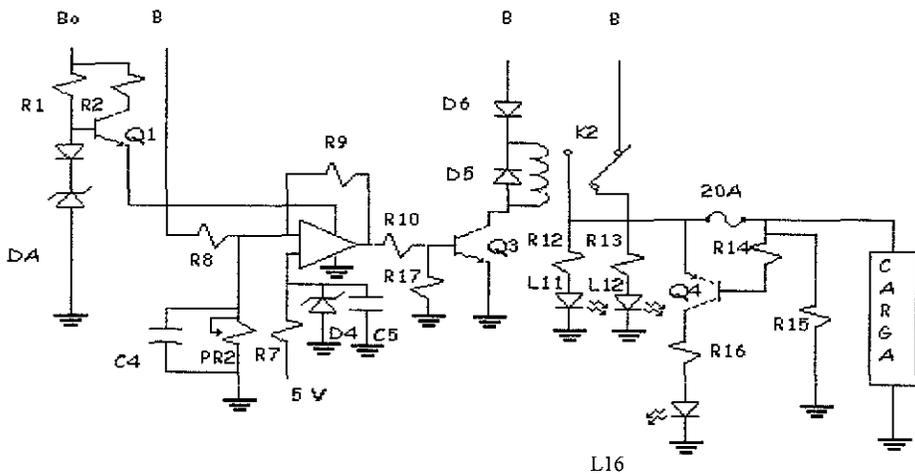


FIGURA IV.29 El desconectador de carga del controlador.

4.4.2 Características físicas de los controladores de carga

El controlador automático (figura IV.30) forma parte de un arreglo de captación solar de carga y esta construido en un gabinete metálico acabado con pintura horneada de alta resistencia. Las especificaciones de este controlador se muestran en la tabla IV.7 donde se observan sus dimensiones, peso y color.

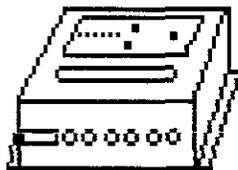


FIGURA IV.30 Controlador de carga.

Especificaciones del Controlador	
Largo	185 mm
Ancho	100 mm
Altura	40 mm
Peso	0.60 kg
Color	Beige y Rojo

TABLA IV.7 Características del controlador

4.4.3 Características eléctricas de los controladores de carga

Este controlador automático de carga brinda protección cuenta con protección contra polarización inversa entre sus terminales de módulo y batería, lo cual brinda protección durante la protección del controlador. Además protege contra sobrecargas de voltaje en el banco de baterías para tomar acciones que eviten las sobrecargas o descargas profundas que reducen el tiempo de vida de la instalación.

La tabla IV.8 nos indica el modelo, el voltaje nominal con que opera el controlador, la corriente máxima de carga y de módulos, el consumo de potencia máximo y mínimo del controlador, el tipo y capacidad de la protección, en que valores se conecta y desconecta y el rango para el voltmetro luminoso.

Modelo	GPC-12-20-2
Voltaje Nominal de Trabajo	12 volts
Corriente Máxima de Carga	20 amperes
Corriente máxima de Módulos	15 amperes
Voltaje Máximo Permisible	21 volts
Consumo Mínimo de Potencia	0.54 watts
Consumo Máximo de Potencia	2.64 watts
Protección de Sobrecarga de Salida por Fusible de Tipo Automotriz	20 amperes
Desconexión de Modulo	14.0±0.3 volts
Conexión de Modulo	13.6±0.3 volts
Desconexión de carga	12.4±0.2 volts
Conexión de carga	12.4±0.3 volts
Rango de voltaje para el voltmetro	11.3-14.8 volts

TABLA IV.8 Características del controlador

Dentro de las componentes que posee el controlador están las siguientes:

- Banco de terminales para su conexión que es donde se conectan el módulo, la batería y la carga según se encuentra indicado en la parte trasera del controlador.
- Fusible de protección contra sobrecorriente (de 20A) que se observa en la figura IV.29.
- Indicador luminoso (L10) de actividad solar mencionado para la figura IV.28.
- Indicador luminoso de activación (L11) y desactivación de carga (L12) que también indican el estado de la batería como normal y baja (figura IV.29).
- Indicador luminoso (L16) para cambio de fusible comentado en la figura IV.29.
- Voltmetro luminoso para indicar el voltaje de la batería (figura IV.27).

4.5 Inversor

En los sistemas más simples, la corriente producida por los módulos fotovoltaicos es usada directamente. En aplicaciones donde se requiere AC, se puede añadir un inversor para convertir la corriente de DC en AC.

Estos equipos convierten la corriente directa del panel o de la batería en corriente alterna a la tensión deseada. Generalmente son clasificables en dos grandes grupos según la salida que suministran: de onda senoidal y de onda cuadrada. Estos últimos son, evidentemente, de menor precio y son eficientes en un gran número de aplicaciones.

Los inversores convencionales son de tensión de entrada 12-48V y salida de 127V, 1000W, pero existen en el mercado hasta de 5kW adaptados a la aplicación solar. En general, todos están preparados para admitir demandas instantáneas (picos) del orden del 100% de su potencia nominal. Su instalación se puede ver en la figura IV.1a,b y c y particularmente para este diseño en la figura V.3.

4.5.1 Funcionamiento

El circuito principal del inversor es el 494 que nos entrega una dos señales cuadradas defasadas 180° una de la otra a la salida como lo muestra la figura IV.31.

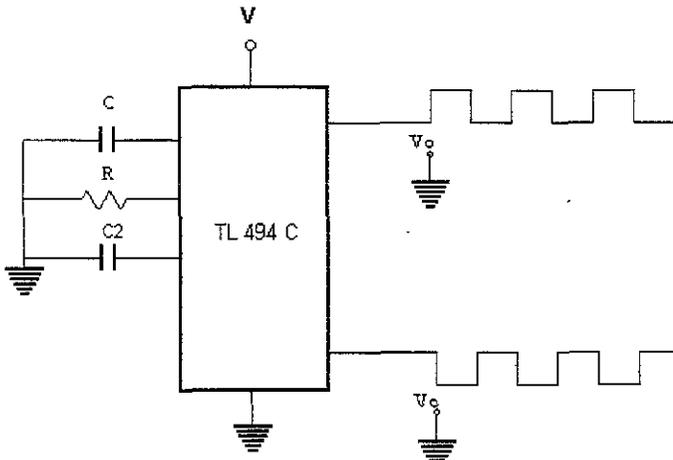


FIGURA IV.31 Circuito generador de pulsos cuadrados.

El ancho de los pulsos en el circuito generador de pulsos cuadrados esta controlado por la resistencia y capacitores de la izquierda de la misma figura IV. 31, controlando de esta forma el periodo (y por tanto la frecuencia) de los pulsos (figura IV.32).



FIGURA IV.32 Al controlar el ancho de los pulsos (periodo)controlamos también la frecuencia.

Finalmente las salidas del generador de pulsos activan un par de FETs que se mantienen conmutando de acuerdo a la salida que se presente (figura IV.33), y cada uno por su parte deja pasar la corriente del sistema (en este caso representado por una batería) según se tenga un nivel alto o bajo en la compuerta, la corriente con forma de onda cuadrada pasa a un transformador de 600w obteniendo una señal cuadrada de alternancia con un valor de 120 V aproximadamente.

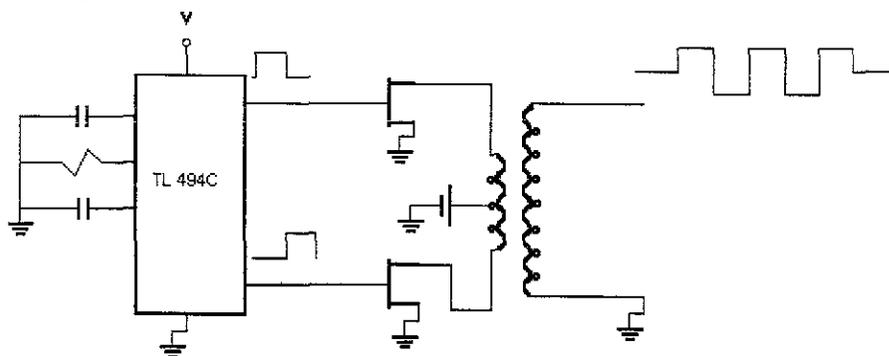


FIGURA IV.33 Circuito simplificado del funcionamiento del inversor

El circuito de la figura IV.34 representa un diagrama completo del inversor detallando todas sus partes constitutivas, y mostrando todas sus partes como son la protección, led indicador de encendido, con número y valores de cada elemento, y sus conexiones reales dentro del dispositivo.

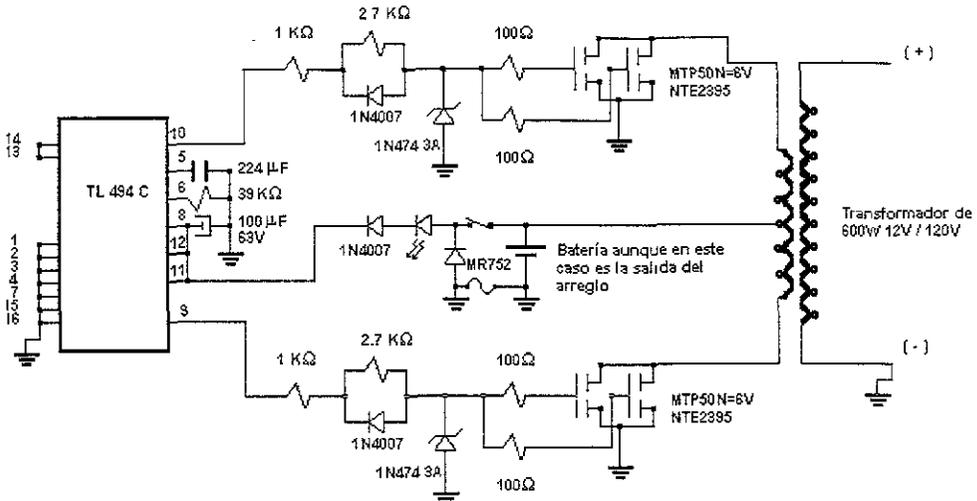


FIGURA IV.34 Diagrama completo del inversor utilizado en el diseño.

4.5.2 Prueba de temperatura con el inversor

La prueba consistió en determinar si existía un aumento considerable en la temperatura del inversor cuando se encuentra trabajando para tomar precauciones en posibles daños en su funcionamiento.

En la primera parte se puso el inversor alimentado por una batería y no se conectó carga a la salida del inversor, y se tomó la lectura de voltaje en la batería y a la salida del inversor.

Voltaje de la batería = 12.34 Vcd

Voltaje del Inversor = 155.3 Vca

En la segunda parte se puso el inversor alimentado por una batería pero esta vez se conectó un analizador de SO₂ del capítulo II que tuvo una corriente de consumo de 1.63 Amp, y se tomó la lectura de voltaje en la batería y a la salida del inversor el primer valor en las lecturas fue el siguiente:

Voltaje de la batería = 11.88 Vcd

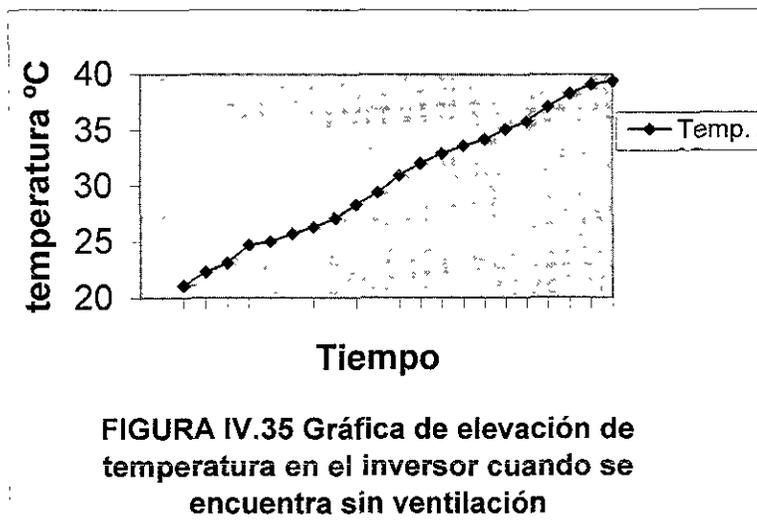
Voltaje del Inversor = 131.3 Vca

Corriente que consume el Analizador: 1.63 Amp.

Más tarde se comenzaron a tomar las lecturas de temperatura en el inversor registrando los valores en la tabla siguiente.

Voltaje (Vcd)	Hora	Temperatura (°C)
12.40	10:32 am	21.4
11.87	10:54 am
11.76	11:41 am
11.70	12:03 pm	41.3
11.64	12:17 pm	41.7
11.60	12:24 pm	41.8

TABLA IV.9 Voltaje en la batería que alimenta el inversor y temperatura del inversor a diferentes horas.



Como resultado de observar en la figura IV.35, la temperatura de operación del equipo era muy elevada y se consideró necesario ventilación externa.

4.6 Circuito de conmutación

Ante la forzosa necesidad de desconectar la carga cuando las baterías se encuentran descargadas (por no tener el suficiente respaldo en tiempo de operación con las baterías y paneles con que se cuenta para lograr la autonomía de operación), se utilizan los controladores de carga, pero además en pruebas hechas en el laboratorio se observó que el analizador de SO₂ que es nuestra carga conectada, deja de operar satisfactoriamente desde antes de que el controlador lo desconecte, que debería de ocurrir a los 12.3 Volts según se ve en la tabla IV.8 y que sin embargo no es así, por esta razón, se diseñó el circuito de la figura IV.36 para lograr desconectar el analizador a los 11.2 volts considerando este valor porque a los 11.4V el analizador todavía opera correctamente.

De un circuito indicador de voltaje como el de la figura IV.36 se toma la señal del led que se enciende a los 11.2 volts marcada como V_u en la figura

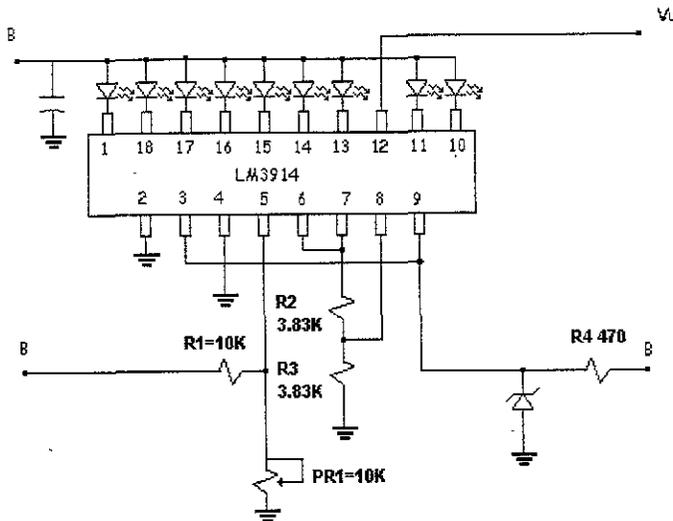


FIGURA IV.36 Circuito en donde se detecta el voltaje de la batería

Después, si ésta señal V_u esta presente pasa a un optoacoplador que tiene un triac en la salida como se ve en la figura IV.38 y puede por tanto manejar AC, que es cuando éste triac de salida conduce, activa un triac pero de mayor potencia que a su vez energiza la bobina de un relevador de AC permitiendo que una de las dos entradas trabaje, en este caso la del inversor. Cuando el nivel de voltaje decrece y no existe señal presente de V_u el optoacoplador no puede activar el triac de mayor potencia se desenergiza la bobina del relevador de AC y entra en acción la otra fuente que se tenga disponible o simplemente se apaga (figura IV.37).

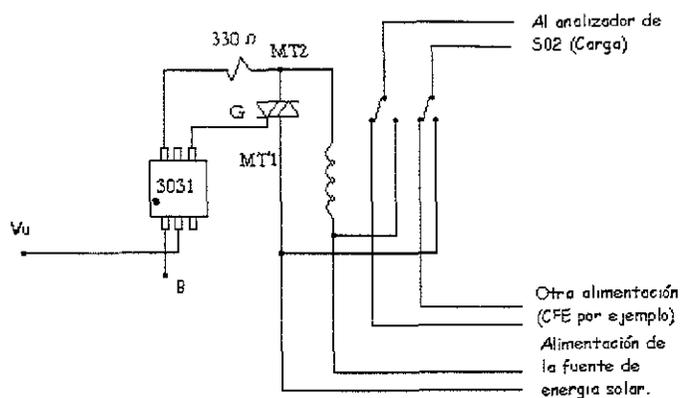


FIGURA IV.37 Circuito del control

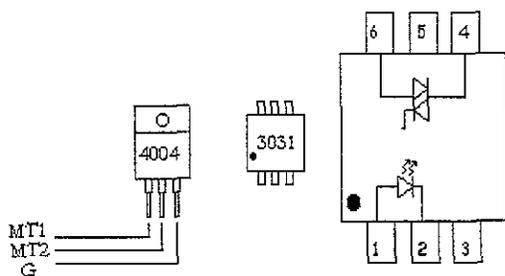


FIGURA IV.38 Configuración del triac de potencia y del optoacoplador

4.7 Cables.

El tendido de cables en una instalación solar fotovoltaica debe ser lo más corto posible, a fin de reducir pérdidas de energía por caída de tensión la tabla IV.10 sirve para elegir el diámetro del conductor según el voltaje al que se este operando y la distancia, pero sólo es valida para instalaciones de menos de 1,000W.

Longitud en metros		5	10	15	20	25	30	35	40	metros
A 12 V	Sección	4	10	10	16	16	25	25	35	mm ₂
A 24 V	Sección	2.5	4	6	10	10	10	16	16	mm ₂

TABLA IV.10 tabla del IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía) del Ministerio de Industria y Energía de España para instalaciones de menos de 1 kW

Todos los elementos de la instalación deben estar conectados con terminales y, de ser posible, agrupados. Como protección de la instalación puede colocarse un interruptor termomagnético a la salida de la batería y convertidor. Con respecto al cable, protección, terminales y elementos para fijación de cable SOLAREX nos muestra la lista de material de la tabla IV.11, IV.12 y IV.13

CABLE

13 01	Cable Flexanel	#12 AWG	\$0.78
13 02	Cable SPT	POT#18 Duplex	\$0.34
13.03	Cable SPT	POT#14 Duplex	\$1.79
13 04	Cable uso Rudo	2 X 10 THW	\$4.20
13 05	Cincho de plastico		\$0.15
13 06	Cable THW	#2 AWG	\$4.20
13 07	Cable THW Batería	#4 AWG	\$2.44
13.09	Cable THW	#8 AWG	\$1.03
13.15	Cable SPT	POT #12 Duplex	\$3.57
13 16	Cable Bombeo	#3X12 AWG	\$2.80

TABLA IV.11 Cables que ofrece SOLAREX para instalaciones fotovoltaicas

FUSIBLES

17 01	Porta fusible		\$0 70
17 02	Diodo		\$0 50
17 03	Fusibles		\$0 50

TABLA IV.12 Elementos para la protección

TERMINALES

20 01	Terminal Bateria	Cal #12	\$1 85
20 02	Terminal Bateria	Cal #4	
20 03	Terminal Inversor	Cal #4	\$6 20
20 04			

TABLA IV.13 Terminales para la conexión

También puede ser considerada la sección del cable para la interconexión de los paneles del capítulo 5.2

4.8 Soportes y Montaje.

Los soportes son los elementos que se aplican para la fijación de los módulos. Para evitar riesgos de oxidaciones debe ser de aluminio anodizado o hierro galvanizado, y fijados sólidamente para soportar la fuerza del viento sin ser abatidos. Las tabla IV.14, IV.15 y IV.16 muestran el precio de algunos soportes, tornillería y gabinetes para encontrados en el mercado.

Con respecto al montaje se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1° Conectar el negativo (-) en todos los bornes negativos (batería, regulador y módulos).
- 2° Conectar el positivo (+) de la salida del regulador con el positivo de la batería.
- 3° Conectar, siempre al final, el positivo de la salida del regulador con el positivo de los módulos.

Para desconectar la instalación hay que desconectar ante todo los módulos y después la batería.

Debe tenerse siempre presente que conectar el regulador a los módulos sin estar previamente conectado a la batería, supone la destrucción del regulador.

SOPORTES

6 02	Soporte metálico	SM-2	\$44.32	2
6 07	Soporte metálico	SM-6	\$112.53	6
6 08	Soporte metálico	SMA-2	\$80.00	2
6 09	Soporte metálico	SM-4	\$84.21	4
6 10	Soporte metálico	SMA-4	\$110.00	4
6 11	Soporte metálico	SM-1	\$17.50	1
6 12	Tubo y base módulo	T2" y base	\$55.00	No aplica
6 13	Soporte metálico	SM-110	\$17.50	1

TABLA IV.14 Lista de soportes que maneja SOLAREX.

TORNILLERIA

14 01	Rondana plana	5/8"	\$0 01
14 02	Rondana plana	5/16"	\$0 01
14.03	tornillo Std trop	5/16" X 1"	\$1 00
14 04	tornillo Std trop	1/4" X 1/2"	\$0 66
14 05	tornillo Std trop	3/8" X 2"	\$2 00
14 06	Pija Std trop.	1/4" X 3,1/4"	\$1 00
14 07	Tuerca Std trop	1/4" X 2 1/2"	\$0 18

TABLA IV.15 Tornillería de fijación

CAJA P/BATERIA

15 01	Gabinete p/bateria	1 - 31FP	\$21 50
15 02	Gabinete p/bateria	10-FP31	

TABLA IV.16 Gabinetes para batería de la batería empleada en el diseño.

Las siguientes figuras IV. 39 y IV.40 nos muestran el diseño de los soportes empleados en la fuente de alimentación utilizada para las pruebas del capítulo V.

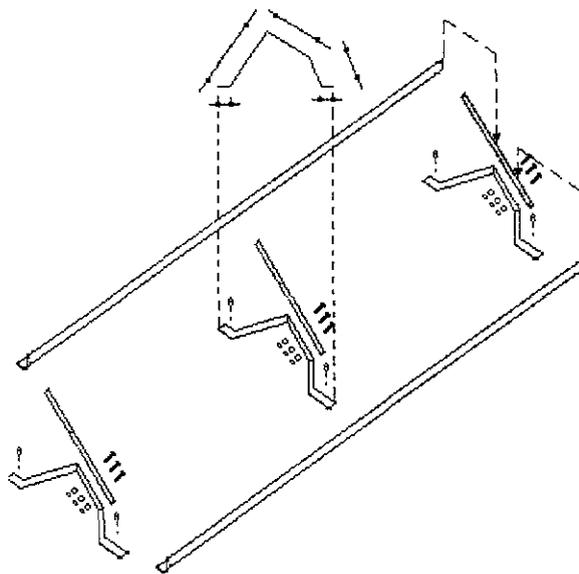


FIGURA IV 39 Soporte de la fuente de alimentación para alimentar el equipo de monitoreo

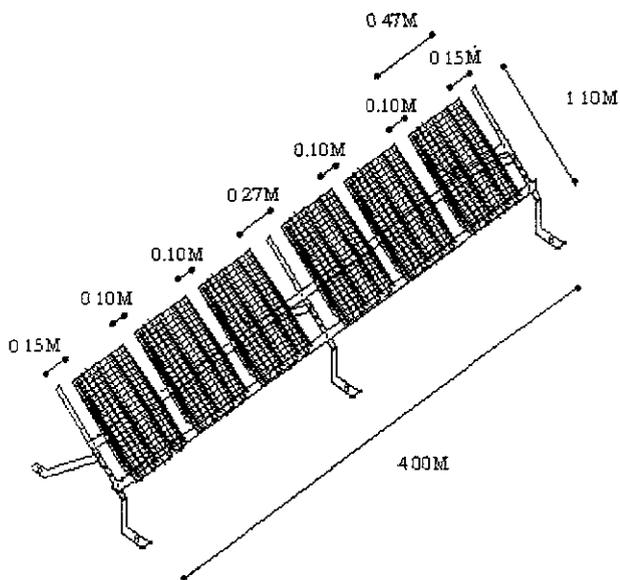


FIGURA IV 40 Montaje de los paneles en el la estructura o soporte de la figura anterior

CAPITULO V Costos y pruebas al sistema.

V.1 Introducción

Entendemos por confiabilidad la probabilidad de que un sistema concreto satisfaga en un momento dado la función para la que ha sido previsto. Si decimos que la fiabilidad de un circuito es 0.993 expresamos que dicho circuito funcionara bien el 99.3% de las veces, o lo que es lo mismo, fallara por termino medio siete veces por cada 1000 que funcione, o si se quiere así por cada 1000 de funcionamiento 7 estará estropeado.

Llamaremos tasa de fallo λ al numero de fallos del sistema considerado por unidad de tiempo y tiempo medio entre fallos (TMEF) a su inverso.

Normalmente para los sistemas que vamos a considerar en el análisis los generadores fotovoltaicos de electricidad, habrá dos tipos fundamentales de fallo:

- ⇒ Los fallos que ocurren aleatoriamente en el tiempo con independencia de la historia previa del sistema
- ⇒ Los fallos debidos al envejecimiento natural de los elementos del sistema considerado.

La fiabilidad de un sistema constituido por un conjunto de elementos puede considerarse como un todo al que se le pueden aplicar las leyes del apartado anterior. Sin embargo, si conocemos las fiabilidades de cada uno de los elementos constitutivos por separado y somos capaces de determinar las conexiones entre ellos, es posible conocer la fiabilidad del conjunto. Normalmente estos son los datos de los que se dispone y esta será la forma de operar.

En primer lugar debe hacerse una representación esquemática en la que queden claros todos sus elementos y todas sus relaciones, como por ejemplo, en un sistema fotovoltaico típico podemos considerar el diagrama de la figura V.1 su equivalente para el calculo de fiabilidades se presenta en la figura V.2

Si asumimos que cada elemento tiene una fiabilidad F_i , la fiabilidad del suministro a la carga o lo que es lo mismo de la función global del sistema será :

$$F = F_{co} [1 - (1 - F_g) (1 - F_r F_i F_b F_c F_p F_s)]$$

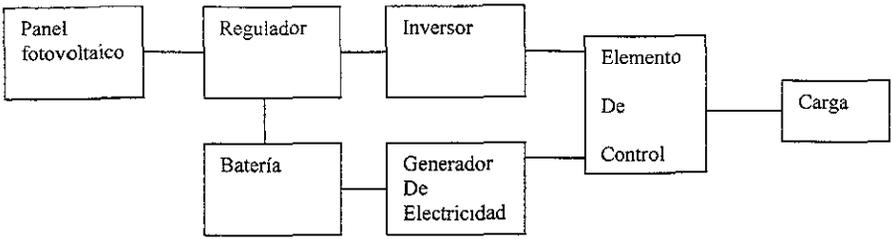


FIGURA V.1 Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico que respalda a otro sistema.

Donde se ha considerado que la fiabilidad de un elemento es independiente de las del resto. Cada uno de estos bloque puede a su vez dividirse en subbloques y calcular cada uno de los factores F_i como la fiabilidad del subsistema resultante.

Para cada subsistema se pueden desarrollar modelos matemáticos de fiabilidad diferentes que pueden consistir en el sencillo enfoque aquí presentado (fiabilidad de los componentes independientes entre si) o enfoques mas complejos en los que se considera la interdependencia entre los elementos.

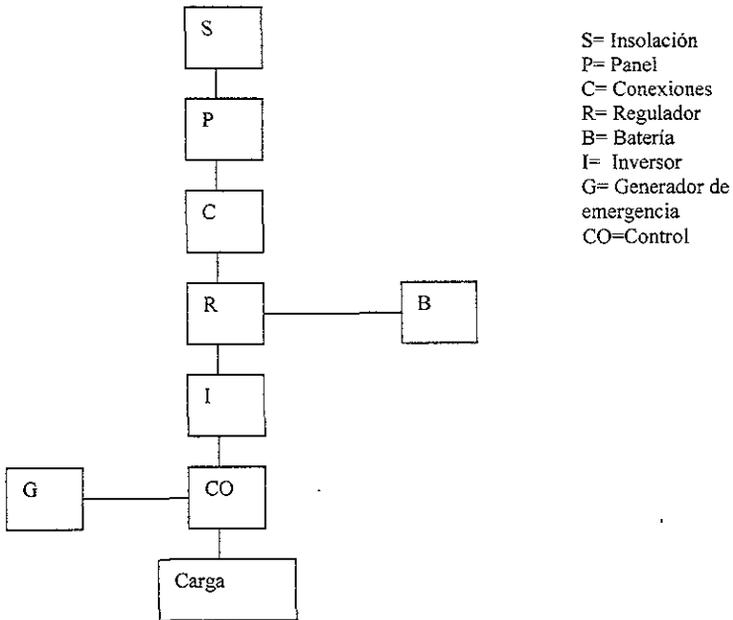


FIGURA V.2 Diagrama equivalente de un sistema fotovoltaico para el cálculo de fiabilidad.

En este capítulo nos abocaremos a las pruebas realizadas a los componentes de la figura V.3 en la cual se muestran las partes fundamentales de la fuente de alimentación por medio de energía solar que sirvió de base para experimentar y saber como se obtendrán mejores resultados en la construcción de una fuente como la que se describe al comienzo de la introducción, que alimente el analizador de SO₂ las 24 horas los 7 días de la semana, además, ya que ésta fuente tiene una respuesta como la que en las pruebas describen, se presenta el material y equipo para este sistema, así como el costo aproximado del mismo, contiene a su vez información de diferentes equipos que se pueden emplear y que fue consultada a distintos proveedores.

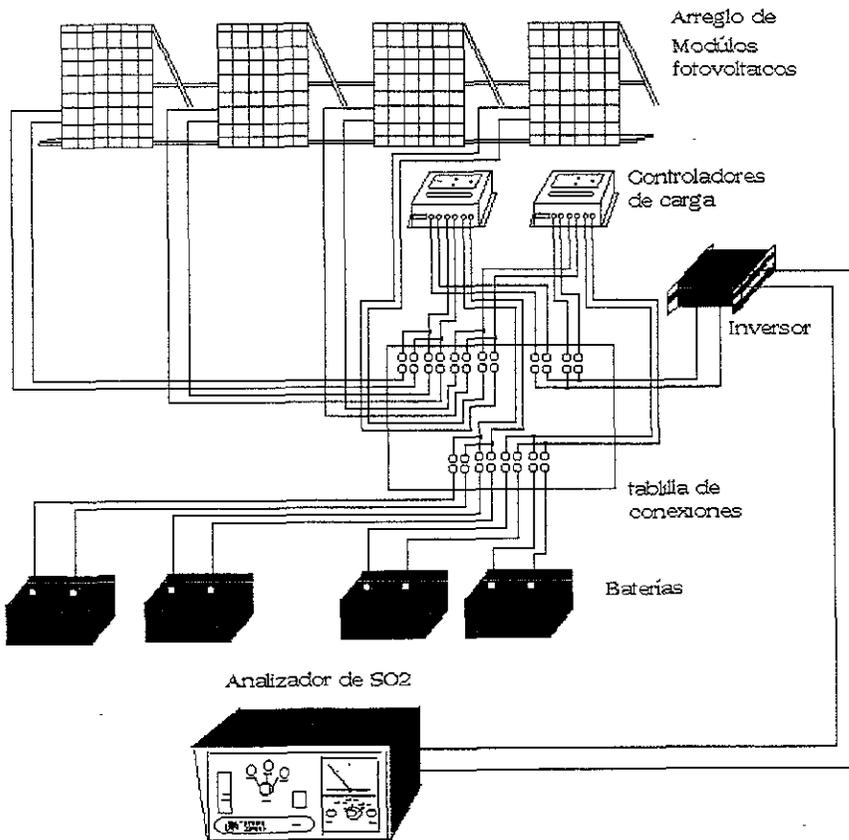


FIGURA V.3 Fuente de alimentación por medio de energía solar con la que se desarrollaron algunas pruebas en el Laboratorio de Calibración.

5.2 Costos del sistema.

Los siguientes datos técnicos pertenecientes a la tabla V.1 corresponden a las celdas y baterías de la figura V.3 para la fuente de alimentación.

COMPONENTE	AREA UNITARIA (M ²)	PESO UNITARIO (KG)	AREA TOTAL (M ²)	PESO TOTAL (KG)
CELDAS	0.550	7.8	2.220	31.2
BATERIAS	0.056	25.0	0.224	100.0
	0.606	32.8	2.444	131.2

TABLA V.1 Datos técnicos del sistema

Además, éstas sencillas tablas (tablas V.2 y V.3) nos muestran el costo aproximado únicamente de los componentes del sistema de la figura V.3 y no incluye su instalación y puesta en operación ni la obra civil que puede ser necesaria para montar la fuente de alimentación.

COMPONENTE	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL (CUATRO UNIDADES)
CELDA	6,900	27,600
BATERIA	420	1,680
CONTROLADOR DE CARGA	690	2,760
INVERSOR	900	900
MATERIAL DIVERSO	250	940
TOTAL		33,880

TABLA V.2 Datos económicos del equipo de la fuente

El material diverso solicitado durante el desarrollo de la fuente de alimentación por medio de energía solar aparece en la tabla V.3

CANT	PRECIO UNITARIO	DESCRIPCION	TOTAL
8	\$5	Terminal para batería (tierra)	\$40
8	\$5	Terminal para batería (corriente)	\$40
40	\$2	Zapata para tornillo 7/16"	\$80
1	\$50	Tablilla de conexiones de 16 líneas de paso	\$50
30	\$2	Fusible de cristal de 30,40 Y 50 A	\$60
20	\$2	Fusible automotriz de 20A	\$40
10	\$8	Focos de 100w de 120volts	\$80
10	\$15	Focos de 40w de 12 volts	\$150
20	\$5	Diodos rectificadores de 3 y 5 amp.	\$100

1	\$10	OPAMP	\$10
5	\$10	Interruptores automotrices con luz indicadora de enc.	\$50
1	\$100	CI LM3914, Potenciómetros, capacitores y LED's	\$100
1	\$40	Resistencias de distintos valores	\$40
2	\$20	MOC 3031	\$40
6	\$10	TRIAC 4004	\$60

\$940

TABLA V.3 Datos económicos del material de la fuente (incluye los elementos del circuito de conmutación).

5.3 Proveedores.

Existen diversos proveedores los cuales manejan productos relacionados a las aplicaciones fotovoltaicas y que manejan diversos productos de diferentes marcas, algunos, los encontramos más fácilmente en el mercado y nos proporcionaron la siguiente información de sus productos para aplicaciones fotovoltaicas:

A-S-E

Instrucciones de instalación y especificaciones para un modulo ASE -50-AL.

Este módulo utiliza células policristalinas producidas por una tecnología propia de EFG y técnicas de proceso de estado-de-arte. Las células interconectadas están selladas en un laminado de vidrio/aluminio para excluir polvo y proveer de aislamiento eléctrico, sus características físicas y construcción se refleja en las tablas V.4 y V.5.

Longitud	38" ± 1/8"
Ancho	18" ± 1/8"
Peso	14 lb ± 1 lb

TABLA V.4 Características físicas de los módulos ASE

Células solares	36 células policristalinas de silicio (EFG), 100mm cuadrados
Encapsulante	Encapsulante propietario (no EVA)
Cubierta de Vidrio	Templado, 1/8" espesor, bajo en hierro
Forro trasero	Alto rendimiento
Marco	Acabado de Aluminio

TABLA V.5 Construcción del modulo

Los siguientes datos eléctricos (tabla V.6) se desprenden de los módulos en operación en condiciones estándar de prueba (STC); irradiación solar de 100 mW/cm² espectro de AM 1.5, y temperatura en la celda de 25 ° C. Las características eléctricas están dentro de las tolerancias enunciadas en la STC.

Los siguientes son datos ilustrativos solamente.

P _{pico}	Watts dc	48
V _{pico}	Volts dc	16.8 ± 10%
I _{pico}	Amps dc	2.86 ± 10%
V _{oc}	Volts dc	20.8 ± 10%
I _{cc}	Amps dc	3.1 ± 10%
V _{max}	Volts dc	50

TABLA V.6 Características eléctricas:

Bajo condiciones normales de operación, un modulo fotovoltaico experimentara en ocasiones condiciones que puedan producir más corriente y/o voltaje que el reportado bajo las condiciones standard de prueba. De acuerdo con esto los valores de corriente de corto circuito y voltaje de circuito abierto de este modulo deberán ser multiplicados por un factor de 1.25 cuando se determinan componentes de rango de voltaje, ampacidades del conductor, tamaño de fusible, y tamaño de controles conectados a la fuente de voltaje de salida.

Los siguientes coeficientes de corrección de temperatura (tabla V.7) deberían de ser aplicados a la STC datos (en una celda a temperatura de 25°C) para predecir el desarrollo del modulo en condiciones de campo:

Voltaje	-0.38% / °C
Corriente	-0.10% / °C
Potencia	-0.50% / °C

TABLA V.7 Efectos de temperatura

Precauciones y seguridad

Todas las instrucciones deben ser leídas y entendidas antes de intentar instalar u operar los módulos fotovoltaicos. Las siguientes precauciones de seguridad deberán ser observadas.

En los módulos y arreglos que operan a voltajes más elevados de 20 volts siempre existen voltajes letales El riesgo de un shock siempre esta presente durante las horas de luz de día, aún a bajos niveles de luz.

No de servicio a ninguna de las partes del sistema si ud. No esta totalmente calificado para hacerlo. Debe estar entrenado y entender la operación eléctrica del módulo para dar servicio a cualquier componente del sistema.

No intente remover nieve o hielo del modulo. El modulo continuara operando aún cubierto con nieve o hielo.

No pise la superficie del modulo esto puede rasgar o dañar la superficie de vidrio.

No concentre la luz solar directamente hacia el modulo. Esto puede sobrecalentar y acortar la vida del modulo.

No instale el modulo durante altos vientos.

No use módulos in sistemas que excedan 50 volts.

Instalación del modulo

Orientación

Los módulos deben de ser localizados en una locación sin sombra donde reciban una máxima exposición a los rayos del sol por el tiempo mas prolongado posible durante el día. Las sombras pueden reducir significativamente la potencia de salida de los módulos. En el hemisferio norte, los módulos deben ser orientados hacia el sur verdadero (no magnético). Este seguro de que los módulos están bien localizados y no cubiertos por edificios, arboles, postes, u otras obstrucciones, particularmente durante los meses cuando el sol esta en la parte baja del cielo.

Montaje

Las estructuras de montaje y equipo de montaje no son surtidos con el modulo.

Los módulos pueden ser sujetados a un riel de soporte provisto en la base. La estructura de soporte debe ser diseñada para contar con el apropiado ángulo de montaje, carga de diseño, y espacio de expansión térmica. Las conexiones con el modulo a la estructura de soporte debe ser hecha en 4 puntos usando pernos de 3/8". El margen de los hoyos se da en los flancos negros del marco del modulo.

Carga de diseño

Cuando se instala propiamente, una carga de 50 lbs/pie² pueden ser soportados sin daño al modulo. El modulo debe ser conectado a una estructura de soporte diseñada de acuerdo a los hoyos de montaje como se describe arriba.

Espacio para expansión térmica

El sistema diseñador/instalador debe considerar la expansión térmica cuando se diseña la estructura del soporte. Un espacio de 0.25 pulgadas entre módulos será suficiente en la mayoría de las instalaciones. Sin embargo, el espacio apropiado depende de muchos factores incluyendo la estructura de soporte, la temperatura de instalación, y la máxima temperatura de operación esperada del modulo.

Conexión eléctrica

Los módulos serán conectados de acuerdo con el articulo 690 de la National Electric Code (United States,NEC) y los códigos locales. Las siguientes secciones proveen información para asistir al instalador en la interconexión eléctrica de los módulos.

El cable para la interconexión de los módulos:

La capacidad de corriente o ampacidad y rangos de voltaje de la interconexión de cables del modulo son sistemas-dependientes y deberían ser seleccionados de acuerdo a los artículos 690-7 y 690-8 de la NEC. El cable debe ser escogido para exposición directa a los rayos del sol y para condiciones húmedas. Típicamente, los módulos están eléctricamente interconectados en serie usando no. 16 AWG. Los tipos de cable aceptables son SE, USE, TC y UF con conductores de cobre

Robinson

Este proveedor ofrece un acumulador con las siguientes características (tabla V.8)

MARCA	ROBINSON
TIPO	GC-2 (Corresp. Al grupo internacional GC_2) especial para vehículos eléctricos y ciclos profundos de carga descarga.
TERMINALES	Disponible con terminales especiales de tornillo. Sobre pedido también en otros tipos de terminal.
TIPO DE PLACAS	Rectangulares planas especiales para ciclos profundos de carga descarga.
CANTIDAD DE PLACAS	19 placas por celda, 114 en total
ELECTROLITO	Solución de ácido sulfúrico 1250g/l
CONSTRUCCION	Polipropileno sellado epóxico
VOLTAJE NOMINAL	6v
RENDIMIENTO GOLF	105 min.25°C, en uso continuo según especificación internacional para vehículos eléctricos, entregando 75 ampers continuos.
CAPACIDAD A 20 HRS	195 amp-hr nominales en aplicaciones fotovoltaicas.
PESO	25 kg. Aproximadamente.
DIMENSIONES	Largo 26.0 cm. Ancho 17.8 cm. Alto 24.5cm. (no incluye terminales que miden 4cm aprox).
NORMAS APLICABLES	BCI, Electric Vehicle Battery Test.
SELLO NOM	1071-I

TABLA V.8 Características del acumulador marca Robinson

Heliotecnia

Este proveedor nos ofrece generadores de silicio policristalino, los cuales son más sensibles a las modificaciones de los niveles de radiación incidente y a la radiación indirecta, sus características se observan en la tabla V.9.

	HELIOTECNIA	AMERICAN	AMERICAN
Capacidad	90 A-Hr	120 A-Hr	106 A-Hr
Peso	35kg	23Kg	19Kg
Dimensiones	(40x20x20)cm	(19x19x17)cm	(19x19x17)cm
Costo	\$150 + iva	\$530 + iva	\$250 + iva
Límite tolerable de descarga	50%	50%	50%
Vida útil		6 años	6 años

TABLA V.9 Tabla comparativa de Acumuladores

SOLAREX

Las células solares de esta marca están optimizadas para la luz visible y su eficiencia cuántica disminuye rápidamente en el infrarrojo y en la zona ultravioleta con características similares a las del capítulo 4.2 además ofrece los productos de la tabla V.10 que son los de continuación.

MODULOS

CODIGO		ARTICULO	PRECIO	
1 01	Módulo F V	MSX-64	\$600 72	3 66
1 02	Módulo F V	MSX-60	\$563 18	3 5
1 03	Módulo F V	MSX-56	\$525.64	3 35
1 04	Módulo F V	MSX-50	\$469.80	2 92
1 05	Módulo F V	MSX-48	\$500 80	2.95
1 06	Módulo F.V.	MSX-40	\$409 50	2.35
1 07	Módulo F.V.	MSX-30	\$337.50	1.75
1 08	Módulo F.V.	MSX-18	\$261 00	1 1
1 09	Módulo F V	MSX-10	\$157 50	0.62
1 10	Módulo F V	SA-5	\$78.68	0.29
1 12	Módulo F V	MSX-53	\$544.64	3 2
- 1 17	Módulo F V	SA-2	\$65.23	0.15
1 18	Módulo F V	MSX-83	\$779 07	4.85
1 19	Módulo F V	MSX-77	\$722 75	4.56
1 20	Módulo F V	VLX-53	\$490 00	3.12
1 21	Módulo F V	VLX-32	\$360 00	1.88
1 22	Módulo F V	MSA-10	\$157 50	0 62

CONTROLADOR

2.03	Control con LVD	PLC-1	\$126 00	16
2.04	Control noche/día	PLC-1P	\$126 00	16
2.05	Control con Timer	PLC-1T	\$144 00	16
2.06	Switch Fococensor	SCID-12/10	\$72 00	10
2.07	Controlador	ASC-12/16	\$89 10	16
2.08	Controlador 12/24v	C-30A	\$99.00	30
2.09	Controlador 12/24v	CTI-30LVD	\$100.80	30
2.10	Control con Timer	CTI-30 TM	\$135 00	30
2.11	Controlador	GPC-12-20-2	\$60 00	20
2.12	Switch Timer	SCIT-12/30	\$249 30	30
2.13	Controlador	CTI-20	\$75 60	20
2.14	Control 48V 90A	CTI-4890	\$511.20	
2.15	Control 48V 90A	CTI-4890LVD	\$614 70	
2.16	Control 24V 90A	CTI-2490	\$495 00	
2.17	Control 24V 90A	CTI-2490LVD	\$594 00	
2.18	Controlador	CTI-20LVD	\$96 30	20
2.19	Caja de fusibles	Para 4 lámparas	\$32 00	no aplica
	Convertidor voltaje	DC-DC	\$36.00	no aplica

ILUMINACION

3.01	Balaustra	B 12/40DC	\$28 00	
3.02	Balaustra	B PL-13DC	\$41 70	
3.03	Balaustra	B PL-24/36DC	\$52 80	
3.04	Arbotante publico	P3610H	\$2,534 00	\$2,534 00
3.06	Luminaria centinela	LUX PL-36DC	\$153 00	
3.07	Luminaria centinela	LUX PL-24DC	\$144 00	
3.08	Luminaria centinela	LUX PL-13*2DC	\$162 00	
3.09	Luminaria centinela	LUX PL-13DC	\$95 00	
3.10	Lampara compacta	SL*18	\$20 00	
3.11	Reflector	SL*18R40	\$24 00	
3.12	Lámpara compacta	PL-13DC	\$26.13	
3.13	Lámpara compacta	PL-9AC	\$10.05	
3.14	Lámpara compacta	PL-7AC	\$11.25	
3.15	Lámpara Tubular	LUX-20	\$28.00	
3.16	Lámpara Tubular	LUX-39	\$30.00	
3.17	Base Socket	S/PL-13	\$1 68	
3.18	Socket	S/LUX-20	\$1 91	
3.19	Socket	S/PL-24/36	\$4.98	
3.20	Poste Luminaria	PCG/6M	\$130 22	
3.21	Gabinete lámpara	G/LUX-20	\$2 35	
3.22	Gabinete lámpara	G/LUX-39	\$7 48	
3.23	Luminaria Solair	LS 150/36DC	\$222 84	
3.24	Tubo lámpara	T/PL-24	\$26 11	
3.25	Tubo lámpara	T/PL-36	\$19 92	
3.25	Clip para lámpara	C/PL-24/36	\$0.01	
3.27	Interruptor de pared	Sobreponer	\$1 14	

3 29	Tubo lâmpara	T/LUX-20	\$2 64
3 30	Candado Clip	CC/PL-24/36	\$0 01
3 31	Balastra	B/PL-9/PL-7	\$7 82
3 32	Tubo lâmpara	T/PL-9	\$5 06
3.36	Gabinete P/Bateria	f de vidro	\$60 00
3.38	Lâmpara compacta	ESL-18	\$18 90
3 39	Tubo lâmpara	T/PL-7	\$2 14
3 40	Socket	S/LUX-39	\$3.00
3.41	Tubo lâmpara	T/LUX-39	\$21 00
3 42	Braço Luminaria	BraçoP36	\$7 17
3 43	Carcaza Luminaria	SU-150-LB	\$165 00
3.44	Luminaria Solar	LS 150/24DC	\$222.84
3 45	Gabinete lâmpara	G/PL-13	
3 46	Tubo lâmpara	T/PL-13	\$3 00
3 47	Socket	S/PL-9	\$1.41
3 48	Lampara compacta	PL-9DC	\$27 65
3 49	Lâmpara compacta	SL-23	\$41 78
3 50	Balastra	B/PL-9DC	
3 51	Lâmpara compacta	SL*17	\$19 50

INVERSORES

4.01	Inversor 12/115V	UPG400	\$540 00	400
4 02	Inversor 12/115V	UPG700	\$675 00	700
4.03	Inversor 12/115V	UPG1300	\$1,080 00	1300
4 04	Inversor 12/115V	POW-200	\$190 00	140
4 05	Inversor 12/115V	PV400		400
4 06	Inversor 12/115V	PV-1200	\$610 45	1200
4 07	Inversor 12/115V	812		800
4 08	Inversor 12/115V	2512	\$1,667 72	2000
4 09	Inversor 48/115V	SW4048	\$4,511 82	
4 10	Inversor 24/115V	DR2424	\$1,736 00	
4 11	Inversor 24/115V	724	\$976 00	
4 12	Inversor 12/115V	GPI ULTRA 400	\$140 00	400
4 13	Inversor 12/115V	PC-140	\$91 00	140
4 14	Inversor 12/115V	PC-600	\$332 00	600
4.15	Inversor 12/115V	CT1-400	\$297 00	400

UPS

5 01	Sistema Respaldo	812SB	\$850 20
5.02	Sistema Respaldo	2512SB	\$1,956 00
5 03	Sistema Respaldo	2624SB	\$2,296 00
5 04	Sistema emergência	SB400	\$412 00
5 05	Sistema emergência	SB1000	\$1,027 00
5 06	Sistema emergência	SB2000LAN	\$1,792 00

ELECTRIFICADORES

7 01	Electrificador cercas	SOLAR PACK		
------	-----------------------	------------	--	--

PAQUETES

10 01	Paquete F.V. 12V	PAQUETE 40	\$652.70	652.699
10 02	Paquete F.V. 12V	PAQ-60	\$806.38	806.379
10.03	Paquete F.V. 115V	PAQ-402X	\$1,228.32	1228.32
10 04	Paquete F.V. 115V	PAQ-602X	\$1,535.68	1535.68
10.05	Paquete F.V. 12V	PAQUETE 30	\$591.00	591
10 05	Paquete F.V. 12V	PAQUETE 50	\$734.87	734.866
10 07	Paquete F.V. 115V	SISTEMA 384	\$1,017.79	1017.79
10 08	Paquete F.V. 115V	SISTEMA 768	\$1,848.89	1848.89
10 09	Paquete F.V. 115V	SISTEMA 1536	\$3,880.54	3880.54
10 10	Paquete F.V. 115V	SISTEMA 3072	\$7,186.67	7186.67
	Paquete F.V. 115V	SISTEMA 5376	\$11,039.03	11039

UNIDADES MOVILES

11 01	Unidad móvil Solar	UMS-1300	\$6,748.03	
-------	--------------------	----------	------------	--

ACUMULADORES

					A-H	Volts
12.06	Bateria 50 A-H	11FF	\$35.81	\$275.77	50	12
12 07	Bateria 65 A-H	13JD	\$47.15	\$363.06	65	12
12.08	Bateria 135 A-H	23E	\$83.13	\$640.09	135	12
12 09	Bateria 195 A-H	27C	\$103.83	\$799.48	195	12
12 10	Bateria 105 A-H	FP-31-19	\$79.50	\$612.15	105	12
12 11	Bateria 120 A-H	21	\$37.79	\$290.96	120	6
12 12	Acumulador 2V	EHP-19	\$270.00		500	2
12 13	Acumulador 2V	FHP-13	\$414.00		750	2
12 14	Acumulador 2V	FHP-15	\$431.00		875	2
12 15	Acumulador 2V	FHP-17	\$480.00		###	2
12 16	Acumulador 2V	FHP-25	\$666.00		###	2
12 17	Acumulador 2V	FHP-27	\$702.00		###	2
12 18	Acumulador 2V	FHP-29	\$756.00		###	2
	Acumulador 2V	FHP-33	\$864.00		###	2

PROMOCIONALES

21 01	Gorra Solar		\$23.00	
	Solarmetro		\$80.00	

TABLA V.10 Tabla de productos SOLAREX

5.4 Pruebas realizadas a los paneles del sistema.

PRUEBA 5.4.1 DE CIRCUITO ABIERTO EN EL MODULO MSX-64 DE LA MARCA SOLAREX

Esta prueba consiste en conectar un panel MSX-64 en circuito abierto, (con características del capítulo IV.2.4) con la disposición de la figura V.4 y algunos aparatos de medición como son: voltímetro, termómetro, piranómetro y cronometro. Las condiciones y descripción de la tabla V.11 son descritas al finalizar la misma tabla, el comportamiento del panel se observa en la figura V.5.

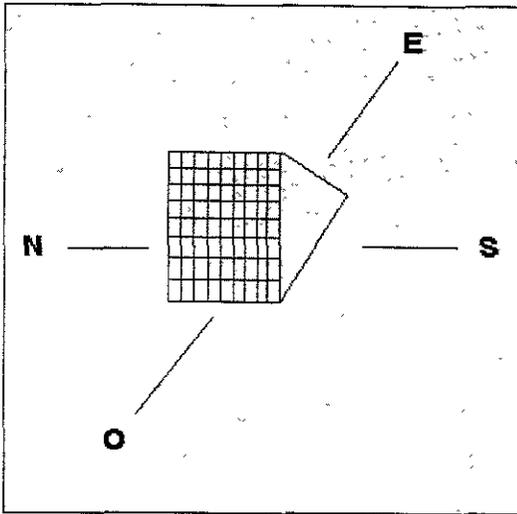


FIGURA V.4 Orientación del panel para la prueba V.4.1

Voc (Volts)	T(° celcius)	SR(watts/m2)	Hr(hr : min)	Lectura
19.6	26	804	13:40	1
18.4	25	890	13:50	2
17.8	21	381	13:55	3
18.4	21	315	14:00	4
19.4	22	802	14:05	5
18.9	24	854	14:10	6
18.8	23	831	14:15	7
18.9	22	785	14:20	8
18.3	23	812	14:25	9
18.8	22.5	790	14:30	10

TABLA V.11 Resultados de la prueba de circuito abierto 5.4.1.

DONDE:

Hr(hr : min) es la hora en que se realizó la medición con el formato de hora y minutos
 SR (watts/m²) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba
 T(° Celcius) es la temperatura registrada en el área de la donde se realizó la prueba
 Voc (Volts) es el voltaje de circuito abierto que nos entrega el módulo fotovoltaico.

Los parámetros de temperatura y radiación solar son tomados del sensor de temperatura y del sensor de radiación solar respectivamente que se encuentran instalados en la torre meteorológica ubicada en el edificio de sismología dentro del Instituto Mexicano del Petróleo, lugar donde se efectuó la prueba ,con latitud de 19° 29' 20" y una longitud de 99° 08' 50.52" con elevación de 2286 metros sobre el eje elipsoidal (datos tomados de un receptor GPS marca ashtech conectado a 7 satélites perteneciente a el departamento de Geofísica). Con respecto a la orientación del módulo este se dispuso de oeste a este con cara al oeste y una inclinación de 13.07°

Como resultado de la tabla V.5 se desprende que el voltaje varia según la intensidad de radiación solar y que los voltajes máximos se alcanzan después de los 800 w/m² arriba de 18 V para esta prueba se escogió un día soleado para poder ver el valor de voltaje máximo

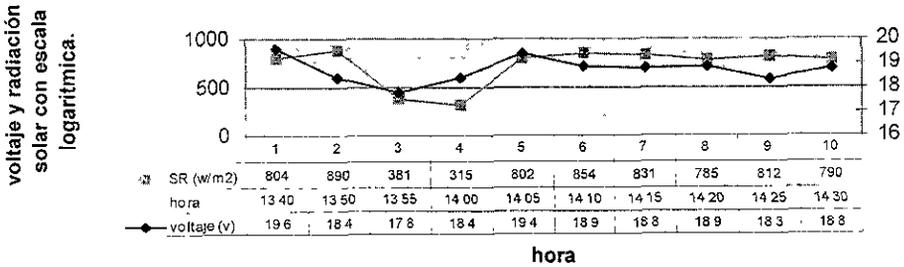


FIGURA V.5 Comportamiento del panel MSX-64 durante la prueba 5.4.1

PRUEBA 5 4 2 DE CIRCUITO ABIERTO EN EL MODULO MSX-64 DE LA MARCA SOLAREX

Esta prueba se desarrollo de igual manera que la anterior pero con diferente orientación (figura V 6), se conectaron algunos sensores más, como el de presión barométrica y humedad relativa Los resultados se muestran en la tabla V.12, debajo de la misma se anotan las condiciones y explicación de la tabla.

El comportamiento del panel en estas condiciones lo vemos en la figura V.7.

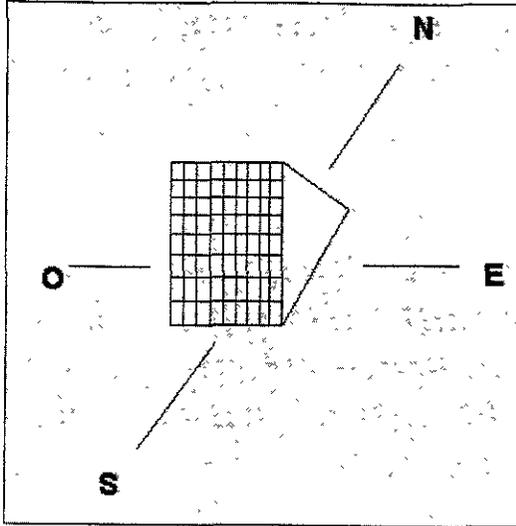


FIGURA V.6 Orientación del panel durante la prueba 5.4.2

Voc (volts)	SR(w/m ²)	T (° celcius)	Hr (hr : min)	RH (%)	BP (mbar)
18.94	675.00	23.50	11:30	23.5	786
18.00	726.00	26.00	11:55	21.4	705
17.96	754.00	27.10	12:30	22.8	705
18.03	800.00	27.70	12:45	21.2	705
17.68	800.00	27.00	12:55	20.6	785
17.63	752.00	28.50	13:05	21.2	762
17.84	795.00	28.90	13:21	21.4	762
18.15	790.00	29.00	13:35	21.2	762

TABLA V.12 Resultados de la prueba 5.4.2 de circuito abierto.

DONDE:

Voc (Volts) es el voltaje de circuito abierto que nos entrega el módulo fotovoltaico
 SR(w/m²) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba
 T (° celcius) es la temperatura registrada en el área de la donde se realizó la prueba
 Hr (hr : min) es la hora en que se realizó la medición con el formato de hora y minutos.
 RH (%) es el valor de humedad relativa en el área donde se realizó la prueba
 BP (mbar) es el valor de presión barométrica en el área de la prueba.

La figura V.7 nos muestra como al variar la radiación solar varia también en proporción directa el voltaje y la temperatura

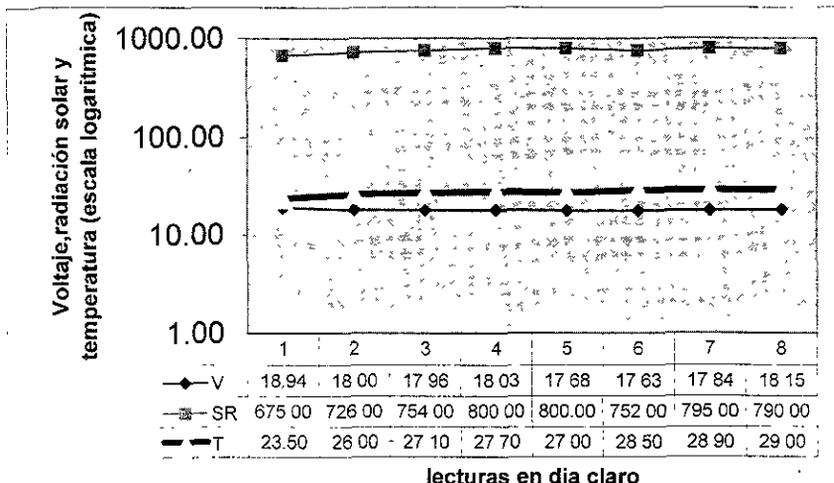


FIGURA V.7 Comportamiento del panel MSX-64 durante la prueba 5.4.2

PRUEBA 5.4.3 CARGAS DE 1 A 6 OHMS PARA DETERMINACION DE CORRIENTES MAXIMAS EN LEL MODULO MSX-64 DE LA MARCA SOLAREX

En esta prueba se instalo un panel MSX-64 conectado a una resistencia variable de 1-6 ohms con la orientación de la figura V.6 con las condiciones señaladas en la tabla de resultados V.13 donde se observo el comportamiento de la figura V.8

R (Ohms)	i (Amp)	V (volts)	SR(watts/m2	T (°celcius)	Hr (hr : min)	Clima
5.75	0.83	4.5	219.8	18	11:35	Nublado
5.75	1.08	6	294.3	19	11:38	Nublado
5.1	1.45	6.56	385.8	19.5	11:44	Nublado
5.1	0.83	3.7	214.9	19.5	12:00	Nublado
4.2	0.84	3.14	208.8	19.5	12:06	Nublado
4.2	0.68	2.5	163.6	19	12:11	Nublado
3.3	0.63	1.8	157.5	19	12:16	Nublado
3.3	0.7	2.17	180.2	19	12:18	Nublado
2.1	0.8	1.29	195.4	19	12:20	Nublado
2.1	0.86	1.4	214.9	19	12:30	Nublado
1	0.99	0.66	249.7	19	12:34	Nublado
1	0.61	0.43	150.2	19	12:45	Nublado

TABLA V.13 Resultados de la prueba V.4.3 con cargas de 1 a 6 ohms.

DONDE

Clima nos representa las condiciones favorables o no para la captación solar
 Hr(hr . min) es la hora en que se realizó la medición y el formato de hora y minutos
 T(° celcius) es la temperatura registrada en el área de la donde se realizó la prueba
 SR(watts/m2) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba
 Voc (Volts) es el voltaje que entrega el módulo fotovoltaico.
 I (Amp) es la corriente que circula por la carga cuando se le conecta una carga como la indicada
 R (ohms) nos representa la carga que tenemos conectada en el circuito del cual mostramos

Con respecto a la orientación del módulo este se dispuso de norte a sur con cara al sur y una inclinación de 13 07°

En esta prueba el valor de la radiación no fluctuaba mucho (día nublado) y se observa que al disminuir la resistencia disminuye el voltaje y la corriente

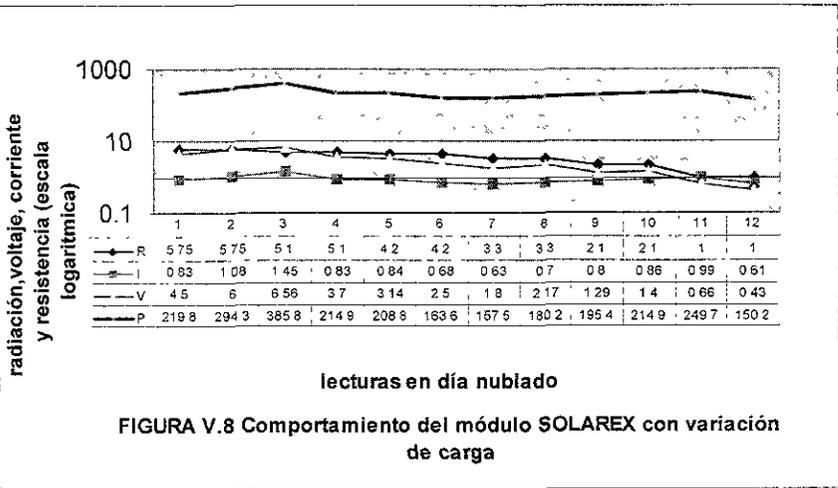


FIGURA V.8 Comportamiento del módulo SOLAREX con variación de carga

PRUEBA 5.4.4 DE CARGAS DE 1 A 8 OHMS PARA DETERMINACION DE CORRIENTES MAXIMAS EN LA CELDA MSX-64 DE LA MARCA SOLAREX

Esta prueba se realizo de igual forma que la anterior pero con diferentes condiciones meteorológicas como se observa en la tabla V.14, el comportamiento del panel lo vemos en la figura V.9

R (Ωhms)	I (Amp)	V (volts)	SR(w/m2)	T (° celcius)	Hr (hr : min)	Clima
7.5	2.54	14.46	688.7	22	11:00	Despejado
5.75	2.68	13.95	705.2	22	11:05	Soleado
5.1	2.93	13.01	705.2	22	11:07	Despejado
4.2	3.05	11.13	705.2	22	11:10	Soleado
3.3	3.21	9.21	720	23	11:15	Despejado
2.1	3.36	5	755	24	11:20	Soleado
1	3.36	1.38	752	24	11:25	Despejado

TABLA V.14 Resultados de la prueba 5.4.4 con cargas de 1 a 8 ohms

DONDE:

Clima nos representa las condiciones favorables o no para la captación solar

Hr(hr : min) es la hora en que se realizó la medición y el formato de hora y minutos

T(° celcius) es la temperatura registrada en el área de la donde se realizó la prueba

SR(watts/m2) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba

Voc (Volts) es el voltaje que entrega el módulo fotovoltaico.

I (Amp) es la corriente que circula por la carga cuando se le conecta una carga como la indicada.

R (Ωhms) nos representa la carga que tenemos conectada en el circuito

Los resultados de esta prueba obtenidos en la figura son, que después de los 750 w/m2 obtenemos una corriente de 3.36 o más que es un dato provechoso ya que según el fabricante estos módulos proporcionan 3.66 A como pico a los 1000 w/m2 La corriente sube al disminuir la resistencia por estar cercana al corto circuito y circular la máxima corriente El voltaje disminuye al disminuir la resistencia por estar cercana el corto circuito. Con respecto a la orientación del módulo este se dispuso de norte a sur con cara al sur y una inclinación de 13.07

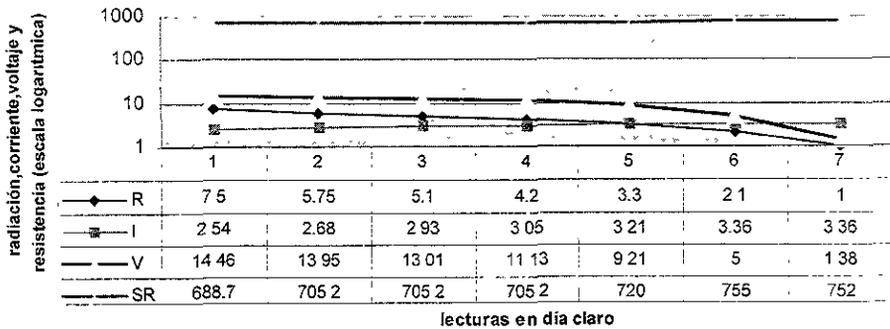


FIGURA V.9 Grafica variando la carga en un día claro

PRUEBA 5.4.5 DE CARGAS DE 1 A 8 OHMS PARA DETERMINACION DE CORRIENTES MAXIMAS EN LA CELDA MSX-64 DE LA MARCA SOLAREX

En esta prueba se le dio al panel un ángulo mayor, para observar su comportamiento, podemos observar los resultados en la tabla V.15

R (Ωhms)	I (Amp)	V (volts)	SR(watts)	T (° celcius)	Hr (hr · min)	Clima
7.5	2.57	14.86	830	24.5	11:55	Despejado
5.75	2.7	14.51	815	24	11:57	Soleado
5.1	3	13.28	803	26	12:30	Despejado
4.2	3.3	12	790	26	12:33	Soleado
3.3	3.61	10.14	812	25.5	12:35	Despejado
2.1	3.72	5.5	815	26	12:40	Soleado
1	3.72	1.43	812	26	12:50	Despejado

TABLA V.15 Resultados de la prueba V.4.5 con cargas de 1 a 8 ohms

DONDE

Clima nos representa las condiciones favorables o no para la captación solar

Hr(hr · min) es la hora en que se realizó la medición y el formato de hora y minutos

T(° celcius) es la temperatura registrada en el área de la donde se realizó la prueba

SR(watts/m²) es la potencia de la radiación solar en el punto donde se realizó la prueba

Voc (Volts) es el voltaje que entrega el módulo fotovoltaico.

I (Amp) es la corriente que circula por la carga cuando se le conecta una carga como la indicada.

R (Ωhms) nos representa la carga que tenemos conectada en el circuito

Las tres pruebas anteriores se hicieron con el panel fotovoltaico dispuesto de norte a sur con cara al sur y con inclinación pero con diferente inclinación, ya que ésta última se realizó con una inclinación de 25°

En la figura V.10 se observa que la corriente aumenta conforme disminuye la resistencia porque la resistencia tiende al corto circuito. El voltaje disminuye conforme disminuye la resistencia porque la resistencia tiende al corto circuito

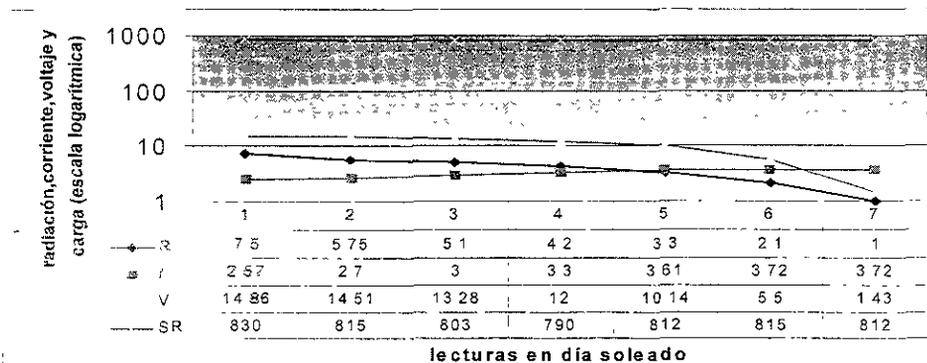


FIGURA V.10 Comportamiento del panel MSX-64 durante la prueba V.4.5 con cargas de 1 a 8ohms

5.5 Respuesta del sistema

PRUEBA 5.5.1 DE LA FUENTE CON UN FOCO DE 150 W DE 120 V Y TRES DE 40W DE 12V

En esta primera prueba se conectaron un foco de 150W a la salida del inversor de la fuente y después, 3 focos de 40W a la entrada del inversor de la fuente.

Los resultados fueron los siguientes:

Consumo real del foco de 150w:
Corriente x Voltaje de la fte =Potencia
 $1.17 \text{ A} \times 137.4 \text{ Vac} = 160.76\text{W}$

Como la potencia es la misma en ac y dc calcule la corriente en base al voltaje

Potencia / Voltaje = Corriente
 $160.76 \text{ W} / 11.7 \text{ Vdc} = 13.74 \text{ A}$

la causa de la diferencia entre lo teórico y lo real (los 160 contra los 150 del fabricante) puede ser que al conectarlo consume un poco más porque esta frío pero una vez caliente se normalizara.

Consumo calculado de tres focos de 40w (120w en total):

Voltaje(V) x Corriente (A) = Potencia(W), despejando la corriente
 $I_{\text{total}} = P/V$
 $120 \text{ W} / 12\text{V} = 10.00 \text{ A}$
por lo tanto cada batería(son 4) la corriente total se divide la total entre 4
 $10.00 \text{ A} / 4 = 2.5 \text{ A}$

Consumo real de tres focos de 40w (120w en total):

Voltaje(V) = 12.4
 $I_{\text{total}} = 7.8$
por lo tanto cada batería(son 4) la corriente total se divide la total entre 4
 $7.8 \text{ A} / 4 = 1.95\text{A}$

La razón que la corriente en los focos de 40w sea menor al ser alimentados con la fuente se debe a que el voltaje es mayor y entonces el consumo no se ve afectado marcadamente

PRUEBA 5.5.2 DE LA FUENTE DE ENERGIA ELECTRICA.

Además de la fuente de energía eléctrica por medio de energía solar se ha pensado desarrollar en un proyecto aparte, un sistema de acondicionamiento de aire por medio de energía solar, pero como no podemos contar aun con ese sistema, se decidió verificar si los elementos de un sistema de acondicionamiento de aire convencional funcionaba correctamente con esta fuente.

La segunda prueba consistió entonces, en verificar si la fuente era capaz de hacer funcionar los siguientes equipos:

Un motor de doble eje que servirá de ventilador para el sistema de refrigeración y con dos analizadores de so2

Primeramente se checo el voltaje en las baterías y el voltaje de los paneles registrándolos en la tabla V.16

	Batería 1	Panel 1	Batería 2	Panel 2	Batería 3	Panel 3	Batería 4	Panel 4	hora
V i =	11.79		11.25		11.57		11.04		14:00
V =		12.6		12.36		12.62		12.34	14:10
V =	12.35		11.96		12.23		11.84		14:40

TABLA V.16 Voltaje en las baterías y paneles al momento de la prueba.

El motor de doble eje arranco accionado por la fuente de energía eléctrica sin problema alguno

El analizador numero 1 de thermo enviromental corporation modelo 43 tuvo una serie de problemas para finalmente no arrancar.

El analizador numero 2 de thermo enviromental corporation modelo 43a si arranco pero tomaba un valor de corriente de 0.62a dato un poco extraño ya que al conectarlo a la línea del a.c. mostraba un valor de 1.3A

PRUEBA 5.5.3 DE LA FUENTE DE ENERGIA ELECTRICA.

En esta tercera prueba para la fuente de la figura V.3 las cargas fueron un compresor y un ventilador pertenecientes al acondicionamiento de aire diseñado de otro proyecto y los resultados fueron los siguientes:

En primer lugar se tomaron los valores de consumo de cada uno con la línea de AC para después compararlos con los de la fuente:

⇒ Prueba de funcionamiento del compresor con a.c.

El compresor es de 1/8 de hp y 17.5 a de arranque

Consumo:

Corriente x Voltaje = Potencia

1.6A x 127V = 203.2W

⇒ Prueba de funcionamiento del ventilador con a.c.

Consumo

Corriente x Voltaje = Potencia

$$0.9 \text{ A} \times 127 \text{ V} = 114.3 \text{ W}$$

⇒ Prueba de funcionamiento del ventilador con la fuente de alimentación por medio de energía solar

Corriente x Voltaje = Potencia

$$0.8 \text{ A} \times 135 \text{ V} = 108 \text{ W}$$

⇒ Prueba de funcionamiento del compresor con la fuente de alimentación por medio de energía solar

El compresor no funcionó y entonces al checar la señal de onda del inversor con el osciloscopio se detecto lo siguiente:

la señal es cuadrada con un periodo de 11.2 mseg

T(ms)	Frecuencia (Hz)= 1/T
11.2	89.29

TABLA V.17 Frecuencia de la señal del inversor de la fuente.

La frecuencia de la tabla V.17 es de aproximadamente 90 Hz, siendo que la frecuencia debe ser de 60 Hz, lo que nos hace suponer que la frecuencia no permite que el motor arranque.

Al hacer esta misma prueba con la señal de un contacto del IMP: la señal es senoidal con un periodo de 16.5 mseg (tabla V.18) con una frecuencia de 60Hz, frecuencia apropiada para alimentar los equipos.

T(ms)	Frecuencia f(Hz)= 1/T
16.5	60.61

TABLA V.18 Frecuencia de la señal del inversor de la fuente.

Cambiando la base de tiempo (basada en un capacitor y una resistencia) del dispositivo, por medio de un a resistencia variable se logro corregir la frecuencia de 90 Hz a la deseada.

PRUEBA 5.5.4 DE COMPARACION DE LOS VALORES DE LA FUENTE EN CONDICIONES DE VACIO Y ALIMENTADO AL ANALIZADOR.

En esta prueba se puso la fuente en condiciones de vacío y conectada como aparece en la figura V.3 con el analizador de SO₂, y se tomaron las siguientes lecturas:

En vacío

Vcelda=14.3V

Vbat=13.8V

Vcarga=13.8V

Con el analizador

Vcelda=13.8

Vbat=13.5

Vcarga=12.71

Obteniendo los datos por batería y panel y con dos aportaciones distintas:

Con el analizador

Vcelda=12.6V

Vbat=12.45V

Vcarga=11.66V

Icelda=0.6A

SR=110 W/m²

Ibat=2.2A

Itotal=12A en el lado de 12 V

Con el analizador

Vcelda=12.52

Vbat=12.33

Vcarga=11.55

Icelda=0.27

Ibat=2.4

SR=100 W/m²

Iso₂=13 en el lado de 12 V

Con el analizador

Vcelda=12.6

Vbat=12.3

Vcarga=11.51

Icelda=0.27

Ibat=2.4

SR=100 W/m²

Iso₂=14 en el lado de 12 V

Iso₂=1.63 en el lado del inversor

NOTA :El analizador consume 15A en el lado de 12v c.d. en el arranque, y al estabilizarse consume 12 a 12 v en el lado de c.d. y en las baterías se toman una corriente de 2A pero depende de la aportación de las celdas.

Todos los valores son los medidos inversor Iso2=2.05A a 120 V en la línea de A.C.

PRUEBA 5.5.5 DE LA DESCARGA DE LAS BATERÍAS DE LA FUENTE ALIMENTADO AL ANALIZADOR.

En esta prueba se conecto el analizador de SO₂ que se ve en la figura V.11 y se dejo que las baterías se descargaran hasta que los controladores detuviera la descarga para proteger las baterías, y de este modo saber cuantas horas puede el equipo ser alimentado por la fuente con las baterías solamente, con los datos se generó la tabla V.19

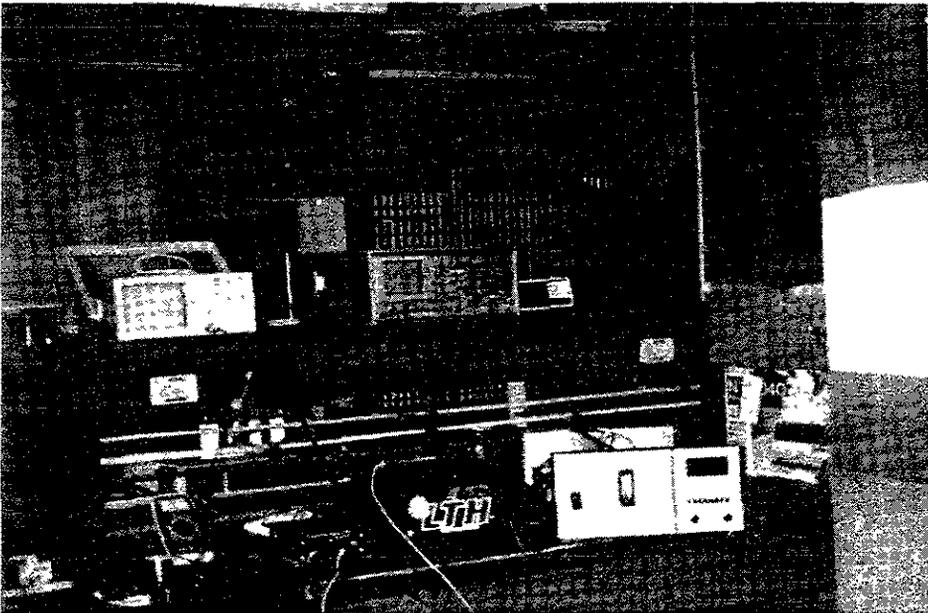


FIGURA V.11 Pruebas con el analizador

Vcelda	lcelda	Vcarga	Iso2 DC	Iso2 AC	Vbat	Ibat	Hora
1.52	0.00	12.92	10.00	1.11	12.99	0.50	11:56
1.52	0.00	12.32	12.00	1.67	12.27	2.20	12:00
1.52	0.00	12.06	12.00	1.62	12.64	2.40	12:02
1.52	0.00	11.78	12.00	1.60	12.35	2.80	12:35
1.52	0.00	11.77	12.00	1.58	12.33	2.80	12:50
1.52	0.00	11.72	13.00	1.58	12.31	3.00	13:26
1.52	0.00	11.69	13.00	1.57	12.30	3.20	13:43
1.52	0.00	11.62	13.00	1.55	12.28	3.20	14:03
1.52	0.00	11.60	13.00	1.54	12.12	3.40	15:19
1.52	0.00	11.50	13.00	1.54	12.18	3.50	16:21
1.52	0.00	11.50	13.50	1.55	12.18	3.50	16:21
1.52	0.00	11.46	13.50	1.54	12.15	3.70	17:03
1.52	0.00	11.50	13.50	1.54	12.12	3.80	17:39
1.52	0.00	11.40	13.50	1.53	12.09	3.95	18:25
1.52	0.00	11.41	13.50	1.52	12.05	4.00	19:09
1.52	0.00	11.32	13.00	1.51	11.98	4.20	20:29
1.52	0.00	11.24	13.00	1.50	11.93	4.39	21:22
1.52	0.00	11.24	13.00	1.50	11.93	4.40	21:40
1.52	0.00	12.04	0.00	1.50	12.07	4.30	21:50
1.52	0.00	11.18	0.00	0.00	12.10	3.00	22:00
1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22:05

TABLA V.19 Descarga de las baterías de la fuente

NOTA: se experimento con un variac para ver la respuesta del analizador a diferentes voltajes: al disminuir el voltaje varia la corriente(disminuye) debido a que cuando no hay voltaje no hay suficiente presión para poder hacer circular la corriente. al aumentar el voltaje que ocurre cuando el voltaje es controlado por el variac, el equipo sigue consumiendo la corriente de diseño pero por el aumento de voltaje tiene que disipar mayor potencia, y el trabajar en esas condiciones afecta al equipo. finalmente como el voltaje que entrega el inversor varia según la carga que se le conecta decimos que la regulación de voltaje del inversor es mala. la corriente marcada como de la batería (ibat) es la de una de las cuatro baterías conectadas de 115 a-hr modelo fp-31-19.y la total es la marcada como del analizador.(iso2).

Nota 2: el inversor requiere de un ventilador (Capitulo 4.5.2) que no se conecto de la fuente sino de la línea de contactos del imp y se conecto a las 4.21 por esa razón en esa hora disminuyo la corriente.

Nota 3: El voltaje de las baterías a las 21:50 aumentó debido a que accidentalmente se desconectó el equipo y al conectarlo aparentaban tener un voltaje de 12.07 pero bastaron diez minuto para mostrar que este voltaje no era un valor verdadero.

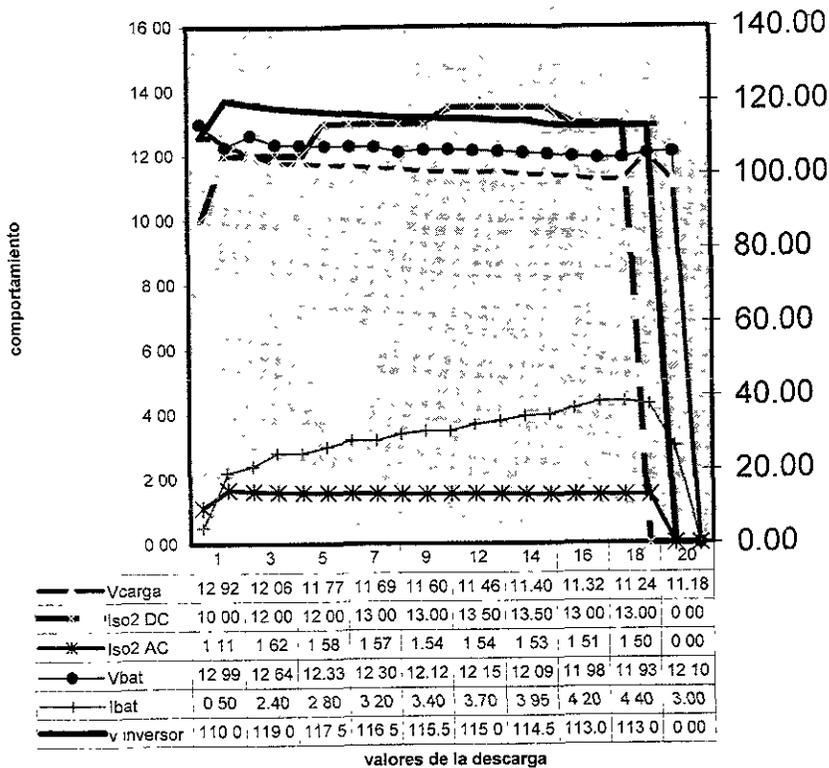


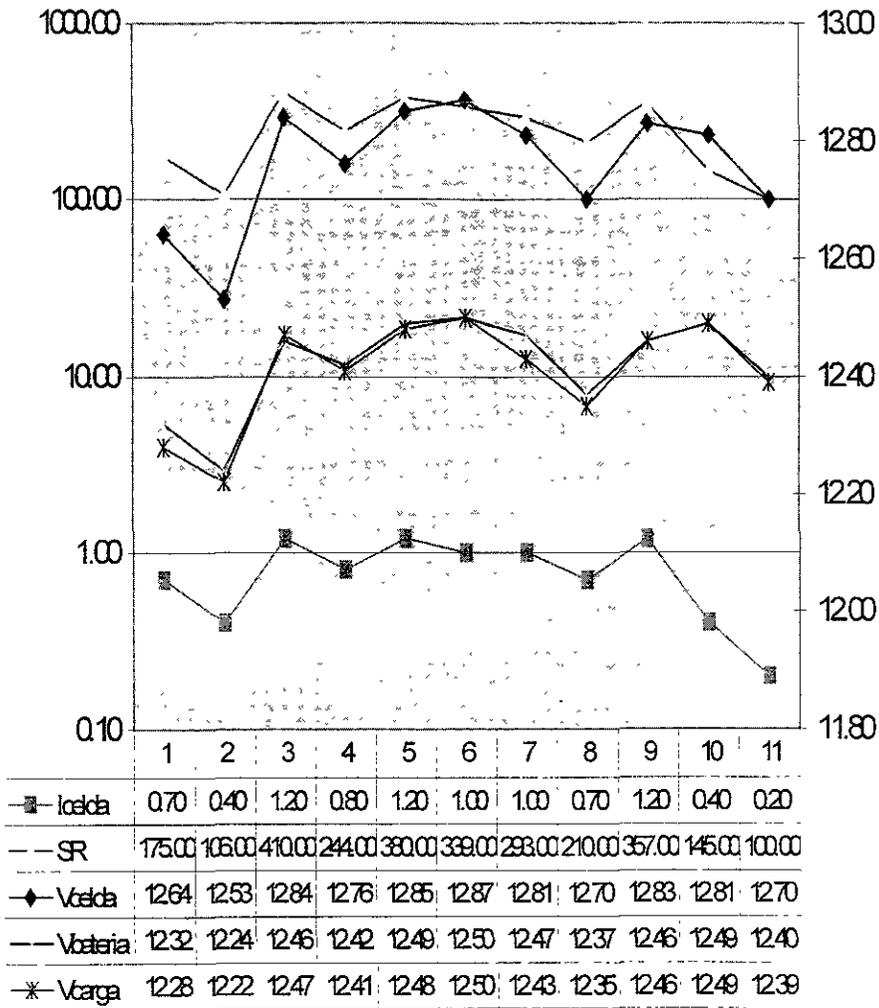
figura V.12 Gráfica de descarga

PRUEBA 5.5.6 DE LA CARGA DE LAS BATERIAS DE LA FUENTE ALIMENTADO AL ANALIZADOR DE SO2.

Esta prueba consistió en cargar las baterías durante 3 días de octubre (Figura III.15) mostrando los valores para el primer día en la tabla V.20 observando el valor inicial y final del voltaje durante el día como datos importantes, además se muestran también los valores de otros dos días en la tabla V.21 y V.22.

El comportamiento lo podemos ver mejor en la figura V.13

corriente y voltaje de celdas y baterías (escala
logarítmica) con un eje separado para SR



lecturas de unda

FIG. RA. V. 13 Gáfica de carga

HORA	Vcelda	I de celda	SR	Vbateria	Vcarga
9:40	12.64	0.70	175.00	12.32	12.28
10:13	12.53	0.40	106.00	12.24	12.22
10:45	12.84	1.20	410.00	12.46	12.47
11:19	12.76	0.80	244.00	12.42	12.41
11:40	12.85	1.20	380.00	12.49	12.48
12:25	12.87	1.00	339.00	12.50	12.50
13:08	12.81	1.00	293.00	12.47	12.43
13:36	12.70	0.70	210.00	12.37	12.35
14:44	12.83	1.20	357.00	12.46	12.46
16:01	12.81	0.40	145.00	12.49	12.49
16:45	12.70	0.20	100.00	12.40	12.39

TABLA V.20 Valores de voltaje en los paneles, batería y carga (en vacío) cuando existe aportación de los paneles a las baterías el día 14 de octubre.

HORA	Vcelda	I de celda	SR	Vbateria	Vcarga
9:21	12.59	0.40	119.00	12.28	12.28
10:26	12.78	1.00	346.00	12.43	12.44
12:16	13.23	2.40	744.00	12.74	12.83
13:28	13.28	2.40	833	12.79	12.89
14:19	13.28	1.80	566.00	12.83	12.91

TABLA V.21 Valores de voltaje en los paneles, batería y carga (en vacío) cuando existe aportación de los paneles a las baterías el día 15 de octubre.

HORA	Vcelda	I de celda	SR	Vbateria	Vcarga
9:29	12.73	0.40	127.00	12.28	12.28
13:08	13.51	2.40	775.00	12.43	12.44

TABLA V.22 Valores de voltaje en los paneles, batería y carga (en vacío) cuando existe aportación de los paneles a las baterías el día 16 de octubre.

PRUEBA 5.5.7 DE COMPORTAMIENTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACION POR MEDIO DE ENERGIA SOLAR CON DIFERENTES CARGAS.

En esta prueba se conectaron distintos números de focos de 40 w (figura V.14) como carga y se generó la tabla V.23

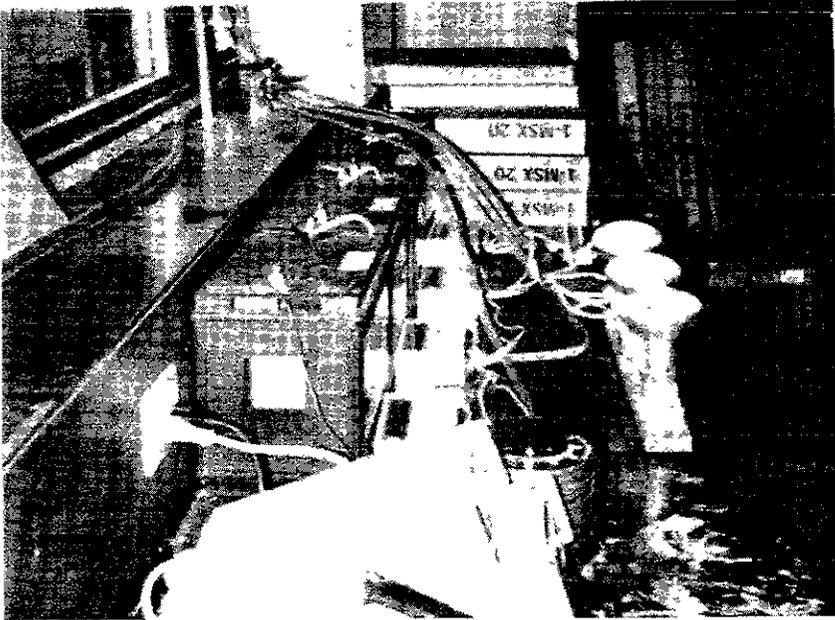


FIGURA V.14 Prueba de la fuente con focos de 40w

hora	I de la celda (A)	V de la batería (V)	I de la batería (A)	Vde la carga (V)	I de la carga (A)	HORA Hr:min	CARGA CONECTADA (W)	CONSUMO teórico (A)	W	A	V	RADIACION (W/m ²)
12.13	0.00	12.68		12.53	2.84	9:14						179.00
12.34	0.00	12.69		12.58	2.84	9:27						226.00
12.10	0.00	12.60		12.53	2.84	9:51						229.00
13.20	0.90	12.60		12.50	2.84	10:28						312.00
12.75	1.51	12.45	1.60	12.33	2.84	11:00	1 foco de 40w	3.33	40.	3.00	12	465.00
12.74	2.00	12.48	1.20	12.31	2.84	12:00	1 foco de 40w	3.33	40.	1.20	12	416.00
12.40	1.75	12.56	1.40	12.39	2.84	12:56	1 foco de 40w	3.33	40.	3.00	12	570.00
13.13	3.09	12.60	0.00	12.50	2.84	13:33	1 foco de 40w	3.33	40.		12	952.00
12.69	2.92	12.40	2.80	12.00	5.30	13:45	2 foco de 40w	6.66	80.		12	880.00
12.78	2.40	12.53	5.80	12.02	7.67	14:24	3 " " de 40w				12	683.00
12.85		12.57		12.57		16:54	1 foco de 40w				12	39.00
12.68		12.50		12.15		16:55	2 " " de 40 w	6.66	80.	5.30	12	39.00
12.45		12.37		11.78		16:56	3 " " de 40 w	9.99	12	7.67	12	39.00

12.54	0.59	12.30	2.20	12.08	2.74	9:25	1 foco de 40w	3.33	40.	2.74	12.	195.00
12.54	0.82	12.29	2.00	12.03	2.83	10.00	1 foco de 40w	3.33	40.	2.83	12.	35.00
12.86	3.58	12.41	0.00	12.20	2.81	10.38	1 foco de 40w	3.33	40.	2.81	12.	766.00
12.64	2.45	12.34	1.50	12.10	2.76	11:13	1 foco de 40w	3.33	40.	2.76	12.	384.00
12.67	2.00	12.38	1.20	12.13	2.73	11:44	1 foco de 40w	3.33	40.	2.73	12.	356.00
12.56	1.40	12.30	3.80	11.83		12.34	2 " " de 40w	6.66	80.		12.	661.00
12.62		12.33	2.00	12.12		12:40	1 foco de 40w	3.33	40.		12.	
12.72	2.90	12.36	0.00	12.22	2.80	13:53	1 foco de 40w	3.33	40.	2.80	12.	612.00
12.43	3.60	12.17	4.40	11.53	7.50	14.26	3 " " de 40w	10.00	120	7.50	12.	960.00
12.23	2.00	12.08	6.00	11.03	7.50	14:55	3 " " de 40w	10.00	120	7.50	12.	561.00

TABLA V.23 Comportamiento de la fuente con 40w, 80w y 120w

Una mejor interpretación de los resultados con carga de 40,80 y 120 w la podemos obtener con las gráficas V.15 al V.19.

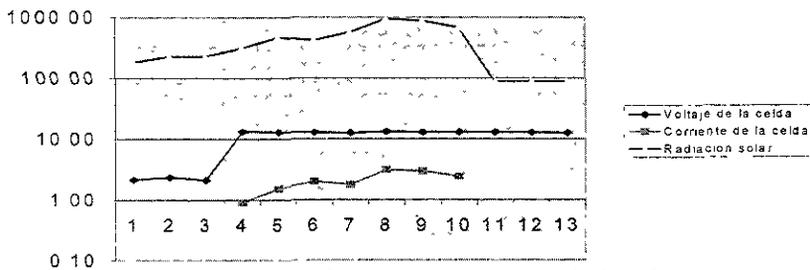


FIGURA V.15 Comportamiento del voltaje y corriente en el módulo

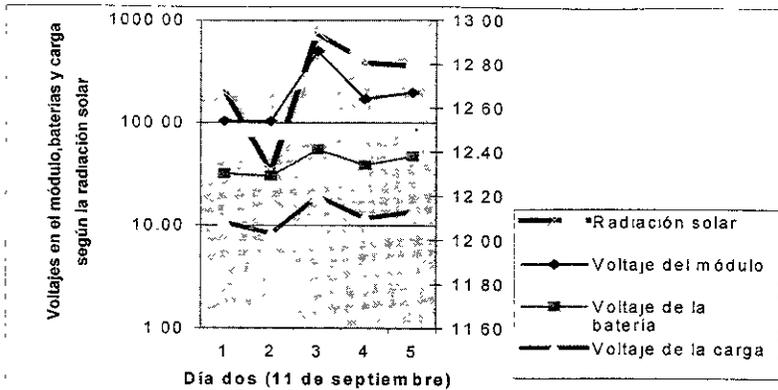


FIGURA V.16 Comportamiento de voltajes según la radiación solar y carga de 40 w (foco de DC)

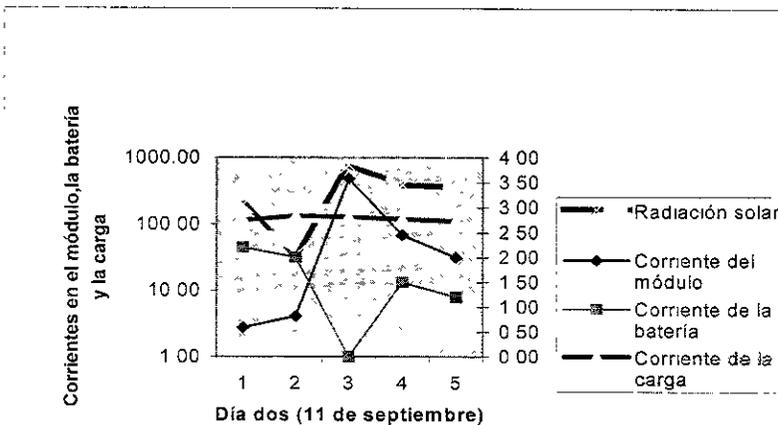


FIGURA V.17 Grafica del comportamiento de corrientes según la radiación solar y carga de 40 w (foco de DC)

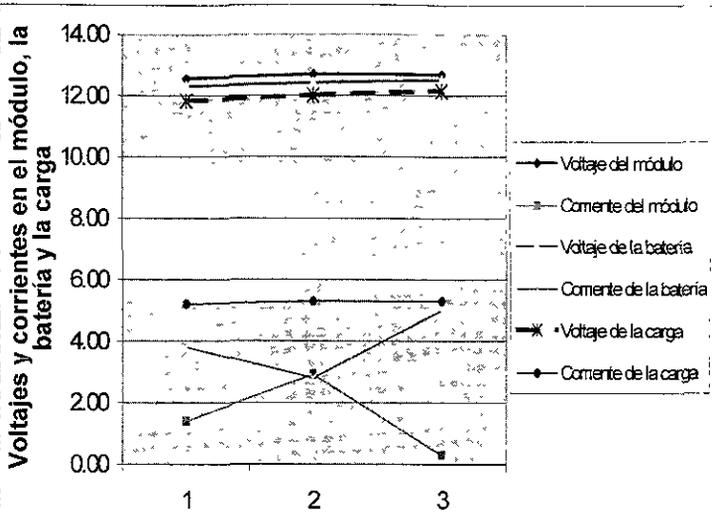


FIGURA V.18 Comportamiento del sistema con carga de 80 w

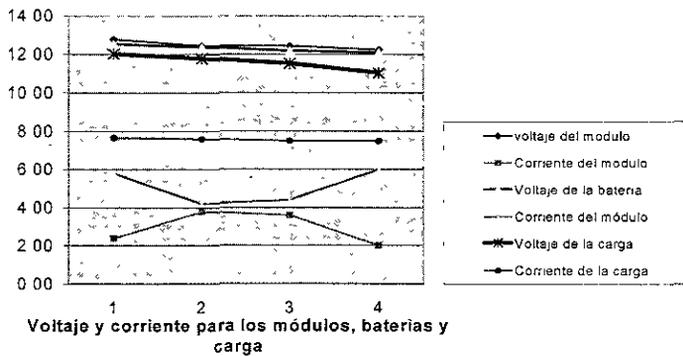


FIGURA V.19 Gráfica del sistema con carga de 120 W

CONCLUSIONES

En el Laboratorio de Calibración, perteneciente al Area de Monitoreo dependiente de la Gerencia de Ciencias del Ambiente de la Subdirección de Protección Ambiental, donde hasta la fecha se realizan para PEMEX monitoreos perimetrales punto por punto con un estudio previo de los sitios con más afección o impacto en la dispersión de algunos contaminantes, surgió el propósito de manejar otro tipo de monitoreos que sean más confiables, en tiempo real de varios puntos a la vez y con mayor facilidad al acceso de información resultante como puede ser a través de una red. Como los monitoreos se realizan en zonas alejadas de las líneas de electricidad, nació la idea de diseñar y construir un sistema de energía eléctrica a base de celdas fotovoltaicas, con la finalidad de alimentar y a la vez proporcionar autonomía de operación en campo a los equipos con que se lleva a cabo el monitoreo ambiental: analizadores de SO₂, O₃, NO_x, CO H₂S, NO₂ así como a estaciones meteorológicas.

Se integró un sistema formado por celdas fotovoltaicas que entregan la corriente de CD que se almacena en un banco de baterías y por medio de varios controladores de carga se controla el flujo de corriente de las baterías y se impide el regreso de corriente a las celdas, la corriente de CD antes mencionada pasa por otro elemento llamado inversor que transforma la CD a CA.

En base a los resultados de cálculos realizados en el capítulo III y los datos mostrados de pruebas efectuadas en el capítulo V se observa que el equipo utilizado en el sistema analizado nos brinda una capacidad aproximada para alimentar a cualquier analizador durante 12 Hr. (4 Hr. con presencia del sol por medio de las celdas y 8 Hr de respaldo sin sol por medio de las baterías). Dado que 4 horas dependen de la actividad solar y están presentes diariamente, podemos disponer de alimentación de 4 horas diarias y un respaldo de 8 horas gracias a las baterías pudiendo alternar con otro tipo de alimentación. De este modo la fuente operaría 4 horas en un sistema híbrido.

Este trabajo ha despertado el interés del Area de Monitoreo pensando en mejorar este sistema con el que se sientan las bases para poder alimentar en forma total los equipos de monitoreo y con suficiente autonomía para varios días sin insolación, revisando posibles caídas de tensión, optimizando o cambiando el inversor, analizando la factibilidad de adaptar los equipos para alimentarse con C.D., mejorando la circuitería de control o logrando un menor consumo de potencia eléctrica del analizador haciendo que su funcionamiento sea intermitente tomando mediciones solo cada 15 minutos. Tomando en cuenta que los dispositivos como las celdas y las baterías tendrán que mejorar sus características eléctricas (producción de electricidad, ciclos de carga descarga etc..) y que los equipos de monitoreo consumen cada vez menos energía podemos pensar con una fuente más eficiente con menor número de celdas y de baterías con dispositivos más compactos

Algunas de las cuestiones de más interés sin duda que se encontraron en la realización de este trabajo, fueron hallar las condiciones atmosféricas pertinentes para las pruebas, analizar formas para realizar las mediciones de corriente ya que a la salida de las celdas esta corriente es un poco elevada para los multímetros comerciales, ver una forma de desconexión de los equipos que se conectan a la fuente cuando se tiene un bajo nivel de voltaje, idear pruebas con las que se evaluaron los controladores, descubrir la forma de modificar la frecuencia del inversor empleado una vez que se encontró que no operaba en la frecuencia adecuada, la forma en que se dio solución al arranque de un motor perteneciente al sistema de aire acondicionado para los equipos de monitoreo propuesto en otro tema de tesis paralelo a este trabajo, ponen de manifiesto la riqueza de conocimientos y experiencia que lleva consigo la integración de todos los elementos que constituyen esta fuente permitiendo conocer acerca de los módulos y baterías, para que con toda ésta información, en un futuro se puedan diseñar y construir mejores modelos que coloquen al área de Monitoreo en una posición más competitiva, aumentando su capacidad de monitoreo.

Es importante considerar que en esta integración tecnológica, de acuerdo a los resultados reportados en este trabajo, arrojan un resultado desde el punto de vista técnico positivo, esto quiere decir que se considera factible la utilización de este tipo de sistemas de manera práctica para mejorar la calidad de los monitoreos en campo, entre otras aplicaciones; sin embargo desde el punto de vista económico aún hay un camino largo por recorrer debido a que éste desarrollo sólo ha cubierto su etapa inicial que corresponde a sentar las bases teóricas de este sistema para posteriormente pasar a la etapa de optimización en la cual se buscará la viabilidad económica.

GLOSARIO

CA y CD

Los módulos PV, por sus propiedades eléctricas, producen corriente directa en lugar de corriente alterna. La corriente directa es la corriente eléctrica que fluye en una sola dirección. Muchos dispositivos simples, tales como los alimentados por baterías, usan corriente directa. La corriente alterna, en contraste, es corriente eléctrica que fluye alternando su dirección en un intervalo de tiempo regular. Este es el tipo de energía que provee CFE o compañías eléctricas y es requerida para que funcionen los modernos aparatos y dispositivos electrónicos.

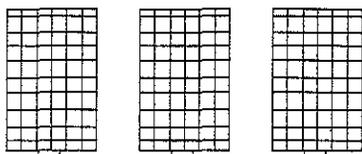
Arreglos y baterías

Un arreglo solar constituye un arreglo ordenado de paneles, eléctricamente conectados en circuitos, que tienen apariencia de filas y columnas.

Las celdas solares son aquellas que producen electricidad de la luz solar directamente sin utilizar un proceso químico, mientras que las baterías o celdas electroquímicas la producen sin la luz del sol por la conversión química de una sustancia dentro de otra.

Arreglos, panel, módulo, celdas y componentes

A excepción de lo pequeño de ellas, los paneles solares son fabricados e instalados en varias piezas. Conocidos como subensambles de celdas solares, módulos, paneles, subarreglos, y otros. Para minimizar el uso del mismo termino para describir diferentes componentes, el término de módulo de celdas solares, o simplemente módulo, es usado en este trabajo para denotar tanto un pequeño



Arreglo



Panel



Módulo



Celda

arreglo o una porción de un gran arreglo que es una entidad mecánica autocontenida en cuanto a fabricación, pruebas, y ensamblaje se refiere, debido a sus características eléctricas.

Tipos de arreglo

Los arreglos de las celdas solares pueden ser clasificados dentro de diferentes tipos de acuerdo al propósito, construcción, orientación al sol, uso de concentrador de luz, o aplicación como sigue:

Los **Arreglos terrestres** están designados para operar dentro de la atmósfera terrestre y soportar las influencias climáticas relacionadas con el ambiente.

Los **Arreglos espaciales** están designados para operar principalmente fuera de la atmósfera terrestre y soportar el ambiente espacial. Los arreglos sin concentrador, algunas veces llamados arreglos de plato extendido (aunque actualmente existen curvos), simplemente utilizan la luz del sol como cae naturalmente hacia las celdas solares. Las celdas solares pueden o no estar totalmente orientadas hacia el sol. Los arreglos con concentrador utilizan algunos dispositivos para aumentar la intensidad solar en las celdas solares. El incremento de la intensidad llámese solar o concentración de luz es por medio de espejos (reflectores) o lentes (refractores). Los arreglos con concentradores pueden convertir más energía solar con un menor número de celdas solares que en arreglos sin concentrador. Los arreglos extendidos son estructuras planas que tienen todas las caras de las celdas en la misma dirección. Son usadas para aplicaciones terrestres, pueden ser montados en una dirección fija apuntando al sol o en una dirección variable con un equipo de ajuste. Los arreglos curvos utilizan estructuras de celdas solares que son porciones de conchas cilíndricas, cónicas o esféricas. Las celdas solares pueden apuntar hacia fuera de sus lados convexos o hacia adentro de sus lados cóncavos. Sus aplicaciones son tanto terrestres como espaciales, con ajuste solar o sin ajuste. Los arreglos de cuerpo montado, son rígidamente sujetos a la estructura interna de un vehículo, en contraste con los que son montados en estructuras. Los arreglos fijos son rígidamente sujetos a una nave o estructura terrestre. El ángulo entre la superficie de la celda solar y el sol varía continuamente. Los arreglos orientados se ponen en dirección al sol para maximizar la potencia de salida de los arreglos. La orientación de los arreglos hacia el sol es también conocida como seguimiento solar, ajuste solar, se hace con mecanismos de orientación, de ajuste solar. El ajuste solar se puede hacer por movimientos intermitentes o inteligentes. El equipo que desarrolla este ajuste puede utilizar sensores solares en complejos circuitos de retroalimentación o simples contadores que ejecutan movimientos preprogramados.

Existen otros tipos de arreglos, que pueden hacer una lista sin fin, que incluye arreglos balón de gran altitud (medio terrestres, medio espacio); arreglos sumergibles para aplicaciones debajo del agua; arreglos extraterrestres para estaciones en la superficie de Marte o la Luna arreglos ligeros con excepcional potencia por unidad de peso (kilowatts/kg) rendimiento; arreglos de bajo costo por potencia de salida (\$/watt); y muchos otros.

Los arreglos como parte de un sistema de potencia

En la mayoría de las aplicaciones prácticas, los arreglos de celdas solares constituyen el subsistema de generación de potencia dentro de un sistema de potencia.

El subsistema de almacenamiento de energía provee electricidad durante periodos de cuando el arreglo no es (o es insuficientemente) iluminado.

El subsistema de regulación varia la potencia de salida de las celdas y provee un flujo

- **Valores del sistema**

Los arreglos de celdas solares están diseñados para proveer montos constantes de electricidad bajo condiciones seguras. El monto de electricidad requerido puede ser definido por uno o una combinación de los siguientes criterios de comportamiento.

Potencia de salida. También especificada como corriente de salida con un voltaje fijo, esto se refiere a la potencia (watts) disponible en el regulador de potencia o en las terminales de entrada del circuito de carga, y esta especificado tanto en valor pico como promedio generado durante un día. Es especificado bajo condiciones seguras de iluminación, temperatura en la celda, degradación y otros factores.

Energía de salida. Siendo esta el valor de potencia para un tiempo integrado, la energía (watts-hora) de salida indica el monto de energía producido por el arreglo durante un día. La energía de salida puede ser definida bajo las mismas condiciones que la potencia de salida. Típicamente los artículos de diseño para ser examinados son los siguientes:

- ◆ **Objetivos básicos del diseño**
 - Misión operacional (nivel de radiación alta en el espacio, clima terrestre, etc.).
 - Confiabledad de la misión (probabilidad de éxito de encontrar los objetivos de la misión)
 - Modos de función y características.
 - Características físicas (tamaño, peso, centro de gravedad, etc..).
 - Salida de potencia bajo diferentes condiciones.
 - Extremos ambientales (temperatura, humedad, viento, radiación, etc..).
 - Seguridad y fallas.
- ◆ **Implementación del diseño**
 - Diagrama (de bloques) funcional .
 - Especificaciones del arreglo.
 - Especificaciones de prueba.
 - Seguridad y fallas y provisiones de redundancia

Salida en amperes-hora. Los arreglos entregan electricidad principalmente a las baterías de almacenamiento de energía que son escogidas en términos de su capacidad de amperes-hora.

Eficiencia. También conocida más precisamente como eficiencia de conversión de energía, este parámetro es usualmente dado como la eficiencia de potencia por:

$$\eta_p = \frac{\text{Salida de energía del arreglo}}{\text{Entrada de energía desde el sol}} * 100\%$$

La potencia de salida del arreglo puede estar dada en su valor pico o su valor promedio. La eficiencia de conversión de energía real esta definida por:

$$\eta_p = \frac{\text{Salida de energía del arreglo}}{\text{Entrada de energía del arreglo}} * 100\%$$

La potencia esta dada en unidades de watts, y la energía en unidades de watt-hora. Cualquiera de estos parámetros puede ser indicador de la más alta eficiencia en la cual un sistema podría operar bajo condiciones ideales, o de las condiciones actuales de operación.

Mientras la potencia y la energía de salida pueden ser fácilmente medidos, la potencia o energía de entrada del sol hacia el arreglo de celdas solares que no es una única cantidad definida. Las ambigüedades surgen de definir el área del arreglo. Algunos fabricantes o usuarios de paneles de celdas solares definen el ingreso de energía como cae en la entera, área del arreglo, otros en el área del panel, otros en el área de cada celda, y otros en el área de la celda solar que no esta cubierta por contactos o en las líneas de rejilla.

Peso o Masa. El peso, o (técnicamente más preciso) la masa, de un arreglo expresada en kg, indica cuanto material es contenido en un sistema de arreglo dado.

Costo. Usualmente recae en los costos de adquisición y mantenimiento, esto permite la evaluación de la economía de un sistema dado

Potencia específica. Tres parámetros de potencia específica están en uso: potencia por unidad de área (watts/m^2) potencia por unidad de peso o masa del arreglo (watts/kg), y potencia por unidad de costo del arreglo ($\text{watts}/\text{\$}$).

Energía específica. Los parámetros son, correspondientemente, $\text{watt-hr}/\text{m}^2$, $\text{watts-hora}/\text{kg}$, y $\text{watts-hora}/\text{\$}$.

Peso o masa específica. Los parámetros en uso son: masa por unidad de área (kg/m^2) masa por unidad de potencia (kg/watt) o energía ($\text{kg}/\text{watt-hr}$), y área por unidad de masa (m^2/kg)

Costo específico. Las unidades en uso son: costo por unidad de potencia (\$/watt) o energía (\$/watt-hr), costo por unidad de masa (\$/kg) y costo por unidad de área (\$/m²).

- **Revisión del diseño.**

Las revisiones formales del diseño son típicamente orientadas a examinar un diseño en detalle después de una fase de diseño dada que ha sido completada. La mayoría de los proyectos tienen cuando menos un principal, formal revisión de diseño que esta sustentado en la finalización de la actividad principal del diseño y antes de la fabricación de herramientas de ensamblaje y hardware operacional. Cuando es necesario, esta revisión principal del diseño se puede hacer en varias partes separadas para facilitar la programación de las actividades de gran responsabilidad (actividades que tienen largos periodos de entrega).

El propósito de revisión formal de diseños es tener el diseño analizado por un gran numero de especialistas, que entiendan los aspectos de los arreglos de celdas solares tanto como las implicaciones del sistema.

Instalación fotovoltaica.

Se entiende como el conjunto de aparatos y accesorios destinados a la producción, distribución y utilización de la energía eléctrica. En su forma más simple esta constituida por un generador, un elemento de almacenamiento, elementos capaces de abrir y cerrar el circuito, y un elemento o centro de consumo.

Corriente eléctrica.

Es el desplazamiento de las cargas eléctricas de un punto a otro en un conductor o una región determinada en el espacio. Si una carga neta q pasa por una sección transversal cualquiera del conductor en un determinado tiempo t , se llama intensidad de corriente. Sus unidades son los amperes.

$$I = dq/dt$$

Voltaje o diferencia de potencial.

Es el trabajo necesario para desplazar la unidad de carga eléctrica de un punto de un conductor a otro. Sus unidades son los volts.

Resistencia eléctrica.

Es la oposición que oponen algunos materiales al paso de la corriente eléctrica, y es una propiedad que depende de las dimensiones geométricas del conductor, del material de que esta constituido y de la temperatura. Sus unidades son los ohms.

Potencia eléctrica.

Es el trabajo necesario para transportar una carga q (en coulombs) a través de una elevación de potencial V (en volts) en un tiempo (en segundos).

Corriente nominal.

Es el valor de corriente que circula por una instalación, sistema, o dispositivo eléctrico en condiciones normales de operación.

Corriente de corto circuito.

Es el valor de corriente que se presenta en una instalación, sistema, o dispositivo eléctrico cuando se presenta una falla ya sea provocada o accidental, denominada cortocircuito.

Circuito eléctrico.

Conjunto de materiales eléctrico de una instalación, alimentados a partir de un mismo origen y protegidos contra sobreintensidades por un mismo o varios dispositivos de protección.

Frecuencia.

Concepto ligado a la corriente alterna que refleja el número de veces que la corriente cambia de sentido (ciclo) por segundo.

Langley (ly) es una unidad de radiación solar igual a una $\text{cal}/\text{cm}^2 = 4.186 \text{ J}/\text{cm}^2$ actualmente se encuentra un poco en desuso ya que la organización Mundial de Meteorología emplea los J/cm o los $\text{w}\cdot\text{hr}/\text{cm}$ así como las cal/cm que también han ido en desuso debido a que existen dos tipos de caloría la llamada chica y la grande.

Capacidad nominal de la batería

Se define esta capacidad, para una descarga en un cierto número de horas, como la energía (Ah a 12 V) que el acumulador, plenamente cargado, es capaz de entregar si fuera descargado a un ritmo tal que en 10 H alcanzase una tensión prefijada a la cual se admite que esta descargado.

Ciclado máximo diario

Se define como la diferencia entre los estados de máxima y mínima carga diarios. Esa diferencia se refiere siempre a la capacidad nominal y en ocasiones se expresa como tanto por ciento.

Autonomía

Exigencias que deberán cubrirse en caso de un pobre o nulo aporte energético al sistema, bien sea por falta de insolación (días nublados) o por una avería en los paneles. Suele definirse como el número de días consecutivos durante los cuales el consumo se cubre exclusivamente a partir de la energía acumulada.

Combustibles no renovables

Combustibles que no pueden ser fabricados fácilmente o “renovados” y podemos agotarlos. Mencionaremos el aceite, el gas natural y el carbón como ejemplo.

El calentador solar pasivo

Un sistema de calentamiento solar de agua o– calentamiento de espacio en el que se mueve aire o agua caliente sin usar bombas o ventiladores.

Energía fotovoltaica

Un tipo de energía solar que convierte la luz del sol en electricidad

Energía renovable

Tipos de energía que son renovadas tal como se usan, como ejemplo mencionaremos la solar y geotérmica.

Colectores Solares

Cajas, o cuartos que atrapan los rayos del sol para producir calor.

Calentamiento solar

Usar la energía del sol para calentar nuestras casas y agua.

Espacio solar

Un cuarto que apunta al sur, o alguna estructura hacia el lado sur de una casa.

Potencia eólica

Usar el viento para producir electricidad dando vueltas a una turbina de aire.

Planta de potencia eólica

Un grupo de turbinas de viento interconectadas a un sistema común de alimentación

Energía solar

Nosotros podemos usar la energía en el sol para calentar e iluminar nuestros hogares, calentar nuestra agua, y proveer electricidad para energizar nuestro luces, estufas, los refrigeradores, y otros aparatos. Esta energía viene desde procesos llamados calefacción solar, calefacción solar de agua, energía fotovoltaica(convierte la luz del sol directamente en la electricidad), y la potencia solar térmica eléctrica(cuando la energía del sol se concentra para calentar agua y produzca el vapor, que se usa para producir electricidad).

Un desafío con la calefacción solar es guardar el calor adentro la casa. Una manera para hacer esto son las ventanas especiales que reflejan el calor de la

casa en el dorso. los hogares solares pasivos necesitan ser diseñados para dejar el calor en durante meses fríos y bloquear el sol en los meses calientes.

La energía fotovoltaica

La energía del sol puede también convertirse directamente en la electricidad usando fotovoltaico (PV) las células, a veces llamaron células solares. PV de células hacen la electricidad sin mover, hacer ruido, o contaminando. Ellos se usan en los calculadores y relojes. Ellos también proveen poder a satélites, eléctricos ilumine, y aparatos eléctricos pequeños tales como radios. PV de células son parejas siendo usado para proveer electricidad para hogares, aldeas, y negocios. Algunas compañías eléctricas construyen sistemas PV de en sus las redes de fuente de alimentación.

La potencia térmico solar

Los sistemas térmicos solares pueden cambiar también luz del sol en la electricidad, pero no del mismo modo como PV de células. En la mayoría de los casos, sistemas térmicos solares el concentrado (enfoca) luz del sol para producir calor. Este calor hierve agua a haga vapor. El vapor rota una turbina, que se construye de varios las filas de cuchillas montaron sobre un eje grande. La presión del vapor fluye mediante la turbina, los estímulos contra las cuchillas, y ocasiona al eje en turno, después la turbina es adjunta al generador que hace la electricidad.

El problema de los sistemas Fotovoltaicos radica en que el poder térmico solar puede ser intermitente. Para evitar este problema, muchos sistemas usan un sistema de respaldo o backup que confía en el gas natural para calentar el agua. Porque los sistemas solar térmico concentran energía del sol, ellos necesitan ser ubicados en áreas del mundo que reciben mucho sol intenso

BIBLIOGRAFIA

Libros:

PHOTOVOLTAICS NEWS, PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS, INC,
FEBRUARY 1994.

THE POTENTIAL OF RENEWABLE ENERGY: AN INTERLABORATORY WHITE
PAPER, DOE, MARCH 1990.

CELL ARRAY SOLAR DESIGN HANDBOOK

SOLAR CELL ARRAYS

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

NOM-SEMP-1994

ENERGIA SOLAR PARA VIVIENDAS, JUAN DE CUSA, CEAC

RADIACIÓN SOLAR EN LA REPÚBLICA MEXICANA.

Manuales:

MANUAL DE OPERACIÓN DEL ANALIZADOR SERIE 43 DE THERMO ELECTRON
CORPORATION

INSTRUCTIVO DE LOS CONTROLADORES DE CARGA LTH

INFORMACION TECNICA DE LAS BATERIAS LTH

INFORMACION TECNICA DE CONDUMEX DE LA DIVISION DE ENERGIAS
ALTERNAS

APUNTES DE LA MATERIA DE PLANTAS GENERADORAS DE LA ENEP
ARAGON

Revistas:

REVISTA MUY INTERESANTE

Sitios en Internet:

CITIES AND COUNTIES PROJECT
CONCENTRATING SOLAR POWER PROGRAM
ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY CLEARINGHOUSE (EREC)
FACT SHEETS
ENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY DATABASE (EDB)
GREEN POWER NETWORK
MILLION SOLAR ROOFS
NATIONAL CENTER FOR PHOTOVOLTAICS
NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY EXEMPLARY BUILDINGS
PROGRAM
NATIONAL SOLAR THERMAL TEST FACILITY
PHOTOGRAPHIC INFORMATION EXCHANGE (PIX)
RENEWABLE ELECTRIC PLANT INFORMATION SYSTEM
RENEWABLE ENERGY ANNUAL 1997
RENEWABLE RESOURCE DATA CENTER
RENEWABLES FOR SUSTAINABLE VILLAGE POWER
ROOFUS' SOLAR HOME
RSPEC: REDUCE SWIMMING POOL ENERGY COSTS
SANDIA NATIONAL LABORATORIES PHOTOVOLTAICS PROGRAM
SOLAR ENERGY SCIENCE PROJECTS
SUNLAB