



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA
ELECTRIFICACION DE UNA CASA-HABITACION
Y CONSTRUCCION DE UN MODELO DE PRUEBAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

ALBERTO ECHEGARAY SANDOVAL

PRISCILLA HUITRON RODRIGUEZ

ASESOR: ING. JOSE ANTONIO SANCHEZ GUTIERREZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES
U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodriguez Coballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Diseño de un sistema fotovoltaico para la electrificación de una casa - habitación y construcción de un modelo de pruebas"

que presenta el pasante: Alberto Echegaray Sandoval

con número de cuenta: 9057206-5 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 9 de Agosto de 1996

PRESIDENTE Ing. Filiberto Leyva Piña

VOCAL Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez

SECRETARIO Ing. José Ubaldo Ramírez Urizar

PRIMER SUPLENTE Ing. Eduardo Covarrubias Chávez

SEGUNDO SUPLENTE Ing. María del Pilar Zeneda Moreno



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEG-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.G. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Diseño de un sistema fotovoltaico para la electrificación de una casa - habitación y construcción de un modelo de pruebas"

que presenta la pasante: Priscilla Huitrón Rodríguez
con número de cuenta: 9257204-1 para obtener el TITULO de:
Ingeniera Mecánica Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Mex., a 9 de Agosto de 1996

PRESIDENTE	Ing. Filiberto Leyva Piña	
VOCAL	Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez	
SECRETARIO	Ing. José Ubaldo Ramírez Uribe	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Eduardo Covarrubias Chávez	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. María del Pilar Zepeda Moreno	

AGRADECIMIENTOS.

A Dios ...

**por todos los obstáculos que
pusiste a lo largo del camino
para llegar a esta meta.**

A la U.N.A.M. ...

**por darme la oportunidad
de estudiar.**

A la F.E.S.-C. ...

**por recibirme con los brazos
abiertos y formarme como
profesionista.**

A mis maestros ...

**por todos los conocimientos que
me dieron a lo largo de mis estudios,
pero sobre todo por su amistad.**

A mis amigos ...

**porque su amistad y compañerismo
hicieron gratos todos los momentos
que pasamos juntos, los cuales
contribuyeron en el logro de este
objetivo.**

A mi abuelita ...

**porque tu ejemplo de lucha, trabajo y honradez
formó a una familia que me ha dado la fortaleza
para alcanzar todas las metas que me
proponga.**

A mi mamá ...

**por darme lo mejor que nadie me pudo haber dado ... la vida,
por heredarme lo mejor ... mi educación,
por tu ejemplo ... el trabajo,
por tu espíritu ... la lucha,
por tu formación ... la honradez,
y por todo el apoyo que siempre me diste
para llegar a donde estoy.**

A mi hermano Marco Alejandro ...

por ser un gran ejemplo a seguir.

A mi hermano José Manuel ...

por ser mi motivo de superación.

A mis tíos Magdalena, María y Emilio ...

**por las montañas de arena que cada uno de ustedes
ha puesto para formarme como persona y profesionalista,
por su apoyo incondicional, por su ejemplo
y sobre todo ... por su amistad.**

A mi tío Jorge ...

**por darme más de lo que una hija
puede recibir de su padre.**

A Alberto ...

**por el amor y apoyo que siempre me has dado,
por ser, antes que nada, mi amigo,
y por aceptar el reto de subir
otro peldaño juntos.**

Al Sr. Eugenio y a Norma Echeagaray ...

por su apoyo, tolerancia y paciencia.

A todos ...

**porque sin ustedes no hubiera logrado
nada de esto,**

Priscilla.

A Dios

**Porque eres el ser más maravilloso
de este mundo y por todo
lo que me ha dado.**

A la F.E.S. - C.

Por todo lo que aprendí de tí.

**A mis padres
Eugenio Echeagaray y Norma Sandoval**

Por haberme dado la vida.

A la memoria de mi madre

**Aunque ya no estes aquí,
se que estas en el cielo orando
por nosotros.**

A mi padre

**Por todo lo que me has enseñado
con todo tu cariño y fuerza.
Por todo el amor que me has
brindado siempre.**

A mi hermana Norma

Por todo tu apoyo y comprensión.

A Priscilla

**Por brindarme cariño, fé y confianza.
A ti Pichi porque lo estamos
logrando juntos.**

A la Sra. Priscilla Rodríguez

**Por todo su apoyo y comprensión.
Por toda su humanidad.**

A mis maestros

**Por todas sus enseñanzas,
pero sobre todo por su esmero
y dedicación.**

A mis amigos y compañeros

**Por brindarme ese tesoro
que llamamos amistad.**

Alberto.

**Al Instituto de Geofísica,
en especial al Dr. Agustín Muhlía**

**por habernos brindado
el equipo necesario para la
realización de este trabajo.**

Priscilla y Alberto.

INDICE

Introducción.	1
Capítulo 1. El Sol como fuente alternativa de energía.	2
1.1. El Sol y la Tierra.	2
1.2. Angulos solares.	4
1.3. Ecuación del tiempo.	7
1.4. Angulo de incidencia.	9
1.5. Radiación solar.	10
1.5.1. El cuerpo negro.	12
1.6. El espectro electromagnético	12
1.7. La constante solar.	14
1.8. Interacción de la radiación solar con la atmósfera terrestre.	14
1.9. Estimación de la radiación solar.	15
Capítulo 2. Semiconductores y células solares.	17
2.1. Conductores, semiconductores y células solares.	17
2.1.1. Conductores.	17
2.1.2. Semiconductores.	18
2.1.3. Aislantes.	19
2.2. Semiconductores intrínsecos y extrínsecos.	20
2.3. Funcionamiento de la célula solar.	23
2.4. Tipos y eficiencias de las células solares.	25
2.5. Aplicaciones de las células solares.	28
Capítulo 3. Sistemas fotovoltaicos.	29
3.1. Sistemas fotovoltaicos.	29
3.2. Subsistema convertidor.	30
3.3. Subsistema electrónico.	34
3.4. Subsistema acumulador.	36
3.4.1. Componentes y funcionamiento un acumulador de plomo-ácido.	39
3.4.2. Profundidad de descarga y vida del acumulador.	41
3.5. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.	42
3.6. Justificación de los sistemas fotovoltaicos.	44

Capítulo 4. Diseño del sistema fotovoltaico.	45
4.1. Parámetros del sistema fotovoltaico	45
4.2. Modelado del sistema fotovoltaico.	46
4.2.1. Capacidad de acumulación y determinación del acumulador.	46
4.2.2. Cálculo de la potencia de los paneles.	50
4.2.3. Elementos adicionales de la instalación.	51
4.3. Programa en BASIC para modelar sistemas fotovoltaicos.	54
4.4. Memoria de cálculo.	56
4.5. Costos del sistema propuesto.	57
Capítulo 5. Construcción del modelo fotovoltaico y pruebas al sistema.	58
5.1. Justificación de construcción del modelo fotovoltaico.	58
5.2. Modelo de pruebas.	58
5.3. Pruebas y análisis de resultados.	59
5.3.1. Curva característica del módulo fotovoltaico.	61
5.3.2. Variación del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico en vacío.	63
5.3.3. Variación del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico con carga constante.	65
5.3.4. Funcionamiento del sistema fotovoltaico durante el día y carga de la batería.	67
5.3.5. Variación de los ángulos solares derivados durante el día.	69
Tablas y Gráficas de resultados.	71
Conclusiones.	94
Bibliografía.	98
Anexos.	100

INTRODUCCION.

El uso desmedido que se ha hecho de los recursos energéticos, principalmente del petróleo y el gas natural, ha provocado que en casi 100 años se haya consumido la mayor parte de ellos. Es por esto que el hombre se ha dado a la tarea de buscar fuentes alternativas de energía que puedan satisfacer las necesidades actuales en un futuro cercano.

Entre las fuentes alternativas de energía encontramos a la energía eólica, la energía nuclear y la energía solar, las cuales han sufrido un desarrollo notable en los últimos 20 años.

El Sol irradia una gran cantidad de energía al espacio de la cual sólo una pequeña parte es interceptada por nuestro planeta, sin embargo podría ser suficiente para satisfacer nuestras necesidades energéticas a un bajo costo, ya que produciría no cuesta nada.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos, mismos que se utilizan para generar energía eléctrica a partir de la energía solar, utilizando un modelo de pruebas que simulará un sistema fotovoltaico que abastecerá de energía eléctrica a una casa-habitación.

Con el análisis del funcionamiento del sistema fotovoltaico se tratará de observar qué tan eficiente puede resultar para satisfacer los requerimientos de energía determinados en este trabajo y la factibilidad de realizar la fuerte inversión inicial que este tipo de sistemas requieren para su instalación.

Con la construcción del modelo de pruebas se pretende dar apoyo didáctico al Laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctricista en esta Facultad para los diferentes proyectos que estén relacionados con el área de Energía Solar, específicamente orientada a los sistemas fotovoltaicos.

CAPITULO 1

EL SOL COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA

1.1. El Sol y la Tierra.

El Sol es una esfera gaseosa con un diámetro estimado de 1,391,100 Km. y se encuentra aproximadamente a una distancia de la Tierra de 149,600,000 Km. El Sol esta compuesto principalmente de Hidrógeno en un 50%, de Helio en un 40% y algunos otros materiales pesados en un 10%.

Se considera al Sol como una fuente de energía, ya que cada segundo se transforman 650 millones de toneladas de Hidrogeno en 646 millones de toneladas de Helio. La diferencia de 4 millones de toneladas de masa se transmiten al espacio en forma de radiación solar, de la cual solo una fracción pequeña es captada por la Tierra.

Sin embargo la masa del Sol disminuye a la sorprendente velocidad de 4 millones de toneladas por segundo. Debido a su gran tamaño, podemos esperar que el Sol continuará radiando energía hacia el espacio durante varios millones de años.

La Tierra es el tercer planeta más cercano al Sol. Debido a que no posee una forma totalmente esférica, sino una forma elipsoide de revolución cuyas dimensiones son, para el radio ecuatorial de 6,378,163 m, para el radio polar 6,356,777 m y un radio de 44,008,152 m para la circunferencia de un meridiano.

La Tierra se caracteriza por tener dos movimientos principalmente:

- **Movimiento de rotación.** Es el movimiento que realiza la Tierra alrededor de su propio eje, el cual esta inclinado, y tiene una duración de un día ó 24 horas.
- **Movimiento de traslación.** Es el movimiento que realiza la Tierra alrededor del Sol y tiene una duración de un año ó 365.242 días.

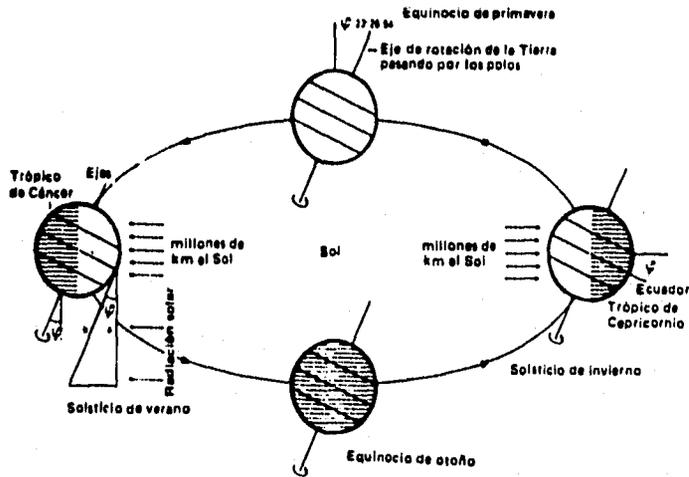


Fig. 1.1. Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

Al girar la Tierra alrededor del Sol describe una órbita elíptica, en la cual el Sol ocupa uno de los focos. El punto más alejado entre el Sol y la Tierra se llama afelio, entre estos hay una distancia aproximada de 152,000,000 Km. y se presenta alrededor del día 2 de julio. El punto más cercano se llama perihelio, habiendo una distancia aproximada de 147,000,000 Km. y se presenta alrededor del día 2 de enero como se muestra en la figura 1.1.

El hecho de que el eje de la Tierra este inclinado hace que el plano de la eclíptica y el plano ecuatorial formen un ángulo de 23.45° , esto provoca que se generen las estaciones climatológicas. Los rayos solares tienen una mayor incidencia en el hemisferio norte cerca del afelio provocando el solsticio de verano el día 21 de junio; cerca del perihelio los rayos solares inciden oblicuamente sobre este hemisferio provocando el solsticio de invierno el día 22 de diciembre. Cuando los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el ecuador se provocan los equinoccios, y tiene lugar el 21 de marzo para la primavera y el 21 de septiembre para el otoño. Durante los equinoccios el día y

la noche tiene igual duración, en el afelio se presenta el día más largo y la noche más corta, y en el perihelio se tiene el día más corto y la noche más larga.

1.2. Ángulos solares.

Las relaciones geométricas entre un plano orientado en cualquier dirección en cualquier tiempo y los rayos solares, es decir, la posición del Sol relativa al plano puede ser descrita en términos de algunos ángulos, como se muestra en la figura 1.2.

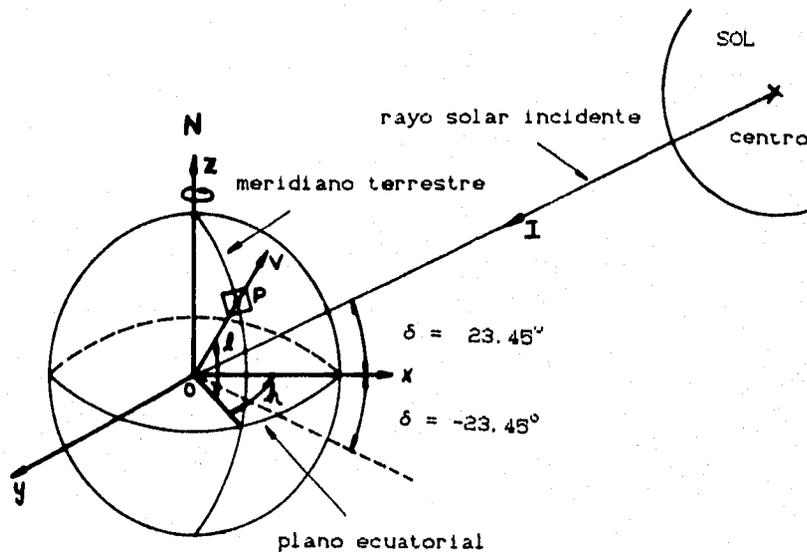


Fig. 1.2. Ángulos Solares.

Considérese un sistema coordenado tridimensional, x, y, z , ubicado en el centro de la Tierra, punto O , en donde el plano xz representa el plano del medio día solar, e l representa al rayo solar incidente. También considérese un punto P cualquiera sobre la superficie de la Tierra localizado en un meridiano terrestre cualquiera. Otra consideración importante que haremos, para nuestro estudio, será que la Tierra permanece fija y que el Sol se mueve alrededor de ella.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores comenzaremos por definir los principales ángulos solares:

- **Latitud (λ).** Es el ángulo formado por el vector OP y la proyección meridional de este sobre el plano ecuatorial, puede ser positivo para el Norte y negativo para el Sur. El ángulo de latitud esta comprendido entre los -90° y 90° grados.
- **Ángulo horario (h).** Es el ángulo formado entre la proyección del rayo solar incidente sobre el plano ecuatorial. Este ángulo nos indica el número de grados que faltan para llegar al medio día solar o después del mismo. Este ángulo esta comprendido entre los 0° y 180° . Este ángulo es igual a 0° al medio día solar y adquiere un valor de 15° de longitud por cada hora.
- **Ángulo de la declinación (δ).** Es el ángulo formado entre el rayo solar incidente y la proyección de este sobre el plano ecuatorial. Define la posición angular del Sol al medio día solar, es decir, en el momento en que el Sol esta más alto en el firmamento con respecto al plano ecuatorial. Este ángulo varia de -23.45° en el invierno a 23.45° en el verano. Este parámetro depende del día del año y puede calcularse con la expresión:

$$\delta = 23.45^\circ \cos[(N-172) (0.985648^\circ)]$$

donde N es el número de día del año.

En la tabla 1.1 y la figura 1.3 se muestra la variación del ángulo de la declinación solar durante el año.

Teniendo la latitud, declinación y ángulo horario, podemos calcular los ángulos solares derivados, que se muestran en la figura 1.4, y son:

- **Altitud Solar (β).** Ángulo formado entre el rayo incidente y su proyección horizontal. Su variación es de 0° a 90° .
- **Azimuth (γ).** Ángulo formado entre la proyección horizontal del rayo solar incidente y el vector Norte-Sur. Esta comprendido entre 0° y 180° .
- **Cenith Solar (ϕ).** Ángulo formado entre el rayo solar incidente y su proyección vertical. Su rango esta entre los 0° y los 90° .

TABLA 1.1.

VARIACION DEL ANGULO DE LA DECLINACION DURANTE EL AÑO

NO.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	-22,983	-17,424	-7,782	4,534	15,297	22,208	23,031	17,591	7,285	23,287	-15,715	-22,257
2	-22,889	-17,152	-7,410	4,829	15,801	22,335	22,852	17,321	6,880	23,213	-16,012	-22,361
3	-22,809	-16,874	-7,027	5,323	16,699	22,454	22,868	17,047	6,494	23,152	-16,304	-22,468
4	-22,712	-16,592	-6,641	5,715	16,194	22,567	22,773	16,767	6,105	23,094	-16,592	-22,606
5	-22,606	-16,304	-6,253	6,105	16,483	22,674	22,674	16,483	5,715	23,010	-16,874	-22,712
6	-22,488	-16,012	-5,863	6,494	16,767	22,773	22,567	16,194	5,323	22,929	-17,152	-22,809
7	-22,361	-15,715	-5,472	6,880	17,047	22,852	22,454	15,809	4,939	22,841	-17,424	-22,889
8	-22,257	-15,413	-5,079	7,265	17,321	22,928	22,335	15,601	4,534	22,746	-17,682	-22,983
9	-22,127	-15,107	-4,684	7,647	17,591	23,001	22,208	15,297	4,137	22,645	-17,954	-23,080
10	-21,980	-14,798	-4,288	8,028	17,855	23,104	22,076	14,969	3,740	22,537	-18,211	-23,180
11	-21,847	-14,481	-3,891	8,405	18,114	23,170	21,906	14,677	3,341	22,422	-18,462	-23,183
12	-21,687	-14,161	-3,492	8,781	18,367	23,228	21,791	14,300	2,941	22,300	-18,708	-23,249
13	-21,541	-13,838	-3,093	9,154	18,615	23,280	21,638	14,039	2,541	22,172	-18,949	-23,298
14	-21,378	-13,510	-2,693	9,524	18,858	23,325	21,490	13,714	2,139	22,038	-19,183	-23,340
15	-21,209	-13,178	-2,292	9,891	19,095	23,363	21,315	13,394	1,737	21,897	-19,413	-23,376
16	-21,034	-12,843	-1,890	10,256	19,328	23,395	21,143	13,051	1,335	21,749	-19,638	-23,405
17	-20,852	-12,503	-1,487	10,616	19,552	23,419	20,968	12,714	0,932	21,595	-19,854	-23,428
18	-20,665	-12,160	-1,085	10,974	19,772	23,438	20,782	12,373	0,529	21,435	-20,065	-23,441
19	-20,471	-11,813	-0,682	11,329	19,988	23,447	20,592	12,029	0,125	21,268	-20,271	-23,449
20	-20,271	-11,463	-0,278	11,681	20,194	23,447	20,398	11,681	-0,278	21,095	-20,471	-23,450
21	-20,065	-11,108	0,125	12,029	20,398	23,447	20,194	11,329	-0,682	20,915	-20,665	-23,443
22	-19,854	-10,753	0,529	12,373	20,592	23,438	19,988	10,974	-1,085	20,730	-20,852	-23,430
23	-19,638	-10,392	0,932	12,714	20,782	23,419	19,772	10,616	-1,487	20,538	-21,034	-23,410
24	-19,413	-10,029	1,335	13,051	20,968	23,395	19,552	10,256	-1,890	20,341	-21,209	-23,383
25	-19,183	-9,663	1,737	13,394	21,143	23,363	19,328	9,891	-2,292	20,137	-21,378	-23,350
26	-18,949	-9,294	2,139	13,714	21,315	23,325	19,095	9,524	-2,693	19,927	-21,541	-23,309
27	-18,708	-8,923	2,541	14,039	21,490	23,280	18,858	9,154	-3,093	19,711	-21,687	-23,261
28	-18,462	-8,546	2,941	14,360	21,638	23,228	18,615	8,781	-3,492	19,480	-21,847	-23,207
29	-18,211	-8,171	3,341	14,677	21,791	23,170	18,367	8,405	-3,891	19,263	-21,980	-23,146
30	-17,954	-7,794	3,740	14,989	21,906	23,104	18,114	8,028	-4,288	19,030	-22,127	-23,077
31	-17,682	-7,417	4,137		22,076	23,104	17,855	7,647		18,791		-23,002

Las expresiones matemáticas por medio de las cuales podemos determinar estos ángulos son:

$$\sin \beta = \cos \delta \cos l \cos \lambda + \sin \delta \sin l$$

$$\cos \phi = \cos \delta \cos l \cos \lambda + \sin \delta \sin l$$

$$\cos \gamma = \frac{1}{\cos \beta} (\sin l \sin \delta - \sin l \cos \lambda \cos \delta)$$

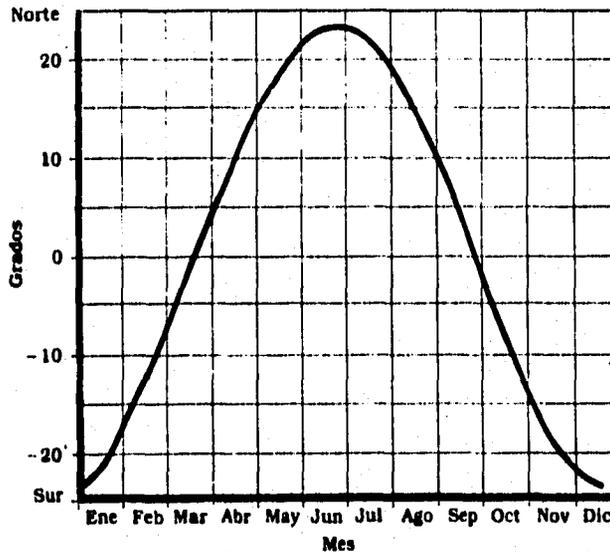


Fig. 1.3. Variación del ángulo de la declinación durante el año.

1.3. Ecuación del tiempo.

El tiempo solar se basa en el movimiento angular aparente del Sol a través del cielo.

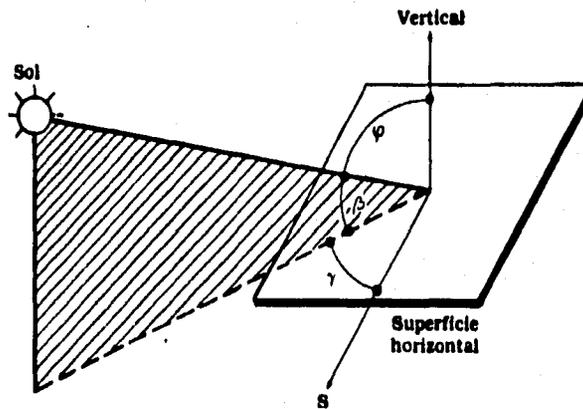


Fig. 1.4. Ángulos solares derivados.

El tiempo solar (T_s) es el tiempo usado en todas las relaciones de ángulos solares, éste no coincide con el tiempo oficial (T_d), o tiempo civil, que indica un reloj exacto. Es necesario convertir el tiempo civil en tiempo solar aplicando dos correcciones. La primera es una constante de corrección para la diferencia de longitud entre el meridiano del observador (l_{loc}), en grados oeste, y el meridiano de referencia del tiempo civil (l_{ref}). El Sol toma 4 minutos para recorrer un grado de longitud. La segunda corrección es la ecuación del tiempo (ET), que considera las perturbaciones de la razón de rotación de la Tierra que afectan el tiempo en que el Sol cruzara el meridiano del observador.

El tiempo solar en minutos queda definido por:

$$T_s = T_d + ET + 4 (l_{ref} - l_{loc})$$

y la ecuación del tiempo en horas queda definida por:

$$ET = -(0.1236 \text{ sen } x - 0.0043 \text{ cos } x + 0.1538 \text{ sen } 2x + 0.0608 \text{ cos } 2x)$$

donde

$$x = \frac{360^\circ(N-1)}{365.242^\circ}$$

1.3.1. Tiempo solar de amanecer y anochecer.

Tanto para el amanecer como para el anochecer el ángulo de altitud solar es de cero grados, debido a que el Sol está sobre el horizonte, por lo que el ángulo horario del amanecer, o anochecer, está definido por:

$$h_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta)$$

Para determinar el tiempo solar de amanecer y anochecer, en horas, tenemos:

$$T_{s \text{ amanecer}} = 12 - \frac{h_s}{15}$$

$$T_{s \text{ anochecer}} = 12 + \frac{h_s}{15}$$

Para obtener el número total de horas de insolación, es decir, el número total de horas que el Sol está presente durante el día, tenemos:

$$T_i = \frac{2}{15} h_s$$

1.4. Ángulo de Incidencia (θ).

La intensidad de radiación solar sobre una superficie depende del ángulo al cual los rayos solares chocan contra ella. Éste es el ángulo de incidencia (θ), el cual se forma entre los rayos solares y el vector normal a la superficie, como se muestra en la figura 1.5, en donde se tiene una superficie con una orientación de ξ° y una inclinación de η° , la intensidad de la radiación solar es proporcional al coseno del ángulo θ . La expresión matemática con la cual obtenemos éste ángulo es:

$$\cos \theta = \cos \beta \sin \gamma \cos \eta \sin \xi - \cos \beta \cos \gamma \cos \eta \cos \xi + \sin \beta \sin \eta$$

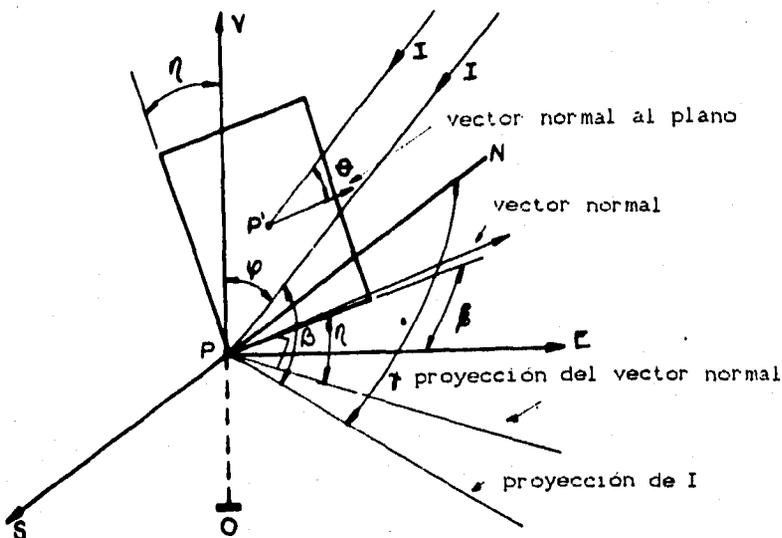


Fig. 1.5. Ángulo de Incidencia.

1.5. Radiación Solar.

Las reacciones nucleares que se llevan a cabo en el interior del Sol, como producto de la fusión nuclear, dan como resultado la emisión hacia el espacio de radiación solar en forma de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda.

A fines del siglo XVII se plantearon dos teorías para la explicación de la naturaleza de la luz: la teoría de partículas o corpuscular de Isaac Newton, y la teoría ondulatoria de Christien Huygens.

La primera consideraba que partículas muy pequeñas de masa despreciable eran emitidas por fuentes de luz como el Sol. La segunda supone simplemente que la luz es una onda en vez de un haz de partículas.

El propósito fundamental de ambas teorías era tratar de explicar las características de la luz que son:

- **Propagación rectilínea.** La luz viaja en línea recta.
- **Reflexión.** Cuando la luz incide sobre una superficie lisa, esta retorna al medio original.
- **Refracción.** La trayectoria de la luz cambia cuando entra en un medio transparente.

Más tarde, con Hertz y Maxwell, surge la teoría electromagnética de las ondas de luz. Con esta teoría, no sólo explicaron la naturaleza de la luz, sino que abrieron la puerta a un intervalo enorme de ondas electromagnéticas. Después Hertz descubrió que la luz podía liberar electrones de una placa de metal. A esto se le da el nombre de efecto fotoeléctrico y a los electrones emitidos se les llama fotoelectrones.

Max Planck, basándose en los experimentos de Maxwell publica su hipótesis cuántica. Encontró que los problemas que presentaba la teoría de la radiación se originaba en la hipótesis de que la energía se irradia en forma continua. Postuló que la energía electromagnética se absorbe o se emite en paquetes o cuantos, el contenido electromagnético de estos es proporcional a la frecuencia de la radiación. La ecuación de Planck puede escribirse:

$$E = hv$$

donde E es la energía del cuanto, v es la frecuencia de radiación, y h es la constante de Planck, la cual tiene un valor de 6.625×10^{-34} J-seg.

Más tarde Einstein, al suponer que la energía de la luz se concentra en pequeños paquetes o cuantos cuyo contenido de energía esta dado por la ecuación de Planck, fue capaz de predecir matemáticamente el efecto fotoeléctrico. Su razonamiento fue el siguiente: cuando un cuanto de luz incide sobre una superficie metálica, tiene una energía igual a hv . Si toda esta energía se transfiere a un sólo electrón, se espera que éste abandone el metal con energía hv . Sin embargo, al menos es necesaria una cantidad de energía W para sacar al electrón del metal. El termino W se llama función de trabajo de la superficie. Por lo tanto, el electrón expelido sale con una energía cinética máxima dada por:

$$E_k = hv - W$$

Esta es la ecuación del efecto fotoeléctrico de Einstein.

Hasta el momento se ha utilizado la palabra cuanto o paquete de energía para explicar el fenómeno de la luz. Un cuanto o paquete de energía es el valor indivisible más pequeño posible, bajo el cuál, cualquier fenómeno puede representarse.

Este cuanto puede denominarse como una "particule" que no posee carga, sin embargo se piensa que tiene masa y, por supuesto, posee energía. Los cuantos o fotones se asocian a la radiación de diferentes frecuencias v , viajan a la velocidad de la luz (3×10^8 m), y su energía es igual a hv .

1.5.1. El cuerpo negro.

Los sólidos, líquidos y algunos gases, emiten radiación térmica como resultado de su temperatura. Un emisor ideal al que se llama cuerpo negro, emite radiación térmica de acuerdo con la ecuación de Stefan-Boltzman:

$$e_b = \sigma T^4$$

donde e_b es la potencia emisiva del cuerpo negro, σ es la constante de Stefan-Boltzman y T es la temperatura absoluta.

Un cuerpo negro es aquel que absorbe toda la energía que incide sobre él y, a su vez, emite energía proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

Un cuerpo negro se puede considerar como un absorbedor ideal o como un radiador ideal. Aunque tales cuerpos no existen, el concepto resulta muy útil como un patrón para comparar las capacidades de varias superficies para absorber o emitir energía.

1.6. El Espectro Electromagnético.

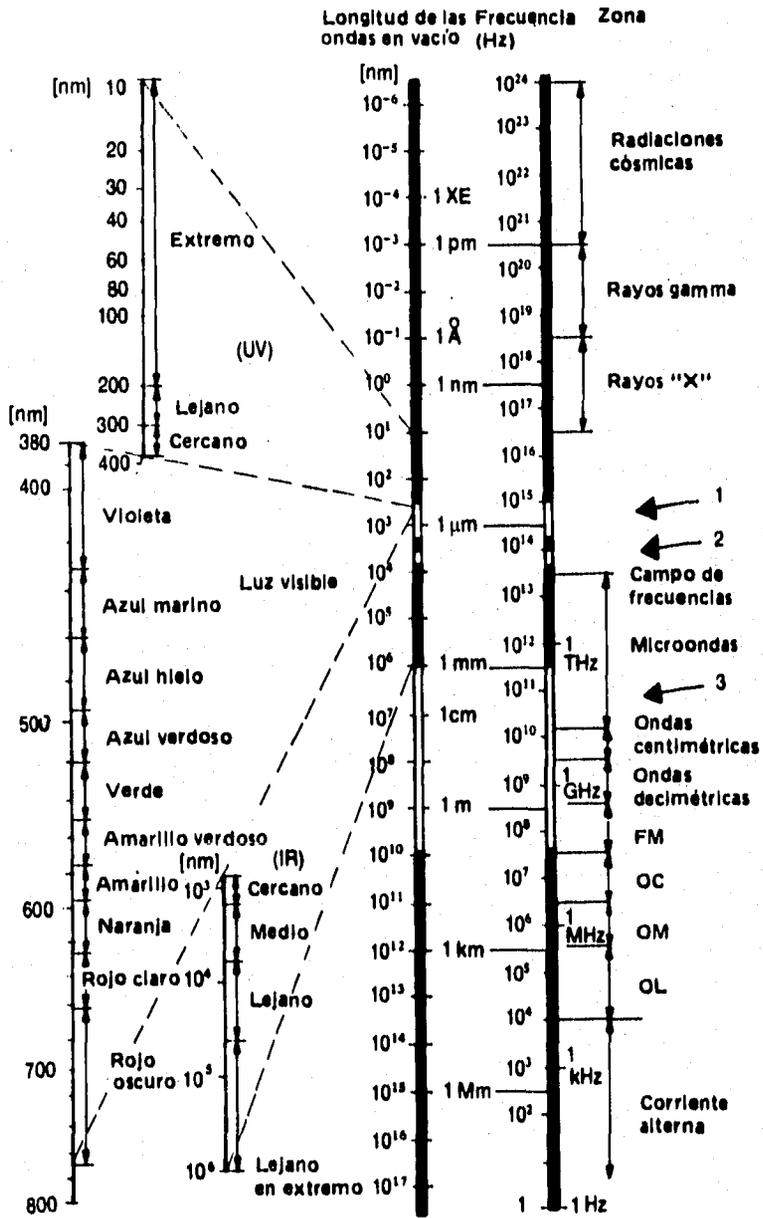
Se sabe actualmente que el intervalo de frecuencias del espectro electromagnético es muy grande. En la figura 1.6 se presenta una carta de este espectro. La longitud de onda λ de la radiación electromagnética está relacionada a su frecuencia f por la ecuación general

$$c = f\lambda$$

donde c es la velocidad de la luz (3×10^8 m/s).

El espectro electromagnético es continuo; no hay separaciones entre una forma de radiación y otra. Los límites establecidos son meramente arbitrarios. Es la longitud de onda de una onda electromagnética, lo que la distingue de los otros tipos de ondas electromagnéticas.

Alrededor de la mitad de la energía solar se irradia con las longitudes de onda comprendidas entre los 0.35 y 0.75 micrómetros, es decir, dentro de la banda visible. Dentro de la banda ultravioleta, con longitud de onda menor de 0.35 micrómetros hay muy pocas radiaciones, aunque hay más dentro de la



← Ventana atmosférica, se denomina al campo de radiación que, procedente del sol y del espacio, llega a la tierra sin pérdidas de radiación significativas. La ventana 1, resulta de un gran interés para el aprovechamiento de la energía solar.

Fig. 1.6. Espectro de ondas electromagnéticas

banda infrarroja, por encima de la banda visible, que contribuyen a la sensación de calor, aunque no podamos apreciarla visualmente.

1.7. La Constante Solar.

Cuando el Sol emite radiación hacia el espacio como producto de la conversión de Hidrógeno en Helio, esta radiación llega a la Tierra con cierta intensidad, y esta depende de las condiciones atmosféricas y de la masa de aire que atraviese.

La constante solar media (I_0), es la intensidad de radiación solar sobre una superficie normal a los rayos del Sol, justo en el límite exterior de la atmósfera cuando la Tierra se ubica a la distancia media del Sol, y tiene un valor generalmente de 1.37 Kw/m^2 .

Bajo condiciones atmosféricas favorables, la intensidad máxima que se puede obtener en una superficie orientada y al nivel del mar es de 1.00 Kw/m^2 . A una altitud de $1,000 \text{ m}$ sobre el nivel del mar se eleva esta intensidad a 1.05 Kw/m^2 , y en las montañas más altas se puede alcanzar una intensidad de 1.1 Kw/m^2 .

1.8. Interacción de la Radiación Solar con la Atmósfera Terrestre.

El Sol emite radiación en forma de ondas electromagnéticas y esta radiación viaja a través del espacio a una velocidad de $300,000 \text{ Km/s}$. A una distancia de 150 millones de kilómetros, se encuentra nuestro planeta Tierra, el cual intercepta una fracción minúscula de esta radiación.

La radiación incide en la atmósfera y es aquí precisamente donde interacciona con los componentes de la misma. Parte de esta radiación es absorbida, reflejada y transmitida. Aunque sólo un pequeño porcentaje de la radiación, aproximadamente el 35% , sea la que llega del Sol, se refleja un 65% de esta radiación al espacio. La radiación total que recibe la Tierra comprende dos tipos:

- **Radiación directa.** Es la radiación que llega directamente del Sol sin haber sufrido dispersión en nuestra atmósfera.

- **Radiación difusa.** Es la radiación que llega a la superficie de la Tierra después de haber interactuado con los componentes de la atmósfera provocando así su difusión.

Componentes de la atmósfera tales como las partículas de agua y polvo reflejan hacia el espacio en gran cantidad a la radiación, sin embargo, las moléculas de vapor de agua, dióxido de carbono, ozono y oxígeno, absorben la radiación. En el proceso de absorción, se elimina casi por completo la radiación ultravioleta, ya que este tipo de radiación es dañina para la piel y los ojos humanos. La radiación del espectro visible e infrarrojo se difunden de una manera uniforme, parte regresa al espacio y parte llega a la superficie terrestre.

Es importante mencionar que las pérdidas por difusión y absorción varían de forma muy complicada, ya que varían según la hora, el día, la estación del año y posición sobre la superficie de la Tierra.

1.9. Estimación de la radiación solar.

Hasta aquí se tiene una idea clara y precisa sobre la naturaleza de la radiación solar, los efectos de la atmósfera terrestre sobre ésta, la posición del Sol en cualquier instante y el ángulo de incidencia de la radiación directa sobre cualquier superficie. Sin embargo, para predecir o evaluar el funcionamiento de cualquier sistema de conversión de energía solar se hace necesario conocer la magnitud de la radiación directa y difusa que llega a un lugar dado sobre la superficie de la Tierra.

Existen distintos instrumentos para medir la radiación solar. Todos ellos la convierten a otra forma de energía, dando como resultado una medida o lectura proporcional a la intensidad de la radiación. Son dos los instrumentos más comunes en la medición de la radiación solar. Uno es el piranómetro, que se emplea para registrar la radiación total o global dentro de su campo de vista hemisférico. Un segundo instrumento, también muy común, es el pirheliómetro, que sirve para medir la radiación directa normal que proviene del Sol.

En la Tabla 1.2 se muestran los datos promedio obtenidos diariamente en la Estación Almaraz, ubicada en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campus 4, en el periodo comprendido de 1989 a 1994. Para realizar estas mediciones se utilizó el piranógrafo mecánico, y sus unidades son los langlays.

Tabla 1.2.
DATOS PROMEDIO DIARIO (1988 - 1984)
UNIDAD LANGLEY

ESTACIÓN ALMARAZ
INSTRUMENTO PIRANÓGRAFO MECÁNICO

CUAUTITLAN IZCALLI, MÉXICO

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	•	365.4	525.7	484.4	511.8	569.2	430.1	555.4	447.6	397.6	414.2	424.9
2	•	407.5	552.5	507.8	547.9	591.9	459.2	578.3	431.7	429.3	385.5	420.6
3	433.6	437.6	562.9	450.3	535.5	556.9	401.4	552.6	486.6	382.5	408.3	403.5
4	414.7	475.7	573.3	424.9	527.2	552.0	433.7	527.2	484.9	441.6	386.3	344.1
5	405.8	467.4	541.6	446.0	501.4	536.6	481.0	467.0	455.2	381.2	386.5	386.5
6	384.5	383.4	531.2	518.5	557.4	637.3	426.5	483.1	481.6	416.6	382.1	377.8
7	386.4	424.9	520.5	556.9	566.4	583.4	476.3	483.6	449.6	388.6	318.7	386.5
8	372.1	500.7	526.8	589.2	514.1	534.3	422.8	531.2	545.4	429.3	344.1	378.2
9	397.9	475.7	588.8	561.3	526.2	593.3	501.8	527.2	418.6	403.5	433.7	424.9
10	390.9	488.6	605.3	567.2	484.4	504.7	538.4	518.6	454.9	389.6	408.3	442.0
11	420.1	502.9	535.5	526.8	605.0	424.5	546.6	489.2	428.8	388.0	474.1	420.0
12	440.4	509.9	561.9	528.8	441.6	543.5	505.8	538.4	444.6	401.6	446.0	403.1
13	389.7	488.5	483.1	514.5	419.7	530.2	517.0	539.1	451.6	452.7	424.5	433.3
14	399.2	510.0	585.1	509.9	471.7	508.0	463.5	539.0	519.0	520.5	408.3	402.0
15	426.5	512.9	598.4	531.7	535.5	481.3	523.9	545.0	483.7	429.3	383.2	365.9
16	371.6	539.9	611.6	526.8	569.2	596.3	565.5	520.3	389.3	471.7	379.8	352.4
17	388.0	499.5	603.7	518.5	556.5	625.7	567.6	442.6	333.0	459.0	427.8	387.2
18	582.8	526.2	582.3	621.9	520.2	562.9	543.5	489.1	437.2	407.5	450.7	348.4
19	428.9	504.9	530.8	578.7	531.7	531.2	547.4	520.3	480.0	386.5	433.7	403.5
20	488.9	520.8	518.5	556.5	536.6	480.2	572.1	535.8	525.7	416.6	411.9	374.8
21	382.1	522.9	530.7	484.4	578.2	435.4	589.8	538.4	456.7	378.2	424.9	403.5
22	403.5	501.4	515.3	570.0	589.2	380.5	531.6	548.1	411.9	422.6	433.3	411.5
23	378.6	556.5	582.8	552.8	642.2	463.4	538.4	505.4	420.6	416.2	424.9	380.5
24	401.9	569.2	509.8	482.7	650.1	352.1	552.6	414.2	429.7	380.9	447.9	327.0
25	343.4	478.2	559.6	467.0	560.9	483.5	566.5	481.6	405.5	436.0	429.3	356.8
26	302.8	494.0	585.3	518.3	526.2	593.9	547.0	471.8	478.1	471.8	380.9	386.5
27	339.9	533.7	595.0	476.1	433.7	514.0	536.1	558.9	446.3	356.8	407.9	401.6
28	350.8	531.2	591.0	556.1	642.7	500.8	545.4	558.9	325.0	403.1	407.9	420.6
29	382.0	•	578.2	552.5	607.7	483.5	589.8	518.6	371.8	386.2	378.2	411.8
30	424.1	•	552.6	539.1	607.1	485.8	485.2	354.0	437.6	388.5	344.1	386.2
31	382.5	•	620.4	620.4	620.4	620.4	550.6	453.2	422.6	422.6	422.6	386.2
P.M.	388.7	482.4	557.5	523.7	545.8	518.8	514.4	518.0	441.8	418.0	409.1	382.0

CAPITULO 2

SEMICONDUCTORES Y CÉLULAS SOLARES

2.1. Conductores, semiconductores, aislantes y bandas de energía.

En la Industria Electrónica se utilizan materiales conductores, aislantes y semiconductores, siendo estos últimos la base fundamental de esta industria.

En la figura 2.1 se muestran las características eléctricas y electrónicas de estos tres grandes grupos de materiales.

En ella se distinguen tres bandas de energía, la banda de valencia (VB), la banda prohibida (VZ) y la banda de conducción (LB). Cada banda de energía es una cantidad de energía medida en electronvolts (eV). De esta forma, se puede determinar la energía que tienen partículas de una banda de energía y, además, que energía se deberá suministrar a estas partículas para que pasen a una banda superior. En la banda de valencia el nivel energético es muy bajo. En la banda de conducción se encuentran los electrones que se liberaron por efecto de alguna unión o enlace químico (covalente, covalente-coordinado, iónico) y que se mueven bajo tensión. Estos electrones tienen un nivel energético muy alto.

Entre estas dos bandas, banda de valencia y banda de conducción, está situada la llamada banda prohibida de energía, en la que no pueden permanecer los electrones. Los electrones que no suben lo suficientemente para alcanzar la banda de conducción caen de nuevo a la banda de valencia.

2.1.1. Conductores.

Los materiales conductores tienen la característica principal, precisamente, de ser "buenos conductores" de la electricidad, además de ser dúctiles y maleables.

Los mejores conductores son los elementos del grupo IB de la Tabla Periódica de los Elementos, y son el Oro, la Plata y el Cobre. Aunque también existen otros metales tales como Aluminio, Hierro, Estaño, etc., que poseen la propiedad de conductividad eléctrica.

En el caso de los conductores, la banda de valencia y la banda de conducción se traslapan, desapareciendo la banda prohibida, por lo que los electrones pasan de la banda de valencia a la de conducción, provocando así la gran conductividad eléctrica del material.

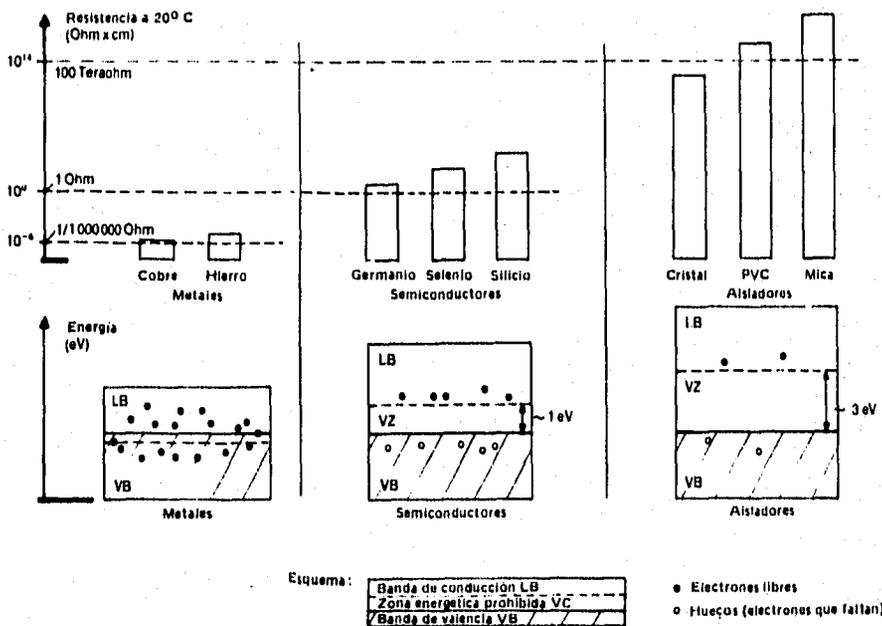


Fig. 2.1. Conductores, semiconductores, aislantes y bandas de energía.

2.1.2. Semiconductores.

En los semiconductores la banda de valencia (VB) está separada de la banda de conducción (LB) y entre ellas se encuentra la banda prohibida (VZ).

Para que un electrón de un semiconductor obtenga movilidad (capacidad de conducción), se deben liberar algunos electrones de la estructura del átomo, que antes servían para realizar la unión covalente de los átomos. Para ello, se debe suministrar a estos electrones una energía aproximada de 1 eV. Esta energía se puede suministrar en forma de luz o calor.

En forma de luz, un cuanto alcanza a un electrón y le cede su energía. Con ésta, el electrón se libera de su unión y se sitúa libre entre los átomos y sube a la banda de conducción. De esta forma, sometido a la acción de un campo eléctrico, se mueve bajo los efectos de esta en una determinada dirección.

En forma de calor aumenta la temperatura y los electrones comienzan a vibrar, hasta que llega un momento en que se liberan de la banda de valencia para brincar a la banda de conducción. Los electrones libres dejan huecos en la banda de valencia, estos huecos representan a los electrones que 'faltan' y que han pasado a la banda de conducción al suministrar energía en forma de luz o calor.

Los huecos favorecen la capacidad de conducción del material. Estos también se mueven bajo el efecto de un campo eléctrico. Lo que sucede es que continuamente se ocupan los huecos con electrones de átomos contiguos, lo que a su vez produce nuevos huecos.

En un semiconductor puro, el número de electrones que se encuentran en la banda de conducción es igual al número de huecos en la banda de valencia.

La característica básica de los semiconductores es que poseen cuatro electrones en su órbita de valencia. El número de electrones en dicha órbita es clave para la conductividad eléctrica. Los conductores poseen un electrón de valencia, los semiconductores cuatro electrones de valencia y los aislantes ocho electrones de valencia.

Los elementos semiconductores más importantes son el Germanio (Ge) y el Silicio (Si). Otros elementos con características similares a éstos son: Estaño Gris, Selenio, Telurio, entre otros menos importantes.

2.1.3. Aislantes.

Los aislantes se caracterizan porque su banda prohibida es considerablemente mayor que los semiconductores, aproximadamente 3 eV.

Muchos de los polímeros comunes están asociados con un comportamiento de aislantes. En los polímeros comunes todos sus electrones de valencia se utilizan como enlace covalente, es por eso que no están disponibles los electrones de valencia para la conducción a menos que se les puede excitar para atravesar una brecha de banda de energía grande.

2.2. Semiconductores intrínsecos y extrínsecos.

Para producir semiconductores intrínsecos de alta calidad se necesitan cristales muy puros y casi perfectos.

A una temperatura de cero absoluto (0 K) no hay electrones en la banda de conducción y no hay huecos en la banda de valencia. La zona prohibida del Germanio tiene una anchura de 0.72 eV y la del Silicio 1.1 eV. Si se calienta el material hasta alcanzar la temperatura ambiente (aprox. 300 K) se liberan electrones. Cuando un electrón en la banda de valencia recibe una cantidad de energía calorífica, esta energía es suficiente para que el electrón pase a la banda de conducción, rebasando a la banda prohibida, y generando al mismo tiempo de su salida un hueco en la banda de valencia, como se muestra en la figura 2.2.

En consecuencia si se suministra energía en forma de luz o radiación, se produce el mismo fenómeno que el caso de agitación térmica.

En un semiconductor intrínseco se crean cantidades iguales de electrones libres y huecos por la energía transmitida en forma de calor o luz. Los electrones libres se mueven en forma caótica a través del cristal. En ocasiones un electrón libre se aproximará a un hueco, sentirá su atracción y caerá en él. A este tipo de unión de un electrón libre y un hueco se llama "recombinación".

Los semiconductores extrínsecos deben sus características de conducción a la presencia de átomos de impureza.

Existen dos tipos de semiconductores extrínsecos: semiconductores tipo n y semiconductores tipo p.

Para obtener un semiconductor tipo n se mezclan los átomos de Silicio o Germanio, que tienen 4 electrones de valencia con átomos de elementos que tengan 5 electrones de valencia, estos elementos pueden ser algunos del Grupo VA de la Tabla Periódica que son: Fósforo, Arsénico y Antimonio. Como estos elementos son pentavalentes donarán 1 electrón extra al cristal de Silicio o Germanio por lo que se les conoce como átomos donantes.

Cada átomo donador en un cristal de Silicio o Germanio produce un electrón libre. Es así como se controla la conductividad en un semiconductor impurificado. Cuantas más impurezas se agreguen, mayor será la conductividad.

Así un semiconductor se puede impurificar fuerte o ligeramente. Un semiconductor ligeramente impurificado tiene una gran resistencia eléctrica, y un semiconductor fuertemente impurificado tiene una resistencia pequeña.

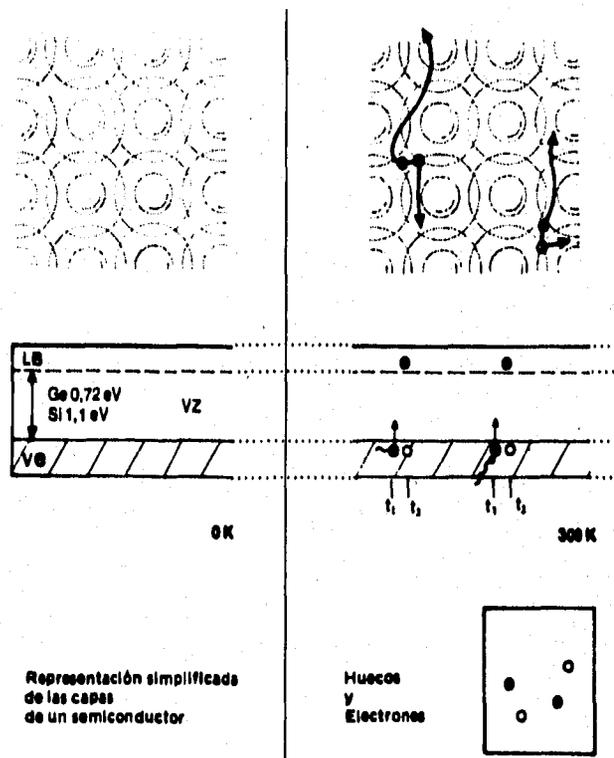


Fig. 2.2. Semiconductores intrínsecos.

Para obtener un semiconductor tipo p, a los cristales de Silicio o Germanio se le adicionan átomos trivalentes, estos elementos pueden ser algunos del Grupo IIIA de la Tabla Periódica, tales como: Boro, Aluminio y Galio. Como estos átomos son trivalentes y comparten 1 electrón con cada uno de sus átomos vecinos (Si o Ge), hay sólo 7 electrones en la órbita de valencia. Esto significa que hay un hueco en dicha órbita de cada átomo trivalente. Al átomo trivalente se le llama átomo aceptador porque cada uno de los huecos con que contribuye puede aceptar un electrón libre durante la recombinación.

En los semiconductores extrínsecos, se llaman portadores minoritarios a los portadores de carga que existen en menor cantidad, y portadores mayoritarios a los que existen en mayor cantidad.

En la figura 2.3, la representación del cristal hace visible la impurificación para el semiconductor tipo n. El electrón extraño (donante) introducido, ha cedido un electrón después de lo cual ya no es eléctricamente neutro. Se ha convertido en un ion positivo. Como el núcleo tiene una carga para compensar 5 electrones y le falta el 5^º, queda cargado positivamente, de forma análoga en los semiconductores tipo p el átomo extraño (aceptador) toma un electrón y se convierte en un ion negativo. Tiene un electrón de más y le falta la correspondiente carga que lo compensaría en el núcleo.

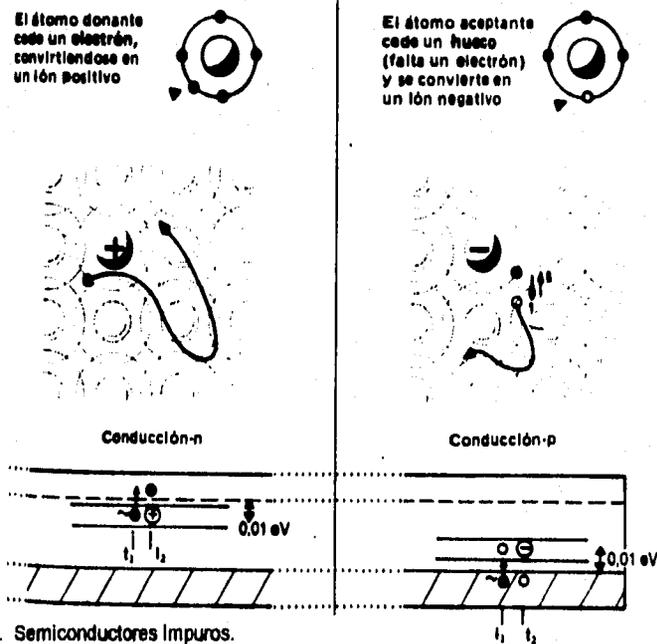


Fig. 2.3. Semiconductores Impuros.

En la misma figura se observa cómo en los semiconductores tipo n los átomos donantes quedan como iones positivos, mientras que para el semiconductor tipo p se producen huecos que contribuyen a la conducción eléctrica, los átomos receptores se han convertido en iones negativos.

Los semiconductores tipo n y tipo p son los materiales base en la fabricación de células solares, aunque con el desarrollo de la tecnología se han obtenido otras combinaciones con materiales de otros grupos de la tabla periódica obteniendo características similares y mejores rendimientos, tal es el caso de las células de Arsenuro de Galio (AsGa), Sulfuro de Cadmio (CdS), etc.

2.3. Funcionamiento de la célula solar.

La célula solar pertenece al grupo de los dispositivos fotovoltaicos, los cuales generan energía eléctrica cuando son expuestos a una fuente luminosa.

La célula solar más comercial es la que se fabrica de Silicio monocristalino.

La célula está constituida por una capa de Silicio-p y una capa de Silicio-n, las cuales forman una unión P-N, como en un diodo P-N normal. Al poner en contacto las dos capas de Silicio-p y -n el fenómeno que se observa es el que se representa en la figura 2.4. Debido a su repulsión mutua los electrones libres del lado -n tienden a difundirse en todas direcciones. Algunos de ellos atraviesan la unión. La unión es la frontera donde se juntan las regiones tipo -n y tipo -p. Cuando un electrón libre entra a la región tipo -p se convierte en un portador minoritario por lo que inmediatamente cae hacia un hueco, cuando esto sucede, el hueco desaparece y el electrón se convierte en un electrón de valencia.

Cada vez que un electrón se difunde a través de la unión crea un par de iones. Cuando un electrón abandona el lado -n deja un átomo pentavalente al que le hace falta una carga negativa; este átomo se convierte en un ion positivo. Cuando el electrón que emigra hacia el lado -p cae en un hueco, el átomo que lo captura se convierte en ion negativo. En la figura 2.4 se representan con los signos "+" y "-" encerrados en círculos a los iones positivos y negativos, respectivamente.

Los iones se encuentran fijos en la estructura del cristal debido a los enlaces covalentes y no pueden moverse de un lado a otro como los electrones libres y los huecos. Conforme aumentan las parejas de iones, la región cercana

a la unión se queda sin portadores. A esta región sin portadores se le llama **capa de empobrecimiento**.

Entre cada pareja de iones se crea un campo eléctrico. Por lo tanto, si electrones libres adicionales entran en la capa de empobrecimiento, el campo eléctrico trata de regresar a estos hacia la región $-n$. La intensidad del campo eléctrico aumenta con cada electrón que se cruza hasta que se alcanza el equilibrio, es decir, este campo eléctrico acabará por detener la difusión de electrones a través de la unión.

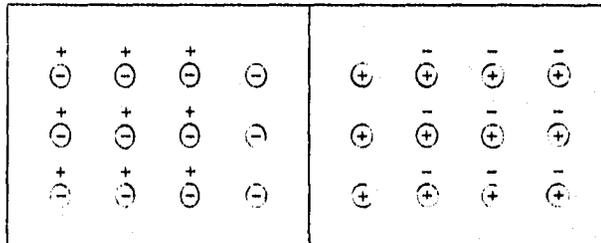


Fig. 2.4. Capa de empobrecimiento.

El campo eléctrico entre los iones es equivalente a una diferencia de potencial llamada **barrera de potencial** que para una célula de silicio varía entre 0.5 y 0.7 V. En las partes $-p$ y $-n$ se colocan contactos metálicos.

Cuando la célula absorbe luz de suficiente energía, cada fotón produce un par electrón-hueco. Al existir una barrera de potencial en la unión $P-N$, los electrones producidos en la capa $-n$ se mueven hacia un contacto, y los huecos se mueven hacia el otro contacto. Cuando los electrones y los huecos se concentran en los contactos se produce un potencial eléctrico, y si se unen los contactos con un conductor (alambre), circulará una corriente eléctrica a través de él, como se muestra en la figura 2.5.

La unión $P-N$ iluminada actúa como fuente de energía, similar a una batería y por lo tanto puede suministrar potencia eléctrica a una carga. Como sucede con cualquier fuente de energía eléctrica.

El voltaje de salida es máximo cuando la carga es un circuito abierto ($R_L = \infty$), este es el voltaje de circuito abierto, V_{oc} . La corriente de salida es máxima cuando la carga es un corto circuito ($R_L = 0$), esta es la corriente de corto circuito, I_{sc} .

La cantidad de corriente y voltaje que la celda puede suministrar aumenta conforme la iluminación se incrementa.

Una célula actúa como un convertidor de potencia. Puede proporcionar energía eléctrica a una carga cuando se aplica potencia radiante (luz). La eficiencia de transformación de potencia luminosa a eléctrica esta dada por:

$$\eta = \frac{\text{potencia eléctrica de salida}}{\text{potencia luminosa de entrada}}$$

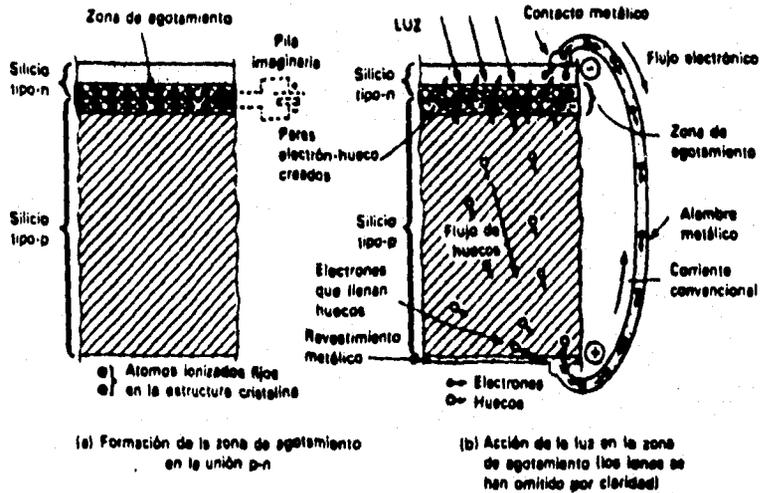


Fig. 2.5. Acción de una célula solar.

2.6. Tipos y eficiencias de las células solares.

Existe una gran variedad de células solares dentro de las cuales podemos citar a tres diferentes tipos como las más importantes debido a que se han conseguido resultados muy favorables en la conversión de energía solar en energía eléctrica, y son:

a) Célula de Silicio.

El Silicio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, constituye el 27.7% de esta. Desgraciadamente el Silicio no se encuentra puro en la naturaleza, siempre se encuentra formando compuestos, por lo que se debe aplicar un proceso purificador para obtener un cristal de Silicio con una gran pureza y de esta manera se obtenga una célula con una mejor eficiencia.

Una célula típica de Silicio tiene la estructura que se muestra en la figura 2.6.

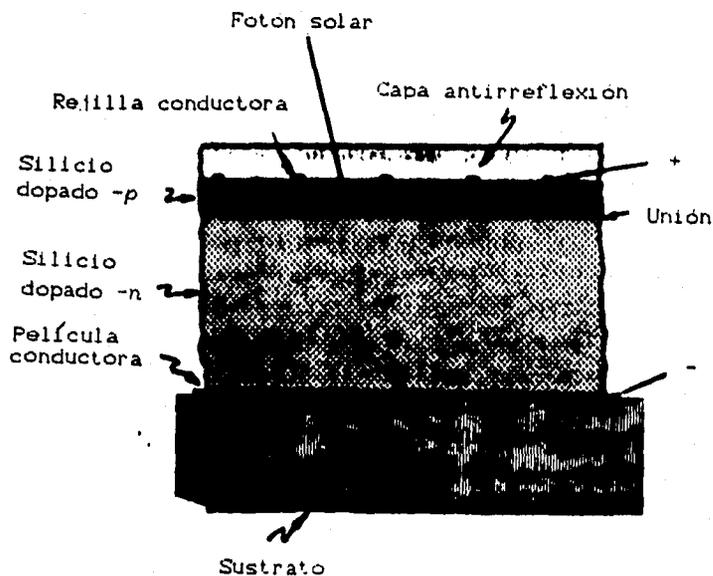


Fig. 2.6. Corte esquemático de una célula de silicio (pn).

En esta figura se pueden observar las partes principales de la célula: Silicio tipo -p, Silicio tipo -n, contactos metálicos de la parte frontal, revestimiento metálico en la parte posterior, zona de barrera de potencial (unión P-N).

Dependiendo del fabricante se puede o no incluir un revestimiento o capa antirreflejante, esto se hace por razones de costo.

Los rendimientos obtenidos con células solares de Silicio comerciales están entre el 10 y 15%, sin embargo se han venido realizando esfuerzos para obtener rendimientos máximos del 17 y 18%.

b) Célula de Sulfuro de Cadmio (CdS).

Después del Silicio el material que más se ha investigado es el CdS, en la conversión fotovoltaica. Este compuesto se caracteriza por ofrecer muy buenos rendimientos cuando se emplea asociadamente con Sulfuro de Cobre (Cu_2S), siendo estas células de tipo heterounión, donde la región activa es la unión entre los dos compuestos químicos.

Este tipo de células están dotadas por una cubierta plástica o cristalina y por un cemento plástico ya que el problema principal es que al CdS es muy sensible al vapor de agua, por lo tanto estas células deben estar herméticamente encapsuladas. Además de que el Cadmio es un material muy tóxico.

Estas células tienen rendimientos del 5%, aunque experimentalmente se han logrado rendimientos hasta del 8%.

c) Célula de Arsenurio de Galio (GaAs).

Estas células se caracterizan por ser del tipo heterounión, siendo ahora la unión Arsenurio de Aluminio-Galio y Arsenurio de Galio. También se caracteriza por tener una gran absorción para la luz visible (fotones) en la heterounión.

Las células de Arsenurio de Galio no se comercializan actualmente debido a su elevado precio, ya que el Galio es un elemento raro y caro y el Arsénico, que no es tan raro, en altos grados de pureza también es caro, de aquí que el Arsenurio de Galio sea inapropiado para las células solares de bajo costo. Su eficiencia es del 13%.

Existen otros tipos de células solares de semiconductores compuestos, tales como: Cobre Telurio-Cadmio Telurio, Aluminio-Antimonio, Indio Fosfato-Sulfato de Cadmio, Selenio (exclusiva para aparatos de medida), etc.

En la tabla 2.1. podemos ver la eficiencia de cada tipo de células.

Tabla 2.1.

Eficiencia células solares

MATERIAL	%
Silicio	15
Arsenurio de Galio	13
Sulfuro de Cadmio	5
Telurio de Cadmio	4
Fosfato de Indio	3
Fosfato de Galio	1
Selenio	1

2.6. Aplicaciones de las células solares.

Las células solares han encontrado un gran campo de aplicación, ya que suministran energía eléctrica a muy diversas cargas que van desde relojes de cuarzo, calculadoras de bolsillo, linternas, etc., hasta poblados donde las condiciones geográficas hacen imposible la transmisión de energía eléctrica mediante líneas eléctricas convencionales.

CAPITULO 3

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.1. Sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos interconectados entre sí cuyo principal objetivo es transformar la energía solar en energía eléctrica.

En el diagrama de bloques, que se muestra en la figura 3.1, se muestran los elementos principales que constituyen un sistema fotovoltaico.

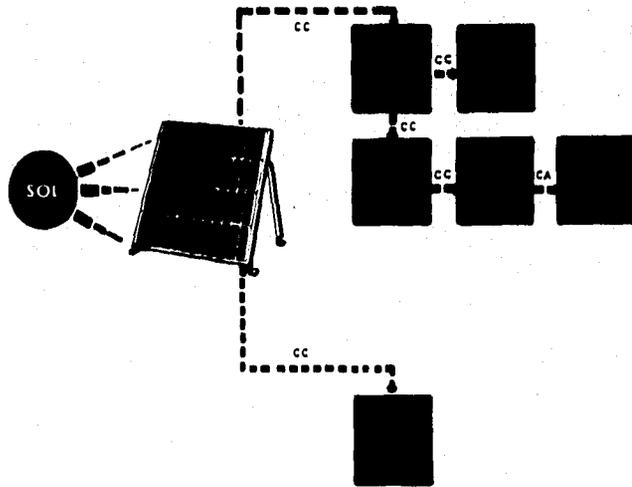


Fig. 3.1. Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico.

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

- Panel fotovoltaico (subsistema convertidor).
- Regulador y convertidor (subsistema electrónico).
- Baterías (subsistema acumulador).

Estos tres subsistemas se distribuyen en la forma que se refleja en la figura 3.2, en función de si el consumo de energía eléctrica se realiza en corriente continua o corriente alterna y de si existe o no apoyo con la red general.

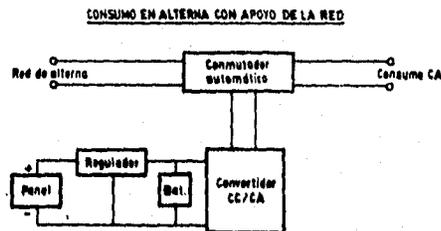


Fig. 3.2. Diagrama del sistema fotovoltaico híbrido.

3.2. Subsistema convertidor.

La célula solar, como ya se explicó, es un dispositivo fotovoltaico, es decir, convierte directamente la energía luminosa en energía eléctrica.

El módulo solar es la unidad de generación fotovoltaica más pequeña que se dispone comercialmente. Consiste en un agrupamiento de células solares interconectadas entre sí y laminadas entre hojas de plástico y vidrio, para protegerlas del medio ambiente, con terminales para conectar el cableado al exterior.

Las células solares, en el módulo, se interconectan usualmente en serie para elevar su voltaje, ya que por sí mismas entregan un voltaje demasiado pequeño (generalmente 0.5 V). Para elevar la corriente las células se conectan en paralelo.

Como norma general todas las células que van a ser conectadas en paralelo deben tener el mismo voltaje de circuito abierto y, más aún, el mismo voltaje de máxima potencia. Las células para ser conectadas en serie deben tener la misma corriente de corto circuito y la misma corriente de máxima potencia (estos datos son proporcionados por el fabricante). El despareamiento de las características de las células solares produce malos módulos esto es debido a que las células de mayor fotocorriente y mayor fotovoltaje disipan su exceso de potencia en las células de menor característica eléctrica. La producción total de potencia se reduce, además, por un incremento de la temperatura del módulo debido a la disipación interna de potencia.

Se acostumbra agrupar entre 30 y 36 células solares para dar el voltaje de carga de una batería convencional de 12 volts más las pérdidas del voltaje en el circuito que va desde los módulos solares a las baterías pasando por el controlador de carga.

Cada módulo solar tiene sus características propias de corriente y voltaje en función del nivel de insolación y de la temperatura de operación.

Las características que presenta un módulo frente a la radiación solar están definidas por los siguientes parámetros:

- **Corriente de corto circuito (I_{sc}).** Es la intensidad máxima de la corriente que se puede orientar en un módulo bajo determinadas condiciones de radiación solar. Esta corriente se obtiene midiéndose con un amperímetro entre bornes del módulo sin ninguna resistencia adicional, esto es, provocando un corto circuito. Al no existir resistencia alguna al paso de la corriente, la caída de potencial es cero.
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}).** Es la diferencia de potencial máximo que se obtiene midiendo con un voltímetro entre los bornes del módulo, es decir, en condiciones de circuito abierto.
- **Corriente - Voltaje en un punto de operación (I, V).** Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica lo usual es que un módulo produzca una determinada corriente que fluya a través de una carga que une los bornes del mismo y posee una determinada resistencia R . Si la diferencia de potencial entre los bornes es V , decimos que la corriente de intensidad I se produce a un voltaje V .
- **Potencia máxima (P_m).** En unas condiciones determinadas, la corriente tendrá un cierto valor comprendido entre cero e I_{sc} , correspondiéndole un voltaje V que tomará un valor entre cero y V_{oc} . Dado que la potencia es el producto de voltaje y corriente, está será máxima únicamente para cierto par de valores (I, V). Entonces, la potencia máxima de un módulo estará determinada por los valores V_m e I_m , tales que el producto sea máximo.
- **Eficiencia total (η_T).** Es el cociente de la potencia eléctrica producida por el módulo y la radiación incidente sobre el mismo.

En la figura 3.3 se muestra la curva característica de un módulo fotovoltaico bajo condiciones de temperatura y radiación constantes. En esta curva se pueden observar los conceptos definidos anteriormente.

La curva característica del módulo, o curva I-V, se obtiene variando la resistencia R externa desde cero hasta infinito, midiendo por pares los valores (I,V).

En la gráfica, el punto A es un punto cualquiera representando el funcionamiento del módulo a un voltaje V y a una corriente I. El área del rectángulo definido con el punto A corresponde a la potencia del módulo. El punto B corresponde a la máxima potencia.

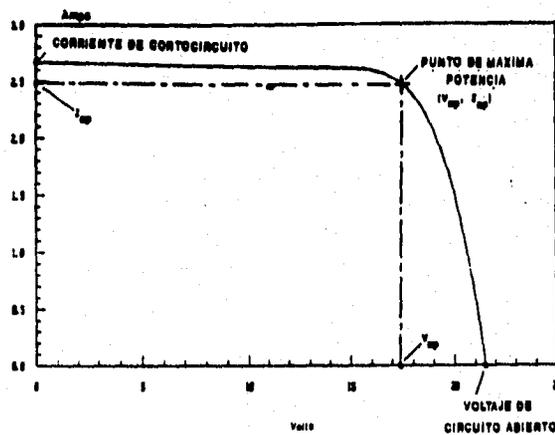


Fig. 3.3. Curva I-V de un módulo fotovoltaico.

El panel solar es un conjunto de varios módulos solares interconectados en serie, en paralelo o en una combinación de ambos, figura 3.4.

Si los módulos solares se conectan en serie, el panel tendrá un voltaje de salida más alto, mientras que la corriente del panel será la misma que la de los módulos. El voltaje de salida es igual a la suma del voltaje de cada uno de los

módulos. Para obtener una corriente de salida mayor en un panel, los módulos se conectan en paralelo entre sí, y el voltaje será el mismo que el de los módulos.

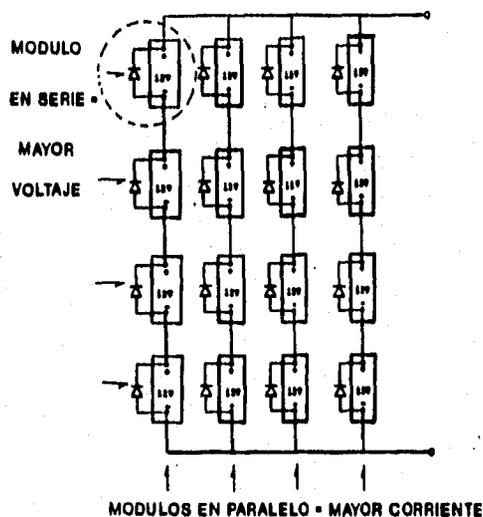


Fig. 3.4. Conjunto de módulos que integran al panel solar.

La corriente de salida es igual a la suma de la corriente de cada uno de los módulos, como se muestra en la figura 3.4.

Cualquier pedido específico de potencia se puede satisfacer conectando el número adecuado de módulos en serie o en paralelo.

En general, los paneles solares se montan rígidamente y orientados hacia el Sur con una inclinación cercana al ángulo de latitud del lugar donde se ubique.

Una ventaja que tienen los paneles solares, es que no necesitan mantenerse ópticamente limpios, excepto en caso de que estén instalados en lugares donde exista la posibilidad de quedar cubiertos por capas opacas de suciedad o nieve, la contaminación sólo afecta levemente a su buen funcionamiento. Aunque las superficies sucias difunden la luz solar y absorben poca energía, las células solares continúan funcionando bajo la luz difusa.

3.3. Subsistema electrónico.

Los módulos fotovoltaicos tienen una salida en tensión superior a la tensión nominal de las baterías o acumuladores usados en las instalaciones. Este hecho es debido fundamentalmente a dos causas:

- La tensión del panel debe ser más elevada, para paliar la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura.
- La tensión del panel fotovoltaico debe ser siempre mayor que la tensión de la batería, para poder cargarla adecuadamente. Para alcanzar un pleno estado de carga en una batería de 12 V nominales necesitamos una tensión mínima de 14 V.

La misión del regulador se centra, por lo tanto, en evitar que, debido a una tensión excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento sobrecargar al acumulador, con el consiguiente perjuicio que pueda acortar la vida de la batería.

Esencialmente existen dos tipos de reguladores:

a) Regulador shunt o paralelo.

Los dispositivos de este tipo, colocados en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectan la tensión de los bornes de la batería y cuando ese potencial alcanza un valor establecido de antemano, crean una vía de baja resistencia a través del grupo solar, derivando con ello la corriente y apartándola de las baterías.

Un diodo en serie, situado entre el regulador en derivación y la batería, impide que la corriente del acumulador retorne a través del regulador o del grupo solar. El esquema a bloques de la conexión del regulador shunt se muestra en la figura 3.5.

Los reguladores del tipo shunt disipan toda la corriente de salida del grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con sistemas grandes se requieren disipadores térmicos de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de costo elevado.

b) Regulador serie.

Estos aparatos se basan en el concepto de la regulación en serie, en el que el grupo solar se desconecta del sistema de baterías cuando se logra un

estado de plena carga. En una palabra, este equipo es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia (miliohms) desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga, y un circuito abierto entre el grupo solar y la batería cuando ésta se encuentra plenamente cargada. En el regulador serie no se disipa nada de energía en uno u otro estado, porque cuando está en la posición cerrado no hay caída de tensión en el interruptor y cuando se encuentra en la posición abierto, no hay paso de corriente.

La gran ventaja de los reguladores serie se centra principalmente en su instalación en grandes sistemas, ya que su reducido tamaño y la ausencia de disipación de calor los hacen aptos para su inserción en cabinas completamente herméticas que deben trabajar en duras condiciones.

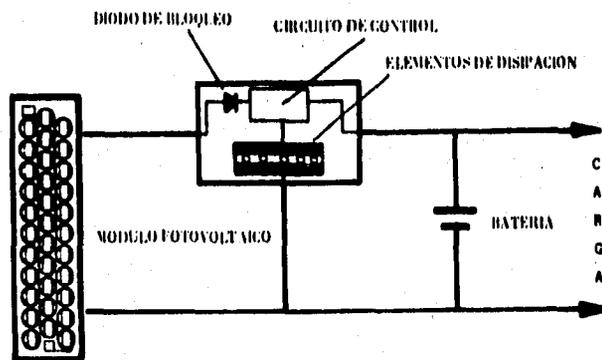


Fig. 3.5. Esquema a bloques de un regulador shunt.

El convertidor de CC/CA es un dispositivo cuya misión fundamental es convertir la tensión continua del panel o del acumulador en tensión alterna. Generalmente los convertidores son clasificables en dos grandes grupos, según la salida que suministran: de onda senoidal y de onda cuadrada. Estos últimos son de menor precio y suelen ser suficientes en gran número de aplicaciones, aunque tienen un menor rendimiento.

Cómo regla general práctica, en toda instalación de energía solar debemos utilizar lo menos posible los convertidores y tratar por todos los medios de

alimentar los equipos en corriente continua. Esta afirmación se hace por dos motivos diferentes: uno es el costo final, que obligatoriamente será mucho mayor, y otro es una razón de fiabilidad, ya que todos los equipos al estar alimentados por el convertidor quedarán sin funcionar si éste sufriera alguna avería.

3.4. Subsistema acumulador.

En la mayoría de los sistemas fotovoltaicos es imprescindible la utilización de algún sistema de acumulación de energía eléctrica, esta es la función de la batería o acumulador.

El acumulador es un dispositivo capaz de transformar energía potencial química en energía eléctrica. Las funciones de un acumulador se resumen en lo siguiente:

- Suministro de energía en horas de no insolación o en épocas de menor insolación (invierno).
- Garantizar una autonomía en días nublados.
- Garantizar, en conjunción con el regulador, una tensión de funcionamiento de la instalación bien definida.
- Suministrar energía a aparatos de elevada potencia y corto periodo de utilización.

Gracias al subsistema de acumulación se pueden utilizar equipos cuya potencia es superior a la pico de los paneles fotovoltaicos. En efecto, los acumuladores electroquímicos clásicos pueden ser descargados en un amplio margen de intensidades sin ser dañados.

La capacidad de un acumulador se mide en Amperes-hora (AH), para un determinado tiempo de descarga. Si este tiempo es muy corto, la capacidad de la batería disminuye, mientras que si el tiempo de la descarga aumenta, ésta se hace lenta, aumentando la capacidad de la batería.

Se define la capacidad como la cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado.

Esta capacidad es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que ésta actúa, calculada hasta que se alcanza la tensión final. Esto es, si tenemos un acumulador de 180 AH medido a 10 horas de descarga, significa que el acumulador puede darnos 18 A durante 10 horas.

La misión principal del acumulador dentro de un sistema solar fotovoltaico consisten en suministrar energía tal y como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del panel en ese preciso momento.

Cumple por otra parte, una misión de fiabilidad ya que también tiene el trabajo de poder alimentar a la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a condiciones meteorológicas adversas.

Las condiciones que debe cumplir un acumulador para ser usado en una instalación fotovoltaica son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.
- Fácil transporte e instalación.
- Baja autodescarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

Existen diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo-ácido.

Las primeras presentan unas cualidades excepcionales pero, debido a su elevado precio, no se hacen muy cómodas para su utilización en los sistemas solares.

Por el contrario, las baterías de plomo-ácido en sus diferentes presentaciones son las más usadas para las aplicaciones solares, ya que se adaptan a cualquier corriente de carga y su precio no es muy elevado. Por este motivo nos enfocaremos a éste tipo de baterías, no sin mencionar las características de las de níquel-cadmio. En la tabla 3.1 se muestran las ventajas y desventajas de los tipos de acumuladores más usados en los sistemas fotovoltaicos.

Entre las características que se pueden mencionar de los acumuladores de níquel-cadmio tenemos las siguientes:

- Resistencia a bajas temperaturas e incluso a la congelación de su electrolito, una vez que éste se descongela el acumulador podrá operar normalmente otra vez.
- Pueden soportar los cortocircuitos, sin que se dañen, al juntar las terminales de los postes por error humano.
- Pueden soportar la falta de agua de su electrolito, dejando de funcionar temporalmente hasta que se le añada.

- Pueden ser empleados en aplicaciones fotovoltaicas en lugares remotos o de difícil acceso ya que casi no requieren mantenimiento.
- No emiten gases corrosivos, ya que su electrolito no es un ácido sino una solución de agua (80%) e hidróxido de potasio (20%).

La gran desventaja que presenta este tipo de acumuladores es su alto precio, además de que no son muy comerciales.

TABLA 3.1.

Tipo de acumuladores empleados en los sistemas fotovoltaicos

	Ventajas	Desventajas
Automotriz abierta	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo - Buena tolerancia a temperaturas altas. - Disponible localmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida corta (menos de 2 años). - Poca tolerancia a descargas profundas. - Requiere añadir agua. - Autodescarga importante conforme envejece.
Automotriz libre de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo. - No requiere añadir agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida corta (menos de 2 años). - Nula tolerancia a descargas profundas. - Poca tolerancia a altas temperaturas. - Disponibilidad limitada.
Níquel - Cadmio	<ul style="list-style-type: none"> - Tolerancia a descargas profundas. - Tolerancia a altas y bajas temperaturas. - Vida útil hasta 20 años. - Casi no requiere mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo muy alto. - Disponible sólo bajo pedido.

Otro tipo de baterías empleadas son las baterías herméticas que son utilizadas principalmente en sistemas fotovoltaicos pequeños, en donde los consumos son muy bajos o el tiempo de uso de estos es muy corto. Estas

baterías pueden ser de plomo-ácido o níquel-cadmio, con las características de cada tipo, pero también tienen otras ventajas:

- Totalmente herméticas, por lo que no existe peligro de pérdida del electrolito.
- Son libres de mantenimiento.
- Funcionan en cualquier posición.
- No emiten gases corrosivos.
- Amplio rango de temperatura (en modelos de Ni-Cd pueden trabajar en rangos de temperatura de -60°C a 60°C).

3.4.1. Componentes y funcionamiento de un acumulador de plomo-ácido.

Una batería de plomo-ácido está compuesta por los siguientes elementos básicos:

- Placa positiva construida con dióxido de plomo (PbO_2).
- Placa negativa formada por plomo esponjoso.
- Separadores, cuya misión consiste en separar las placas de diferente polaridad aislándolas entre sí.
- Electrolito, constituido por una solución diluida de ácido sulfúrico.
- Carcasa, construida de polietileno o polipropileno y encargada de alojar en su interior los diferentes elementos descritos anteriormente.
- Terminales de conexión.

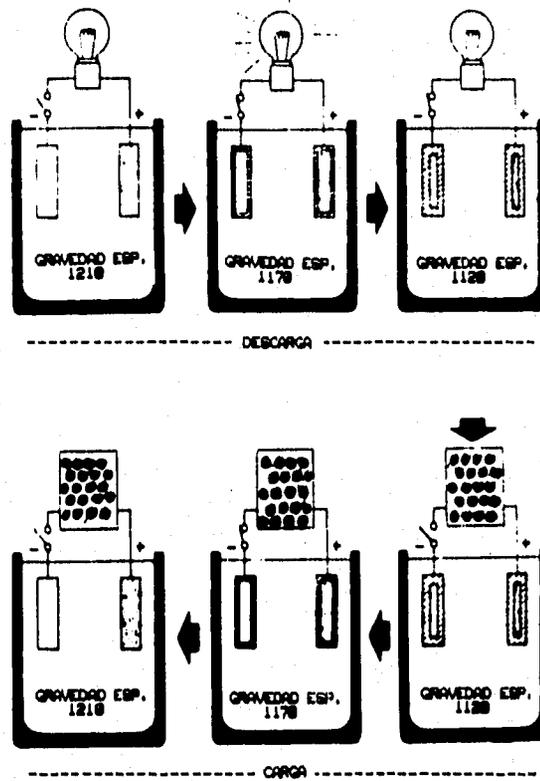
En la figura 3.6 se pueden apreciar los efectos químicos que tienen lugar en un ciclo de carga-descarga en una batería de plomo-ácido.

Como se observa, durante la descarga se produce un aumento de sulfato plúmbico y una disminución progresiva de los elementos que componen las placas, tanto positiva como negativa, así como una disminución de la concentración de ácido sulfúrico del electrolito.

Una vez que la batería ha llegado a su estado de carga bajo y comienza la recarga, las condiciones se van invirtiendo hasta restablecer las proporciones iniciales de cada elemento finalizando entonces la carga del acumulador.

Las placas están construidas con pasta de plomo, cuya cantidad determina la capacidad de la batería así como la profundidad de descarga a que puede ser sometida.

Cada vez que la batería se descarga, esta pasta va perdiendo volumen al irse desprendiendo. Por este motivo, si la batería debe responder en descargas



ELECTROLITO	PLACA POSITIVA	PLACA NEGATIVA
MAX. ACIDO SULFURICO MINIMA AGUA	PLOMO ESPONJOSO	DIOXIDO DE PLOMO
DECRECE ACIDO AUMENTA AGUA	DECRECE EL PLOMO AUMENTA SULFATO DE Pb	CRECE DIOXIDO DE Pb AUMENTA SULFATO DE Pb
MINIMO ACIDO MAXIMA AGUA	MINIMO PLOMO MAXIMO SULFATO DE Pb	MINIMO DIOXIDO DE Pb MAXIMO SULFATO DE Pb
MINIMO ACIDO MAXIMA AGUA	MINIMO PLOMO MAXIMO SULFATO DE Pb	MINIMO DIOXIDO DE Pb MAXIMO SULFATO DE Pb
AUMENTA EL ACIDO DECRECE EL AGUA	AUMENTA PLOMO DECRECIENDO SULFATO	AUMENTANDO DIOXIDO DECRECIENDO SULFATO
MAX. ACIDO SULFURICO MINIMA AGUA	PLOMO ESPONJOSO	DIOXIDO DE PLOMO

Fig. 3.6. Proceso químico de la carga-descarga de un acumulador.

muy profundas, sus placas deben ser muy gruesas y estar formadas con pasta de plomo de alta densidad.

La vida de una batería de plomo-ácido llega a su fin normalmente por dos motivos principales: uno se produce al no haber suficiente pasta de plomo en las placas para reaccionar con el electrolito y el otro, por no existir suficiente electrolito para reaccionar con el plomo.

Este último puede ser paliado en parte utilizando mayor reserva de electrolito, haciendo una carcasa mayor, pero se deberá tener cuidado, si existe evaporación de agua, de que la concentración de ácido no alcance valores peligrosos que puedan dañar al acumulador.

En una carga, y particularmente en su fase final, el acumulador desprende gases de hidrógeno y oxígeno, produciendo una pérdida de agua que forma parte del electrolito. Esta pérdida de agua puede evitarse en parte utilizando taponas catalizadores que en vez de dar salida a los gases hacia la atmósfera, hacen que éstos pasen por sustancias catalizadoras que los vuelven a convertir en agua, produciendo un menor mantenimiento del acumulador.

3.4.2. Profundidad de descarga y vida del acumulador.

Se denomina profundidad de descarga al valor en tanto por ciento que se ha sacado del acumulador en una descarga.

Se pueden dividir los acumuladores de plomo-ácido en dos tipos principales: los de descarga superficial y los de descarga profunda.

Al primer grupo pertenecen aquellas baterías cuya descarga rutinaria se encuentra entre el 10 y 15% y esporádicamente pueden descargarse a valores más profundos (40-50%).

Este tipo de batería utiliza generalmente placas planas de plomo con una aleación de antimonio, calcio o una mezcla de estos dos componentes. A este grupo pertenecen las baterías libres de mantenimiento que últimamente se están utilizando mucho en aplicaciones fotovoltaicas ya que presentan notables ventajas. No obstante, este tipo de baterías debe de utilizarse con suma precaución a la hora de hacerlas trabajar en grandes descargas, ya que su vida se acortaría mucho llegando a su destrucción total en pocos meses.

El otro tipo de baterías, las de descarga profunda, son aquellas que permiten, sin deterioro muy apreciable, descargas de hasta el 80% de su

capacidad, fijando su descarga media en un 20-25% en su uso diario. Los acumuladores de ciclo profundo incorporan bien placas planas o placas tubulares.

Directamente relacionada con la profundidad de descarga está la vida de una batería. Esta vida se expresa en ciclos que se definen como el número de veces que se produce una carga-descarga. La vida de una batería depende también del espesor de las placas y concentración del electrolito, pero fundamentalmente está marcada por la profundidad de cada descarga, ya que cuanto más profunda sea la descarga el número de ciclos se hace menor y se llega antes al fin del acumulador.

3.5. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos.

En la actualidad hay un gran número de situaciones donde el uso de los sistemas fotovoltaicos han sido considerados como la mejor solución a las necesidades energéticas.

En general los sistemas fotovoltaicos no se encuentran limitados en aquellos casos donde se requiera el suministro de energía eléctrica, ya sea en baja o alta escala.

Dependiendo de las necesidades energéticas, un sistema fotovoltaico podrá satisfacer "relativamente" pequeñas y medianas demandas de consumo de energía eléctrica, por lo que un sistema de este tipo podrá ser tan grande, o tan pequeño, como se requiera.

En general, las principales aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Viviendas aisladas

- Electrificación de casas rurales
- Viviendas de medio consumo, utilizadas en fines de semana
- Viviendas de medio consumo, utilizadas en vacaciones
- Viviendas de uso permanente

b) Comunicaciones

- En cabinas de emergencia instaladas en las carreteras
- En cabinas telefónicas instaladas en las carreteras

c) Ayuda a la navegación

- Faros en el mar
- Sirenas de nieblas
- Instrumentos de guiado para aterrizaje
- En la carga de baterías de veleros y algunos pequeños barcos

d) Ferrocarriles

- Señalización de cruces
- Semáforos
- Energía auxiliar para vagones

e) Agricultura

- Bombeo y riego
- Iluminación de naves de crianza
- Invernaderos
- Pastor eléctrico, etc.

f) Alumbrado

- Iluminación de señales de tránsito
- Iluminación de carteles publicitarios
- Iluminación de cruces de carreteras
- Iluminación de calles y avenidas

Además de estas aplicaciones, cabe mencionar que hace escasamente algunos años, la única utilización conocida de los sistemas fotovoltaicos era como generadores de energía eléctrica en satélites artificiales, hasta que se les dieron aplicaciones terrestres como algunas de las mencionadas anteriormente.

Gracias al desarrollo que han tenido los sistemas fotovoltaicos, actualmente se están considerando como fuentes alternativas de energía a gran escala, tal es el caso de la creación de centrales solares, en particular la central fotovoltaica construida en España la cual genera una potencia de 1 Mw.

3.6. Justificación de uso de los sistemas fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico se puede emplear por una o varias de las siguientes razones:

- Su costo (inversión + operación) es menor que extender una línea eléctrica hasta el lugar donde se localiza y se requiere la energía eléctrica. Un kilómetro de línea eléctrica de media tensión cuesta entre \$10,000 y \$20,000 dólares, dependiendo de las características del entorno. Por cada kilómetro de línea eléctrica se paga el costo de un sistema fotovoltaico con capacidad de 3 Kw-hora/día.
- Su costo es menor que operar un equipo de combustión interna. Aún cuando la inversión inicial de un sistema fotovoltaico puede ser más alta que un generador diesel o gasolina, el ahorro de combustible y el mantenimiento hacen más rentable al sistema fotovoltaico en aquellas aplicaciones donde la carga eléctrica es menor a 10 Kw-hora/día.
- Su instalación es muy rápida. Un sistema fotovoltaico típico puede transportarse y estar en operación en menos de una semana, mientras que extender una línea eléctrica puede tardar meses.
- La instalación de un sistema fotovoltaico tiene un impacto mínimo en la ecología del sitio en comparación con una extensión de una línea eléctrica, lo cual puede significar derribar decenas de árboles y operar una planta diesel contamina el aire y produce ruido.

CAPITULO 4

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

4.1 Parámetros del sistema fotovoltaico

El tema del dimensionado de un sistema fotovoltaico, debe abordarse antes de comenzar el cálculo de cada elemento en función de la necesidad del usuario, capacidad económica de este y preferencias determinadas, siendo imprescindible que el proyectista recoja toda la información posible directamente del usuario, quien disfrutará de la instalación fotovoltaica, tratando de satisfacer sus requerimientos hasta el límite de lo posible.

En el dimensionado de todo sistema fotovoltaico, el primer paso será definir perfectamente los objetivos de la instalación, atendiendo a las necesidades reales de los futuros usuarios y los requerimientos concretos. Para ello el proyectista, debe recabar la información de la aplicación prevista, no sólo inicialmente sino durante los años futuros.

Todos los datos referentes a consumos previstos, deberán recopilarse y anotarse a fin de proceder a una evaluación de los mismos.

Es importante recalcar que la potencia nominal que indica el fabricante de los aparatos eléctricos, no equivale a la potencia consumida por los mismos, esta última es mayor debido a la pérdida por rendimiento, la cual varía de acuerdo a cada aparato. Como no pueden establecerse valores fijos para determinar las pérdidas por rendimientos, estas se engloban en un sólo coeficiente de consumo total o factor de seguridad en el consumo.

Una vez determinadas las potencias consumidas por cada aparato, es preciso estimar, los tiempos medios de utilización, diarios, semanales, mensuales o anuales de cada uno de ellos, teniendo en cuenta los posibles altibajos motivados por diferentes causas. Sin embargo, pueden establecerse tiempos medios diarios, que se suponen constantes.

Para el caso del sistema fotovoltaico que proponemos, los consumos medios diarios anteriores, se proponen para una familia formada por dos adultos, un adolescente y un niño y son los siguientes:

Concepto	Potencia (W)	Tiempo (hr/día)	Consumo (W-hr/día)
Entrada (1 punto de luz 13 W)	13	4	52
Sala (2 puntos de luz 13 W)	26	4	104
Comedor (2 puntos de luz 13 W)	26	4	104
Estancia (1 punto de luz 13 W)	13	2	26
3 Recámaras (3 puntos de luz 13 W)	39	3	117
2 Baños (2 puntos de luz 13 W)	26	2	52
2 Tocadores (2 puntos de luz 9 W)	18	1	18
Cocina (1 punto de luz 13 W)	13	4	52
Desayunador (1 punto de luz 13 W)	13	4	52
Patio servicio (1 punto de luz 13 W)	13	0.25	3.25
5 Contactos adicionales C.D. (20 W)	100	2	200
TV B/N	30	4	120
Refrigerador	100	6	600
Rasuradora	3	0.1667	0.5
Stereo c/CD	60	2	120
Factor de seguridad	100	1	100
TOTAL	608		1788.75

Es importante que el usuario, no sobrepase los tiempos medios establecidos, ya que de lo contrario, provocará fallas sobre el sistema, llegando, incluso, a prescindir del suministro de energía por algún periodo de tiempo (horas o días inclusive).

En el anexo se muestra el plano arquitectónico de la casa - habitación propuesta para ser alimentada por un sistema fotovoltaico.

4.2 Modelado del sistema fotovoltaico.

4.2.1 Capacidad de acumulación y determinación del acumulador.

Lo primero que se ha de determinar como paso previo al cálculo de la capacidad de acumulación del sistema, así como a la selección del acumulador a

emplear, será determinar el máximo número de días de autonomía (DA) previstos para la instalación fotovoltaica.

Dicho número de días, debe ser asignado por el proyectista de acuerdo a las características climatológicas de la zona y del servicio que la instalación preste al usuario.

Los días de autonomía, se refieren, al número máximo de días consecutivos al año que pudieran producirse en condiciones desfavorables, periodo en el cual nuestros paneles solares casi no producirán la energía eléctrica necesaria para tener cargadas nuestras baterías, por lo que el consumo de energía necesaria, se realizará a expensas de la batería, siendo, esta el soporte de la instalación fotovoltaica.

Es importante mencionar que no se deberá escatimar en brindar un mayor número de días de autonomía a aquellas instalaciones fotovoltaicas importantes tales, como son las de emergencia (telecomunicaciones, instalaciones militares, etc.).

Para instalaciones fotovoltaicas de menor importancia, es preferible brindar los días de autonomía necesarios, a fin de que el costo de nuestro sistema no se haga demasiado elevado. El usuario de dicho sistema deberá conocer las limitaciones del sistema y cualquier exceso de uso podrá significar quedarse sin el suministro de energía eléctrica durante algún día o en el peor de los casos, durante varios días.

Básicamente para poder realizar el cálculo de la capacidad de acumulación, además de conocer los datos de número de días de autonomía (DA) y la energía total teórica (ET) requerida en un periodo de 24 horas obtenidas, a partir de las potencias y del tiempo en funcionamiento diario de cada aparato de consumo (teniendo en cuenta que en caso de existir diferencias estacionales en el consumo habrán de tomarse siempre los valores correspondientes al mes más desfavorable), requeriremos conocer la energía real (ER) proveniente de los paneles solares que recibirá nuestro acumulador.

La energía real (ER) equivaldrá a la energía diaria necesaria para ser almacenada en baterías, pero tomando en cuenta las diferencias que puedan suscitarse. Básicamente:

$$ER = \frac{ET}{R}$$

donde R es el factor global de rendimiento de la instalación y está definido por:

$$R = 1 - \frac{(1-K_b-K_c-K_v) \cdot K_a \cdot DA}{pd} - K_b - K_c - K_v$$

donde:

K_b = Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador

K_a = Coeficiente de autodescarga

K_c = Coeficiente de pérdidas en el convertidor

K_v = Coeficiente que agrupa otras pérdidas

pd = Profundidad de descarga del acumulador

DA = Días de autonomía del sistema

El coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador K_b , indica la fracción de la energía que la batería no devuelve respecto a la absorbida procedente de los paneles solares. Esto es, durante el ciclo carga - descarga existe una pequeña pérdida de energía que es convertida en energía calorífica.

El coeficiente de autodescarga K_a , representa la fracción de energía de la batería que se pierde por autodescarga. El fabricante deberá especificar este dato. Es importante tomar en cuenta que la autodescarga puede depender de la temperatura ambiente de la zona, ya que si aumenta está, proporcionalmente aumentará la autodescarga. Por lo tanto, los valores estándar del fabricante suelen venir referidos a una temperatura media de 20 a 25 grados centígrados.

En el supuesto de que solamente se conozca el tipo de batería que se va a utilizar, podemos estimar los siguientes valores para K_a a temperatura ambiente:

- 2×10^{-3} / día. Para baterías de baja autodescarga (Ni - Cd) o las de (Pb - Ca) libres de mantenimiento.
- 5×10^{-3} / día. Para las baterías estacionarias de Pb normalmente utilizadas con fines de acumulación de energía solar.
- 12×10^{-3} / día. Para las baterías de alta autodescarga (Pb - ácido) con fin automotriz.

Por otro lado podemos estimar la autodescarga K_a para aquellos lugares donde la temperatura oscile en un intervalo de - 5 a 45 grados centígrados por medio de la siguiente expresión:

$$K_a' = (0.0014 t^\circ + 0.0021 t^\circ + 0.4) K_a$$

El coeficiente de pérdidas en el convertidor K_c , solamente será empleado cuando exista en la instalación fotovoltaica y afecte a la mayor parte de la instalación.

En el supuesto de que sólo se utilizará para algunos aparatos, K_c se supondrá igual a cero incluyendo en este caso las pérdidas del convertidor en el cálculo previo del consumo de los aparatos que afecte.

El coeficiente que agrupa otras pérdidas K_v , considera aquellas pérdidas tales como son el efecto Joule de los aparatos eléctricos, cables y conexiones. Por lo general, y a falta de más datos, los fabricantes de plantas solares suelen estimarlo en un valor medio de 0.15.

La profundidad de descarga pd de cada tipo de batería será especificada por el fabricante el cual la recomendará para maximizar la vida de la misma.

Una vez calculados los datos anteriores, podemos proceder a calcular la capacidad útil (CU) que deberá tener la batería, que será igual a la energía total real (ER) que es preciso producir, multiplicada por el número de días de autonomía, ya que la batería deberá ser capaz de acumular toda la energía necesaria en dicho periodo.

$$CU = ER \cdot DA$$

Por lo general se suele expresar el coeficiente de utilización de la batería en (Amp - hr), para ello, la energía real (ER) deberá estar expresada en (W - hr), y sólo bastará dividir el coeficiente de utilización (CU) entre el voltaje nominal de la batería, (normalmente 12 ó 24 volts).

$$CU = \frac{ER \cdot DA}{V}$$

Finalmente la capacidad nominal (C), que deberá ser utilizada resultará de dividir el coeficiente de utilización (CU) entre la profundidad de descarga máxima admisible (pd).

$$C = \frac{CU}{pd}$$

Por último, deberemos escoger la batería del catálogo del fabricante que más se aproxime al valor de la capacidad nominal C, ya que no se fabrican baterías de cualquier capacidad. En el caso de que el valor de C calculado coincida más o menos entre los valores del catálogo recomendamos elegir el de mayor capacidad para obtener un margen de seguridad. Si no existe ningún modelo con capacidad suficiente habremos de recurrir a combinar en paralelo dos o más modelos de inferior capacidad hasta obtener aproximadamente la capacidad total deseada.

4.2.2. Cálculo de la potencia de los paneles.

La energía real (ER), calculada, es la energía que deberá entrar a los bornes de las baterías proveniente de los paneles solares, pero por lo general, entre estos suele estar instalado un regulador que disipa energía en forma de calor, o bien corta el suministro durante ciertos periodos. Es bastante difícil evaluar con precisión las pérdidas del regulador, ya que estas dependen del estado de carga de la batería, que a su vez depende del perfil de consumo diario. Así evidentemente, en aquellos momentos en que la batería esté totalmente cargada, el regulador no dejará pasar ninguna energía.

Por término medio, consideramos que un 10 % de la energía que produzcan los paneles va a ser disipada por el regulador y no se convertirá en energía útil. Sin embargo, en las épocas del año más desfavorables las baterías se encontrarán en estado de máxima carga durante una buena parte del día, y por lo tanto, la energía sobrante que podrán teóricamente producir los paneles será disipada en el regulador elevando a más de 10 % el valor del factor de pérdidas que se ha considerado. Para efectos de dimensionado, se tomará el periodo más desfavorable (invierno), en el que el estado de carga máxima se alcanzará pocas veces, y el regulador no desaprovechará mucha energía por lo que puede ser aceptable tomar un rendimiento del 90 %. Por lo tanto:

$$EP = \frac{ER}{0.9} \quad EP > ER$$

Para consideraciones de cálculo es preciso analizar el concepto de horas sol pico (HSP) del lugar donde se instale el sistema fotovoltaico.

HSP, significa el número de horas de sol pico que recibirá una superficie horizontal de un metro cuadrado a una intensidad de 1000 W/ m². Este concepto es muy útil ya que sirve como nexa entre la energía solar recibida y la cantidad proporcionada por el panel.

Para cálculo de instalaciones se utilizará:

$$HSP = 0.0116 H K \quad H = (\text{langley})$$

$$HSP = 0.2784 \times 10^{-3} H K \quad H = (\text{kJ/m}^2)$$

donde:

H = Energía solar incidente sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado
K = Coeficiente de corrección por inclinación de paneles

Este concepto nos permite calcular el número verdadero de horas de aprovechamiento solar, ya que desde que amanece hasta que se pone el sol, la intensidad de energía solar varía continuamente. En un día típico claro, crece por la mañana, alcanza su máximo al medio día y decrece por la tarde. Sumando toda la energía recibida a lo largo del día, se obtendría el valor de H, pero en realidad, en los primeros momentos de la mañana y en los últimos de la tarde, la intensidad es demasiado pequeña, para que el panel produzca un voltaje apto para ser aprovechado.

Para nuestro objeto de estudio, se ha de considerar además el factor de corrección por inclinación de paneles K mismo que bastará consultar en la Tabla 4.1.

El número de paneles a instalar, estará dado por el cociente entre EP y la energía que realmente es capaz de producir cada panel a lo largo del día (la cual es estimada un 10 % menor que la potencia máxima teórica que suele ser la potencia nominal que especifican los fabricantes). Así pues:

$$\text{Número de Paneles} = \frac{EP}{0.9(P)(HSP)}$$

donde:

P = Potencia nominal del panel.

En el factor de corrección de 0.9 se incluyen también las pequeñas pérdidas adicionales tales como: posible suciedad de los paneles, pérdidas por reflexión, etc.

En aquellos supuestos en que la potencia nominal P tomada del catálogo del fabricante, ya sea proporcionada en condiciones de trabajo no hará falta utilizar el coeficiente de 0.9.

4.2.3. Elementos adicionales de la instalación.

a) Reguladores.

Una vez diseñada la instalación y calculado el número de paneles y baterías, sólo quedará definir la dimensión y el tipo de regulador a incorporar (ya sea regulador serie o regulador paralelo). Una vez definido este punto, se

calculará el número máximo de paneles que se han de acoplar con cada elemento de regulación.

Si la instalación es reducida todos los paneles estarán normalmente conectados a un solo regulador, pero en caso contrario se deberán hacer grupos de módulos, cada uno con su regulador, conectando todas las salidas a la misma batería.

El dimensionado del sistema de regulación se debe realizar con un factor de seguridad entre la potencia máxima producida por el campo de paneles y la potencia máxima del regulador de un 10 % como mínimo.

Es importante mencionar que el regulador debe operar y desconectarse cuando se alcance el 50 % de profundidad máxima de descarga admisible en el grupo de baterías, y aquellos que cuenten con alarma, den aviso acústico cuando se ha llegado al 40 % de la descarga.

En general se debe procurar que el número de reguladores sea el mínimo posible, y si es necesario más de un regulador, podremos calcular el número de reguladores a emplear mediante la siguiente expresión:

$$NR = \frac{NPP(IP)}{IR}$$

donde:

NR = Número de reguladores

NPP = Número de paneles en paralelo

IP = Intensidad del panel seleccionado

IR = Intensidad máxima que es capaz de disipar el regulador

Si el valor de NR no es número entero, el número de reguladores será igual al número entero inmediato superior.

b) Contadores amperes horas.

Este tipo de dispositivos permitirán llevar un control de los Amperes horas producidos y los Amperes horas consumidos y le servirán al usuario para poder realizar un balance del estado del sistema en un momento determinado, su finalidad es sólo el control.

c) Inversores.

Si el sistema los incluye para alimentar los equipos en C.A., entonces la potencia del mismo será la suma de la potencia demandada por todas las cargas que puedan estar operando simultáneamente.

Debe además, cuidarse que el inversor sea capaz de suministrar la corriente de arranque de cualquiera de ellas. En especial los motores de inducción que pueden consumir en el arranque varias veces que superen la potencia nominal.

Las características de funcionamiento que definen a un inversor de CC - CA son:

- Tensión nominal de entrada.
- Potencia nominal.
- Tensión nominal de salida.
- Eficiencia.
- Tipo de onda generada.

En base a las características anteriores se deberá elegir un inversor que sea capaz de soportar y actuar por encima de su potencia nominal durante ciertos periodos de tiempo (por ejemplo cuando se pone en marcha un motor).

4.3. Programa en BASIC para modelar sistemas fotovoltaicos.

Este programa tiene como objetivo modelar sistemas fotovoltaicos en base a los parámetros de diseño vistos anteriormente. Calcula el número de acumuladores, paneles y reguladores a emplear. La notación utilizada es la misma que se utiliza en el cálculo de cada uno de los elementos.

```

10 REM *** PROGRAMA PARA MODELAR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ***
20 REM
30 LPRINT "**** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ****"
40 LPRINT
50 INPUT "Kb =",KB:LPRINT "Kb =",KB
60 INPUT "Kc =",KC:LPRINT "Kc =",KC
70 INPUT "Kv =",KV:LPRINT "Kv =",KV
80 INPUT "Ka =",KA:LPRINT "Ka =",KA
90 INPUT "Pd =",PD:LPRINT "Pd =",PD
100 INPUT "N =",N:LPRINT "N =",N

```

```

110 INPUT "Et (W) =",ET:LPRINT "Et =",ET,"(W)"
120 INPUT "Vbat (V) =",VBAT:LPRINT "Vbat =",VBAT,"(V)"
130 INPUT "Cbat (A-h)=",CBAT:LPRINT "Cbat =",CBAT,"(A-h)"
140 R = 1-((1-KB-KC-KV)*KA*N/PD)-KB-KC-KV
150 ER = ET/R
160 CU = ER*N/VBAT
170 C = CU/PD
180 NBAT = C/CBAT
190 LPRINT "R =",R
200 LPRINT "Er =",ER,"(W-h)"
210 LPRINT "Cu =",CU,"(A-h)"
220 LPRINT "C =",C,"(A-h)"
230 LPRINT
240 LPRINT "NUMERO DE BATERIAS =",NBAT
250 LPRINT
260 LPRINT "****  CALCULO DE NUMERO DE PANELES  ****"
270 LPRINT
280 PI = 3.141593
290 INPUT "H [Langleys] =",H:LPRINT "H =",H,"[Langleys]"
300 INPUT "DIA DEL AÑO =",DA:LPRINT "DIA DEL AÑO =",DA
310 INPUT "LATITUD [grados]=",F:LPRINT "LATITUD =",F,"[grados]"
320 INPUT "INCLINACION PANEL [grados]=",S:LPRINT "S =",S,"[grados]"
330 INPUT "ANGULO HORARIO [grados]=",O:LPRINT "ANGULO HORARIO =",O,"[grados]"
340 INPUT "POTENCIA DEL PANEL (W)=",P:LPRINT "POTENCIA PANEL =",P,"(W)"
350 F1 = F*PI/180
360 S1 = S*PI/180
370 O1 = O*PI/180
380 A1 = (360*(DA-172)/365.242)*PI/180
390 A2 = 23.45*PI/180
400 D = A2*COs(A1)
410 D1 = D*180/PI
420 X1 = (SIN(D)*SIN(F1-S1)+COs(D)*COs(F1-S1)*COs(O1))
430 X2 = (SIN(D)*SIN(F1)+COs(D)*COs(F1)*COs(O1))
440 K = X1/X2
450 K1 = K*.7+.3
460 HSP = .0116*H*K1
470 NP = ER/(.9*P*HSP)
480 LPRINT "DECLINACION =",D1,"[grados]"
490 LPRINT "FACTOR DE CORRECCION K =",K1
500 LPRINT "HSP =",HSP,"[hr/dia]"
510 LPRINT
520 LPRINT "EL NUMERO DE PANELES ES =",NP
530 LPRINT
540 LPRINT "****  CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES  ***"
550 LPRINT
560 INPUT "CORRIENTE PICO PANEL [Amp]=",IP
570 INPUT "CORRIENTE MAX. REGULADOR [Amp]=",IR
580 NR = NP*IP/IR
590 LPRINT "CORRIENTE PICO PANEL =",IP,"[Amp]"
600 LPRINT "CORRIENTE MAX. REGULADOR =",IR,"[Amp]"
610 LPRINT
620 LPRINT "EL NUMERO DE REGULADORES ES =",NR

```

4.4. Memoria de cálculo.

*** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ***

Kb = .05
 Kc = 0
 Kv = .15
 Ka = .005
 Pd = .6
 N = 4
 Et = 1786.75 (W)
 Vbat = 12 (V)
 Cbat = 105 (A-h)
 R = .7733333
 Er = 2310.453 (W-h)
 Cu = 770.1509 (A-h)
 C = 1283.585 (A-h)

NUMERO DE BATERIAS = 12.22462

*** CALCULO DE NUMERO DE PANELES ***

H = 388 (Langleys)
 DIA DEL AÑO = 17
 LATITUD = 19.5 (grados)
 S = 20 (grados)
 ANGULO HORARIO = 0 (grados)
 POTENCIA PANEL = 77 (W)
 DECLINACION = -20.85222 (grados)
 FACTOR DE CORRECCION K = 1.161198
 HSP = 5.226321 (hr/dia)

EL NUMERO DE PANELES ES = 6.379224

*** CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES ***

CORRIENTE PICO PANEL = 4.56 (Amp)
 CORRIENTE MAX. REGULADOR = 15 (Amp)

EL NUMERO DE REGULADORES ES = 1.939284

4.5 Costos del sistema propuesto.

Para el consumo propuesto por nuestro sistema tenemos que el costo total será:

Cant	Descripción	Marca	Modelo	Precio unitario	Total
7	Panel solar	Condumex	MSX - 77 W	4579	32053
2	Regulador	Condumex	cmcx -12/15/20	417	834
12	Batería	Delco	S2000 (105 A-H)	1060	13760
				Sub total	46667
				IVA	7000
				Total	\$ 53667

Los costos están cotizados a precios de mayo de 1986.

Los datos técnicos de cada elemento propuesto se podrán consultar en el anexo.

CAPITULO 5

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FOTOVOLTAICO Y PRUEBAS AL SISTEMA

5.1. Justificación de construcción del modelo fotovoltaico.

La construcción del modelo de pruebas servirá para realizar un análisis comparativo del funcionamiento del sistema bajo ciertas condiciones de operación con respecto al sistema fotovoltaico teórico propuesto en este trabajo.

5.2. Modelo de pruebas.

El modelo de pruebas esta integrado por los siguientes elementos:

e) Panel fotovoltaico 1:

- Marca NEC
- Dimensiones 295 x 293 mm
- Voltaje nominal 12 V
- Corriente 0.4 Amp
- Potencia 4.8 W

b) Panel fotovoltaico 2:

- Marca SOLAREX
- Dimensiones 210 x 835 mm
- Voltaje nominal 12 V
- Corriente 1.8 Amp.
- Potencia 22 W

c) Regulador:

- Marca Condumex
- Voltaje nominal 12 V
- $I_{m\acute{a}x}$ módulos 15 Amp
- $I_{m\acute{a}x}$ carga 20 Amp
- Voltaje máx. 22 V

d) Batería:

- Marca LTH (plomo-ácido)
- Modelo 8A
- Voltaje nominal 12V
- Capacidad 70 A-H (27°C)
- Vida útil 3 años

e) Instrumentos de medición:

- Inclínómetro (0-360 grados)
- Piranómetro
No. de serie CM5-784305
Cte. de conversión (K_p) = $12.52 \mu V/W/m^2$
- Multímetro digital (marca OTTO)

En la figura 5.1. se muestra la forma en que se integraron todos los elementos mencionados anteriormente para construir el modelo fotovoltaico. En la misma se muestra el módulo fotovoltaico, marca SOLAREX, con el piranómetro en el mismo plano para censar el nivel de radiación incidente sobre el mismo y de esta forma obtener la potencia luminosa que incide sobre el módulo fotovoltaico, también se observa la posición del regulador, la batería y el inclinómetro.

5.3. Pruebas y análisis de resultados.

Las pruebas de funcionamiento que se propusieron fueron las siguientes:

1. Curva característica del módulo fotovoltaico.
2. Variación del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico en vacío.

3. Variación del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico, con carga constante.
4. Funcionamiento del sistema fotovoltaico durante el día y carga de la batería.
5. Variación de los ángulos solares derivados (azimuth, altura y cenith) durante el día.

Las cuatro primeras pruebas se realizaron al módulo fotovoltaico marca NEC, mientras que al módulo marca SOLAREX sólo se le realizaron las pruebas 1 y 4.



Fig. 5.1. Componentes que integran el modelo de pruebas.

5.3.1. Curva característica del módulo fotovoltaico.

A) Módulo marca NEC.

Esta prueba se llevó a cabo el día 10 de abril de 1996. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.1.

En esta prueba se comprobó la capacidad del módulo, el cual tuvo una eficiencia máxima de 3.65%, equivalente a un voltaje a la carga de 12.7 V y una corriente a la carga de 220 mA. De los resultados anteriores podemos obtener que el módulo fotovoltaico generará una potencia máxima de 2.8 W, o mayor, si las condiciones climatológicas son más favorables.

La potencia eléctrica se define como el producto del voltaje y la corriente producidas por el módulo solar, mientras que la potencia luminosa simplemente es el producto del nivel de radiación por el área del módulo.

En la gráfica 5.1. se muestra la curva característica obtenida para este módulo, y en la gráfica 5.2. se muestra la variación de la eficiencia de éste con respecto a la variación de la potencia eléctrica y luminosa del mismo.

En la figura 5.2. se ilustra la manera como fué colocado en modelo de pruebas para la obtención de la curva característica del módulo fotovoltaico marca NEC. Para la obtención de esta curva se orientó el modelo de pruebas de frente al Sur y se le dió al módulo fotovoltaico una inclinación de 20°, a este módulo se le conectó un banco de resistencias como el que se muestra en la figura 5.3, el cual representa la carga variable.

B) Módulo marca SOLAREX.

Esta prueba se llevó a cabo el día 6 de junio de 1996. Los resultados se muestran en la tabla 5.2.

Lo que se observa en estos resultados es que la capacidad de generación del módulo fue muy baja, siendo su potencia eléctrica máxima de 6.73 W equivalente a un voltaje y corriente a la carga de 11.61 V y 0.58 A respectivamente. Esto se debió principalmente a que los niveles de radiación registrados este día fueron muy bajos ya que la nubosidad fue demasiado densa, provocando una eficiencia de generación de energía eléctrica en el módulo de 7.66%.

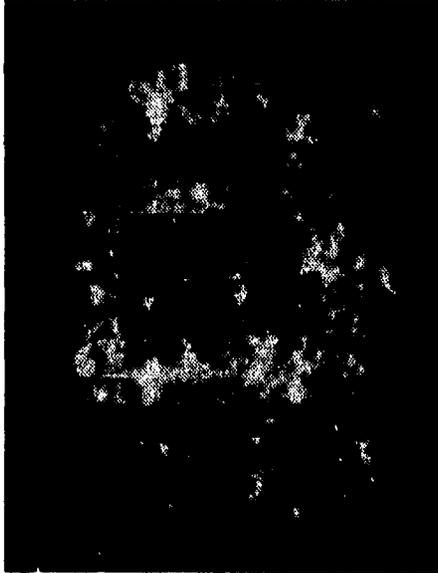


Fig. 5.2. Obtención de la curva característica del módulo fotovoltaico marca NEC.

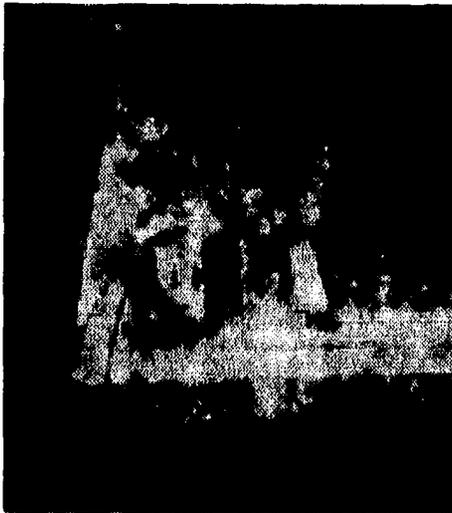


Fig. 5.3. Banco de resistencias utilizado en la obtención de la curva característica de los módulos fotovoltaicos.

Sin embargo, aún cuando el nivel de radiación resultó desfavorable, éste día se pudo obtener la curva característica lo suficientemente bien definida para observar el comportamiento del módulo al variar su carga, ésta curva se muestra en la gráfica 5.3. y en la gráfica 5.4. se puede observar la variación de la eficiencia de generación de energía eléctrica del módulo con respecto a la variación de la potencia eléctrica y luminosa del mismo.

En la figura 5.4 se muestra la colocación del modelo de pruebas para la obtención de ésta curva, el cual también fué orientado de frente al Sur y al módulo fotovoltaico se le conectó el banco de resistencias que se muestra en la figura 5.3.

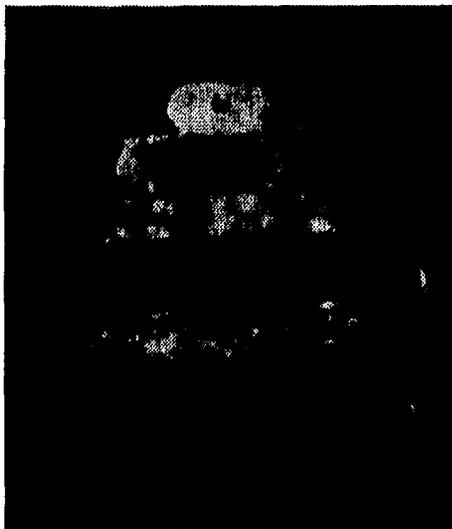


Fig. 5.4. Obtención de la curva característica del módulo fotovoltaico marca SOLAREX.

5.3.2. Variación del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico en vacío.

En la tabla 5.3. se muestran los resultado obtenidos en esta prueba, la cual se realizó al módulo marca NEC el día 16 de abril de 1996.

Lo que se observa en estos resultados es la respuesta del módulo fotovoltaico con respecto a su ángulo de inclinación, la cual es muy alta, considerando que no alimenta a ningún tipo de carga. Con estos resultados se

observa que el módulo tiene un mejor rendimiento en el intervalo de inclinación comprendido entre los 13° y los 60° , ya que la generación de voltaje y corriente en este intervalo es casi constante.

En la gráfica 5.5. se muestra la variación de la eficiencia de generación de energía eléctrica del módulo con respecto a la inclinación del mismo y al ángulo de incidencia.

En las figuras 5.5 y 5.6 se muestra la colocación del modelo de pruebas en una de las condiciones extremas en que se podría encontrar el módulo fotovoltaico, es decir inclinado casi a 90° .



Fig. 5.5. Variación del ángulo de incidencia, vista frontal.

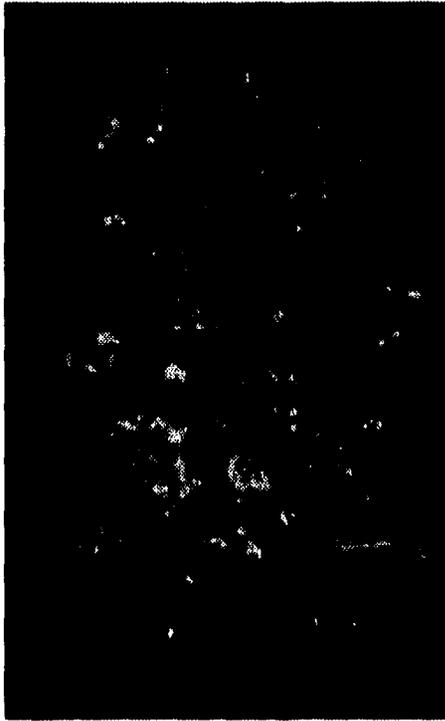


Fig. 5.6. Variación del ángulo de incidencia, vista lateral.

5.3.3. Variación del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico con carga constante.

Para realizar esta prueba se utilizaron dos tipos de carga una de 60 ohms y otra de 65 ohms, esto es debido a que en la curva característica del módulo NEC la potencia eléctrica máxima generada por el mismo se da entre estos valores. Esta prueba se realizó el día 17 de abril de 1996.

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 5.4. y 5.5. respectivamente.

En la tabla 5.4. se observa que hasta un ángulo de inclinación de 62° el módulo fotovoltaico genera un buen nivel de voltaje y corriente. La variación del ángulo de incidencia correspondiente esta comprendida entre los 0° y 20° .

En la tabla 5.5. podemos observar que el voltaje y la corriente generados por el módulo tienen poca variación entre los 10° y 40° de inclinación, equivalentes a un rango de variación del ángulo de incidencia de -15° a 20° ; dentro de este rango, se observa que la potencia eléctrica máxima generada por el módulo fotovoltaico, así como su eficiencia, se tiene a los 14° de inclinación.

De estos resultados se puede concluir que el módulo fotovoltaico tendrá una buena respuesta de funcionamiento con carga hasta los 40° de inclinación del mismo.

En las gráficas 5.6. y 5.7. se muestra la variación de la eficiencia de generación de energía eléctrica del módulo fotovoltaico con respecto a la inclinación del mismo y al ángulo de incidencia.

La figura 5.7 muestra la carga que se utilizó en la realización de esta prueba.



Fig. 5.7. Carga utilizada en la variación del ángulo de incidencia.

5.3.4. Funcionamiento del sistema fotovoltaico durante el día y carga de la batería.

A) Módulo marca NEC.

El objetivo principal de esta prueba fue observar el comportamiento de todo el sistema fotovoltaico en condiciones de operación normal durante el día. En la tabla 5.6. se muestran los resultados obtenidos para esta prueba, la cual se llevó a cabo el día 22 de abril de 1996.

Para observar el comportamiento del sistema fotovoltaico en su conjunto se consideró el funcionamiento de cada uno de los elementos que lo componen, en este caso son el módulo fotovoltaico y la carga alimentada; desgraciadamente no se midió la corriente que fluye del regulador a la batería por lo que no se puede apreciar el funcionamiento de ésta dentro del sistema, sin embargo se tratará de interpretar lo mejor posible dicho funcionamiento. En la figura 5.8 se observa la manera en que fueron colocados los elementos utilizados en esta prueba.

En la gráfica 5.8. se muestra el comportamiento que tuvo el módulo fotovoltaico en la generación de energía eléctrica.

Lo que se observa es que la respuesta del módulo al nivel de radiación (potencia luminosa) es bastante buena aún cuando ésta se encuentra a niveles muy bajos (al alba y al ocaso), una observación importante es que la corriente que genera el módulo fotovoltaico varía con respecto al nivel de radiación mientras que el voltaje generado se mantiene más o menos constante al mismo. La eficiencia obtenida en la generación de energía eléctrica del módulo se mantiene más o menos constante, entre 4 y 5 por ciento, excepto en el ocaso en donde se observó que aún cuando el nivel de radiación fue muy bajo el módulo generó un nivel alto de voltaje provocándose un aumento considerable en la eficiencia.

Por otro lado en la gráfica 5.9. se muestra la forma en que el sistema fotovoltaico suministró energía eléctrica a la carga, observándose que mientras la corriente demandada por ésta fue menor que la corriente generada por el módulo éste último fue quien le suministró la energía, mientras que cuando la corriente de la carga fue mayor que la corriente generada por el módulo la batería entró en funcionamiento, es por esto que la eficiencia en el suministro se eleva en estos casos.



Fig. 5.8. Funcionamiento del sistema fotovoltaico durante el día.

B) Módulo fotovoltaico SOLAREX.

Esta prueba fue realizada el día 17 de junio de 1996. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.7.

En la gráfica 5.10 se muestra el comportamiento del módulo fotovoltaico en la generación de energía eléctrica. Aquí se observa cómo la potencia eléctrica es afectada por el nivel de radiación aún así la respuesta del panel a éstos es muy alta obteniéndose una buena eficiencia en la generación de energía eléctrica.

En la gráfica 5.11. se muestra el comportamiento de la batería durante el funcionamiento del sistema. Aquí se observa cómo la potencia eléctrica de la batería varía con respecto al nivel de radiación, ésto es porque en los niveles de radiación más bajos la batería entró en operación suministrando energía eléctrica a la carga alimentada por el sistema fotovoltaico, por lo que la eficiencia en la carga de la batería disminuye en estos casos.

En la gráfica 5.12. se observa el comportamiento que tiene el sistema fotovoltaico al suministrar energía eléctrica a la carga. Aquí se observa cómo la eficiencia en el suministro de energía aumenta cuando la potencia luminosa

disminuye, lo que indica que la batería esta apoyando al sistema sediéndole energía. Por otra parte se observa que la eficiencia en el consumo de energía eléctrica de la carga es muy pequeño, lo que indica que la mayor parte de energía generada por el módulo es utilizada para la carga de la batería.

5.3.5. Variación de los ángulos solares derivados (azimuth, altura y cenith) durante el día.

En la tabla 5.8. se muestra la variación de los ángulos del azimuth, altura y cenith solares para el día 22 de abril de 1996, al cual le corresponde un ángulo de declinación de 12.37° , de igual forma se muestran los ángulos teóricos obtenidos para el mismo día.

Para poder realizar esta prueba únicamente se utilizó el transportador, el cual se muestra en la figura 5.9, y los ángulos se obtuvieron mediante las sombras producidas por el mismo.

En la medición de los ángulos solares derivados se puede observar que las variaciones entre los datos teóricos y los prácticos son pequeñas por lo que nuestro transportador tiene buena confiabilidad en la medición de éstos parámetros.

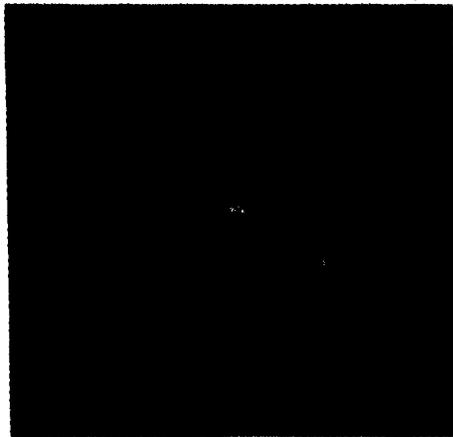


Fig. 5.9. Transportador utilizado en la obtención de los ángulos solares.

En las gráficas 5.13. y 5.15. se muestra que tanto la altura como el azimuth solares tienen sus máximos en el medio día solar, el cual no está incluido en los resultados, y se dio a las 13:36 Hrs del horario de verano para este día. De igual forma se observa en la gráfica 5.14. que el cenith tuvo su mínimo también en el medio día solar.

Es importante recargar que éstos ángulos de azimuth, altura y cenith solares se calcularon teóricamente tomando como meridiano de referencia para el horario de verano 75° y como meridiano local 99° .

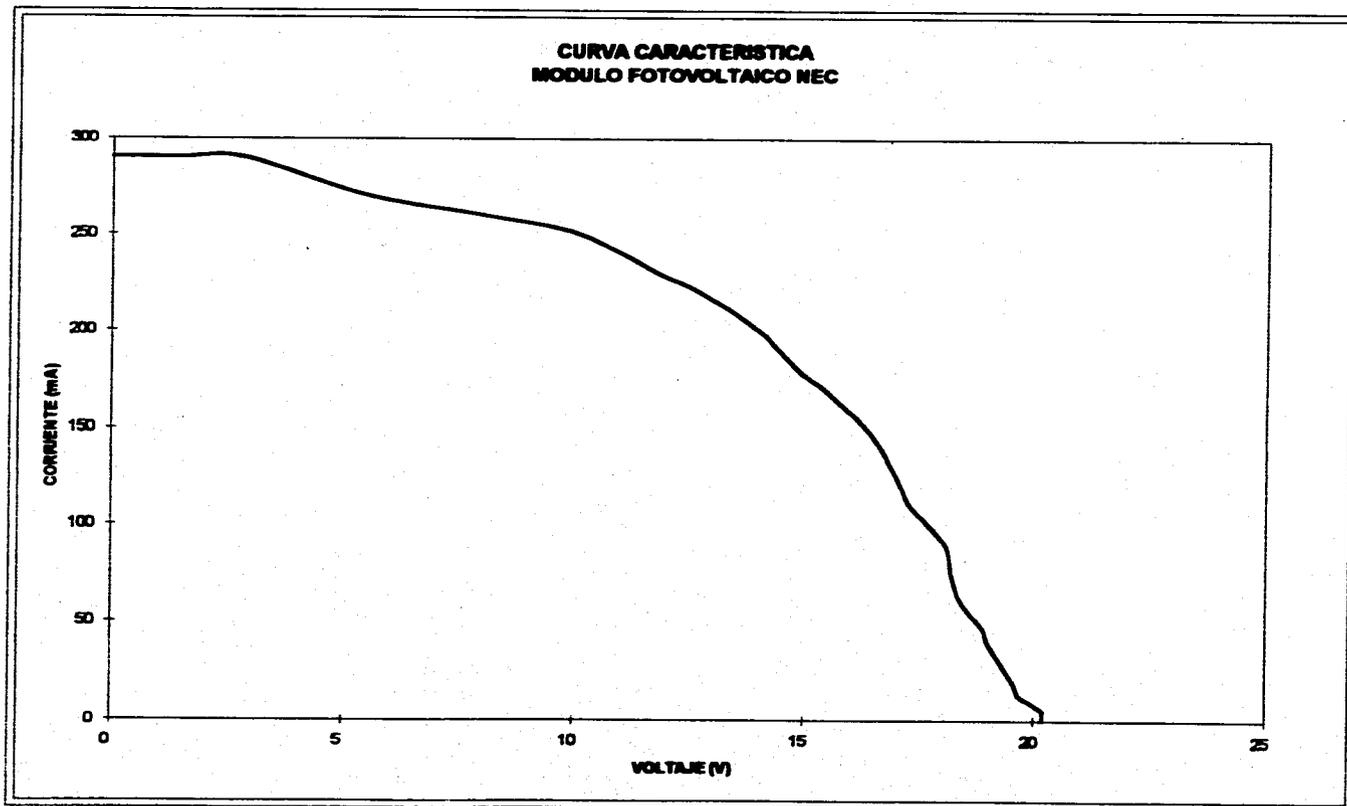
En el anexo se muestra el diagrama del modelo de pruebas fotovoltaico en donde se puede apreciar de mejor manera la distribución de los elementos utilizados para su construcción.

TABLA 6.1.

CURVA CARACTERISTICA DEL MODULO FOTOVOLTAICO

VOLTAJE MODULO (V)	CORRIENTE MODULO (mA)	CARGA (Ohms)	RADIACION (W/m ²)	POTENCIA ELECTRICA (W)	POTENCIA LUMINOSA (W)	EFICIENCIA MODULO (%)
0	290	0	878.59	0	75.94	0
1.46	290	5	878.59	0.42	75.94	0.56
2.83	290	10	878.59	0.82	75.94	1.08
5.57	270	20	878.59	1.50	75.94	1.98
8.00	260	30	878.59	2.08	75.94	2.74
10.11	250	40	878.59	2.53	75.94	3.33
11.81	230	50	886.58	2.72	76.63	3.54
12.70	220	60	886.58	2.79	76.63	3.65
14.00	200	70	894.57	2.80	77.32	3.62
14.85	180	80	894.57	2.87	77.32	3.48
15.42	170	90	894.57	2.82	77.32	3.39
15.91	160	100	894.57	2.55	77.32	3.29
16.35	150	110	894.57	2.45	77.32	3.17
16.67	140	120	894.57	2.33	77.32	3.02
16.89	130	130	894.57	2.20	77.32	2.84
17.09	120	140	902.56	2.05	78.01	2.63
17.29	110	150	902.56	1.90	78.01	2.44
18.04	90.60	200	918.53	1.63	79.39	2.08
18.21	73.50	250	942.49	1.34	81.46	1.64
18.38	62.10	300	942.49	1.14	81.46	1.40
18.63	53.90	350	966.45	1.00	83.54	1.20
18.90	46.50	400	974.44	0.88	84.23	1.04
19.03	37.90	500	974.44	0.72	84.23	0.86
19.55	19.30	1000	982.43	0.38	84.92	0.44
19.66	13.00	1500	982.43	0.26	84.92	0.30
19.91	9.90	2000	990.42	0.20	85.61	0.23
20.10	6.70	3000	990.42	0.13	85.61	0.16
20.20	5.00	4000	990.42	0.10	85.61	0.12
20.20	4.00	5000	990.42	0.08	85.61	0.09
20.20	2.00	10000	990.42	0.04	85.61	0.05
20.20	1.00	20000	990.42	0.02	85.61	0.02
20.20	0.60	30000	990.42	0.01	85.61	0.01
20.20	0.40	50000	990.42	0.01	85.61	0.01
20.20	0.20	100000	990.42	0.00	85.61	0.00
20.20	0.10	200000	990.42	0.00	85.61	0.00
20.20	0.04	500000	990.42	0.00	85.61	0.00

GRAFICA 5.1.



GRAFICA 5.2.

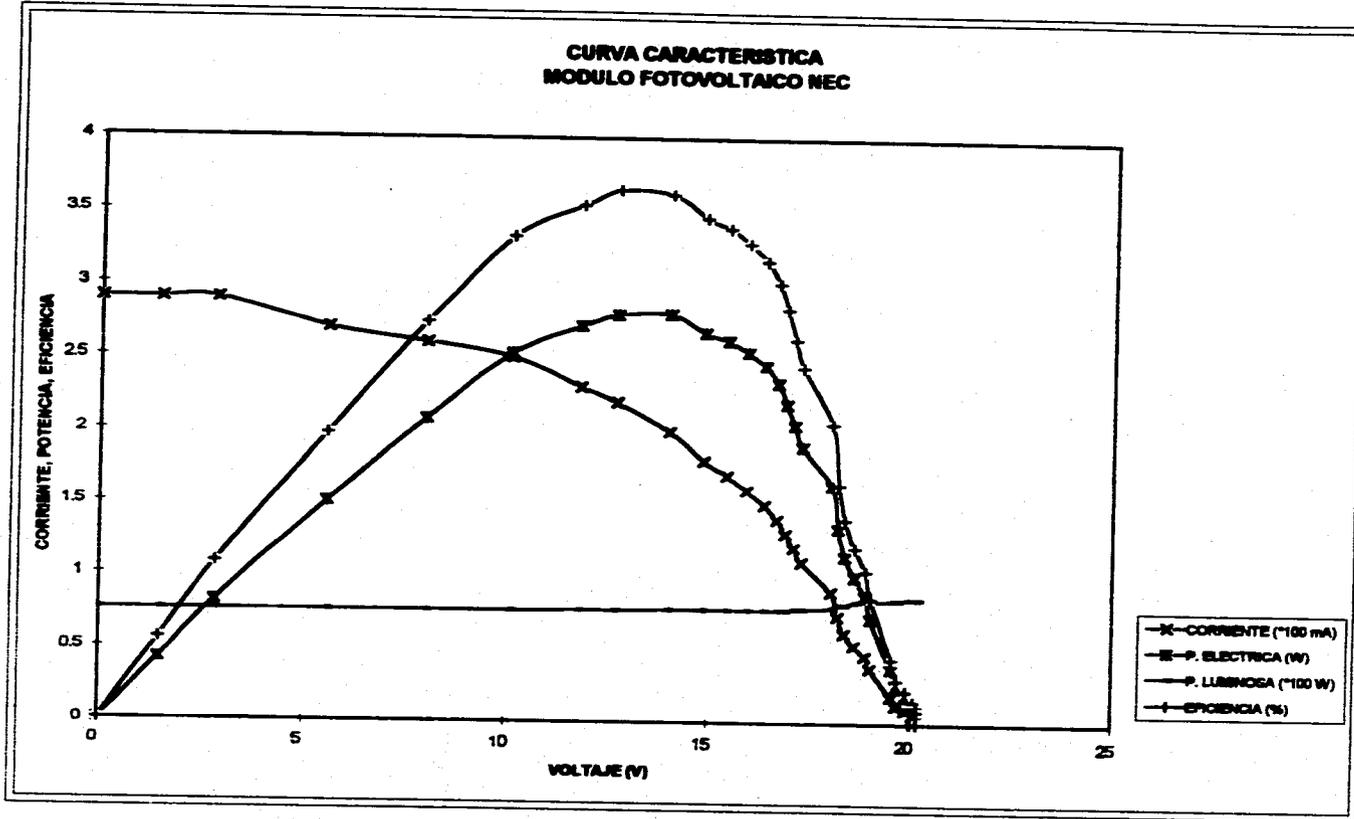
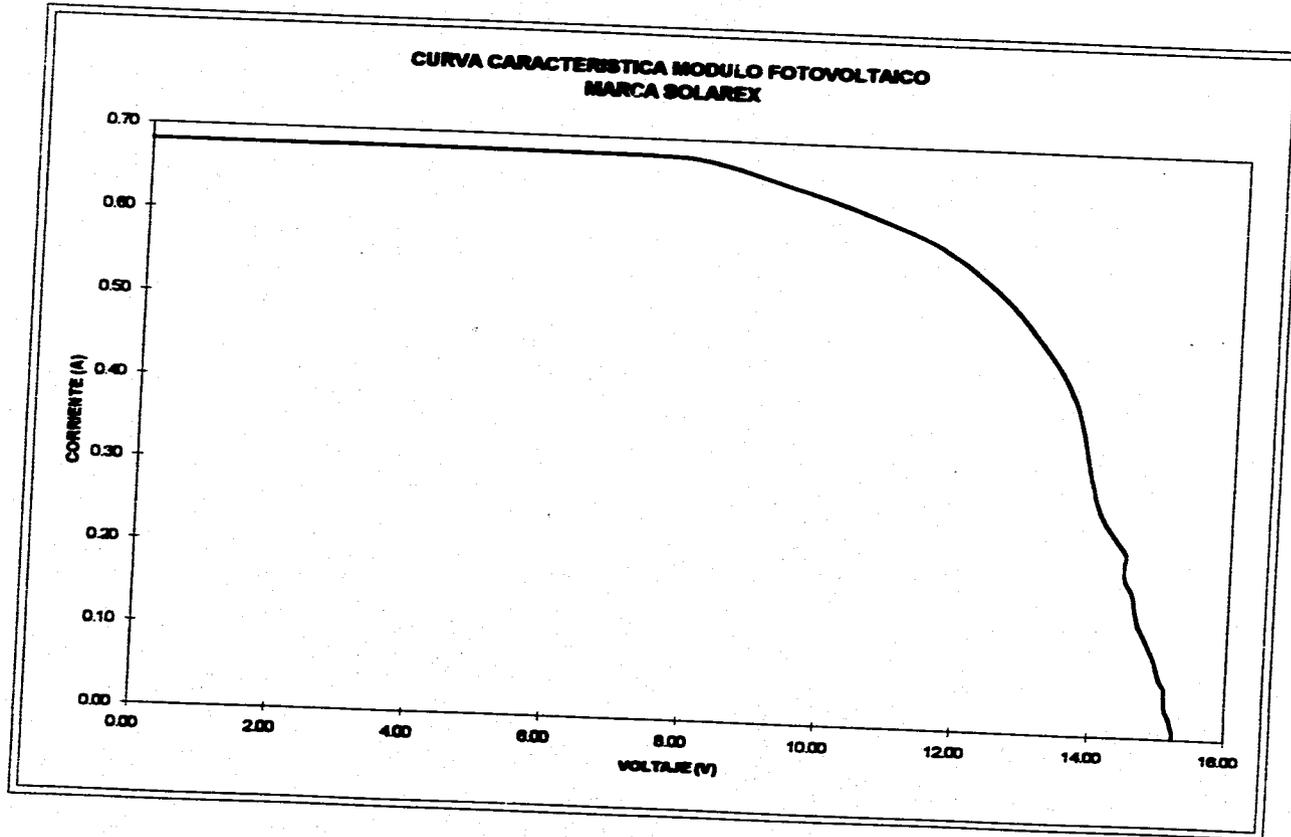


TABLA 5.2.

CURVA CARACTERISTICA DEL MODULO FOTOVOLTAICO
MARCA SOLAREX

VOLTAJE MODULO (V)	CORRIENTE MODULO (A)	CARGA (Ohms)	RADIACION (W/m ²)	POTENCIA ELECTRICA (W)	POTENCIA LUMINOSA (W)	EFICIENCIA MODULO (%)
0.00	0.68	0.00	519.17	0.00	83.07	0.00
7.59	0.68	11.40	519.17	5.18	83.07	6.21
8.46	0.67	12.80	543.13	5.87	86.90	6.52
9.27	0.65	14.50	519.17	6.03	83.07	7.25
10.44	0.62	16.80	535.14	6.47	85.62	7.56
11.61	0.58	20.10	535.14	6.73	85.62	7.86
12.71	0.51	25.10	551.12	6.48	88.18	7.35
13.60	0.41	33.30	567.09	5.58	90.73	6.15
14.02	0.28	50.00	551.12	3.93	88.18	4.45
14.47	0.22	64.10	519.17	3.18	83.07	3.63
14.46	0.21	66.50	511.16	3.04	81.79	3.71
14.46	0.21	69.70	503.19	3.04	80.51	3.77
14.47	0.19	74.70	455.27	2.75	72.84	3.77
14.59	0.17	83.00	431.31	2.48	69.01	3.59
14.67	0.14	100.00	415.34	2.05	66.45	3.09
14.90	0.10	150.00	407.35	1.49	65.18	2.29
15.03	0.07	200.00	407.35	1.05	65.18	1.61
15.11	0.06	250.00	375.40	0.91	60.06	1.51
15.11	0.05	300.00	367.41	0.78	58.79	1.29
15.14	0.03	400.00	343.45	0.45	54.95	0.83
15.15	0.03	500.00	327.48	0.45	52.40	0.87
15.24	0.01	1000.00	311.50	0.15	49.84	0.31
15.24	0.00	2000.00	311.50	0.00	49.84	0.00
16.00	1.25	12.80	1000.00	20.00	166.13	12.04

GRAFICA 5.3.



GRAFICA 6.4.

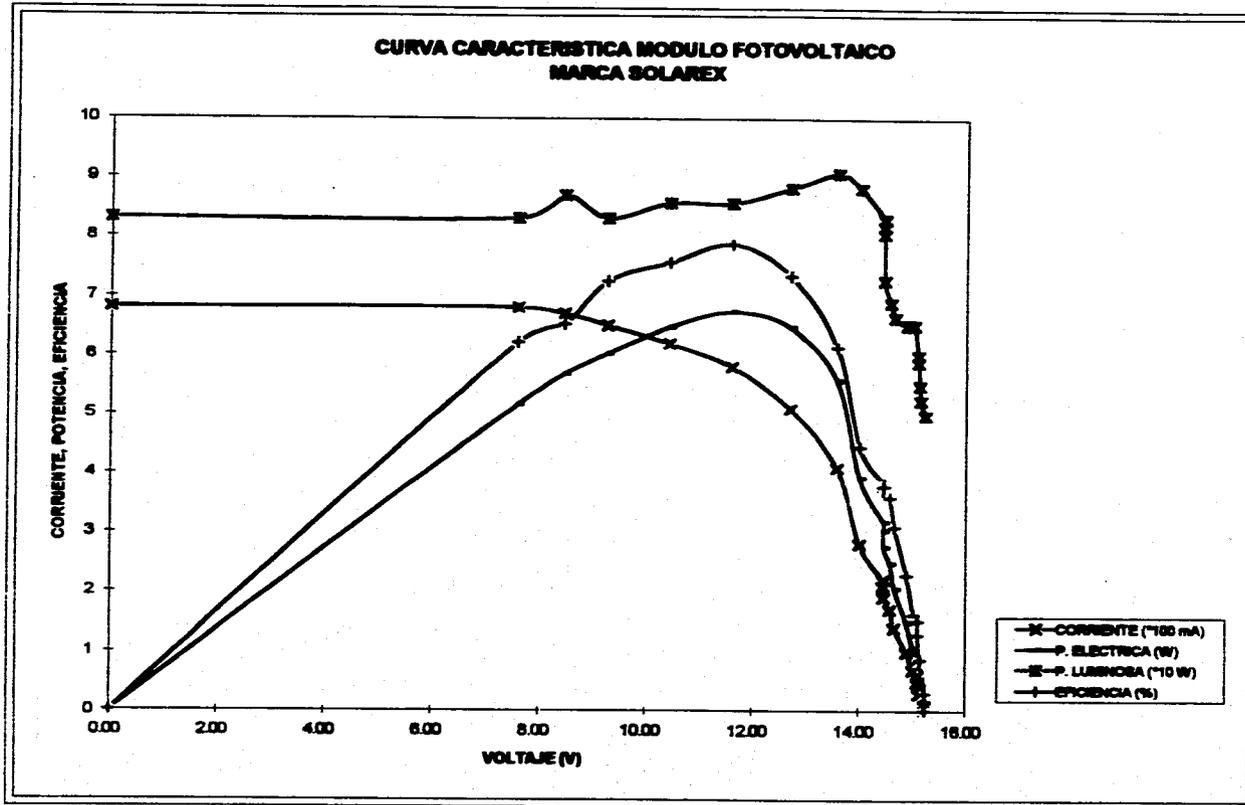


TABLA 5.3.

ANGULO DE INCIDENCIA EN VACÍO

θ (°)	θ (°)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (W)	POTENCIA LUMINOSA (W)	POTENCIA ELECTRICA (W)	EFICIENCIA (%)
0	13	20.30	0.30	958.46	82.84	6.09	7.35
5	17	20.30	0.30	966.45	83.54	6.09	7.29
10	22	20.20	0.30	966.45	83.54	6.08	7.25
15	28	20.10	0.30	950.47	82.15	6.03	7.34
20	30	20.10	0.29	928.51	80.08	5.83	7.28
25	34	20.00	0.29	894.56	77.32	5.60	7.50
30	40	20.00	0.29	862.61	74.56	5.60	7.78
35	45	19.90	0.29	822.66	71.11	5.77	8.12
40	50	20.00	0.29	774.76	66.97	5.80	8.66
45	55	20.00	0.29	718.84	62.13	5.60	9.33
50	60	20.00	0.29	662.93	57.30	5.60	10.12
55	65	19.90	0.27	615.01	53.16	5.37	10.11
60	68	19.90	0.26	569.1	48.33	5.17	10.71
65	74	19.80	0.24	487.22	42.11	4.75	11.28
70	79	19.80	0.21	415.33	35.80	4.12	11.47
75	84	19.40	0.20	351.43	30.38	3.88	12.77
80	89	19.20	0.19	271.56	23.47	3.65	15.54

GRAFICA 8.8.

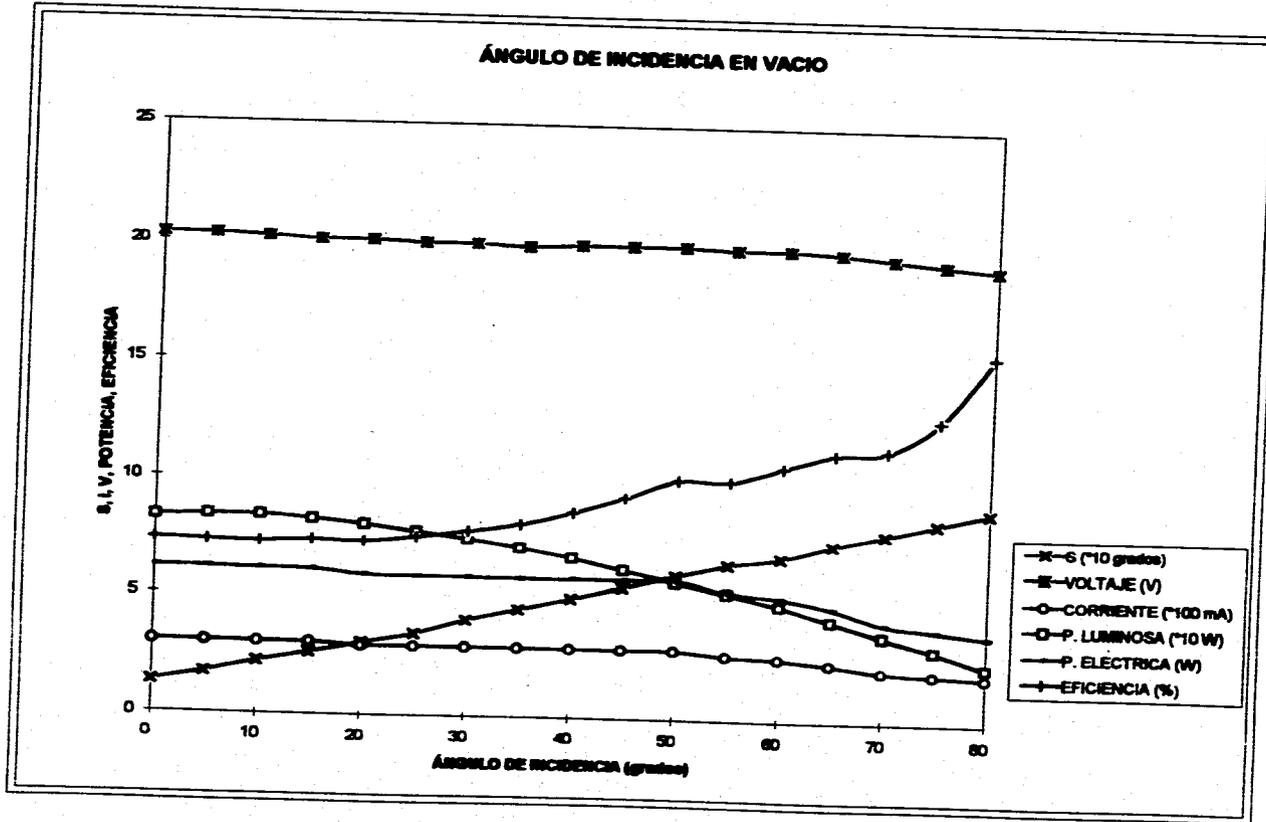


TABLA 5.4.

ANGULO DE INCIDENCIA CON CARGA CONSTANTE
Rext = 60 Ohms

θ (°)	θ (°)	VALORES CONSTANTES		POTENCIA		POTENCIA	
		SWR	SWR	INCIDENTE (dBm)	REFLECTIDA (dBm)	ELECTRICA (dBm)	REFLECTIDA (dBm)
0	45	12.60	0.21	894.58	77.32	2.65	3.42
5	46	12.60	0.21	902.55	78.01	2.65	3.39
10	54	12.33	0.20	886.58	78.63	2.47	3.22
15	57	12.00	0.20	866.58	78.63	2.40	3.13
20	62	12.15	0.20	870.6	75.25	2.43	3.23
25	67	11.87	0.20	830.67	71.80	2.37	3.31
30	72	11.45	0.18	782.74	67.06	2.06	3.05
35	76	11.22	0.18	742.81	64.20	2.02	3.15
40	79	10.88	0.18	710.86	61.44	1.96	3.19
45	85	10.33	0.17	654.95	58.61	1.78	3.10
50	88	9.60	0.16	615.01	53.16	1.54	2.89

ESTA SESION NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

GRAFICA 5.8.

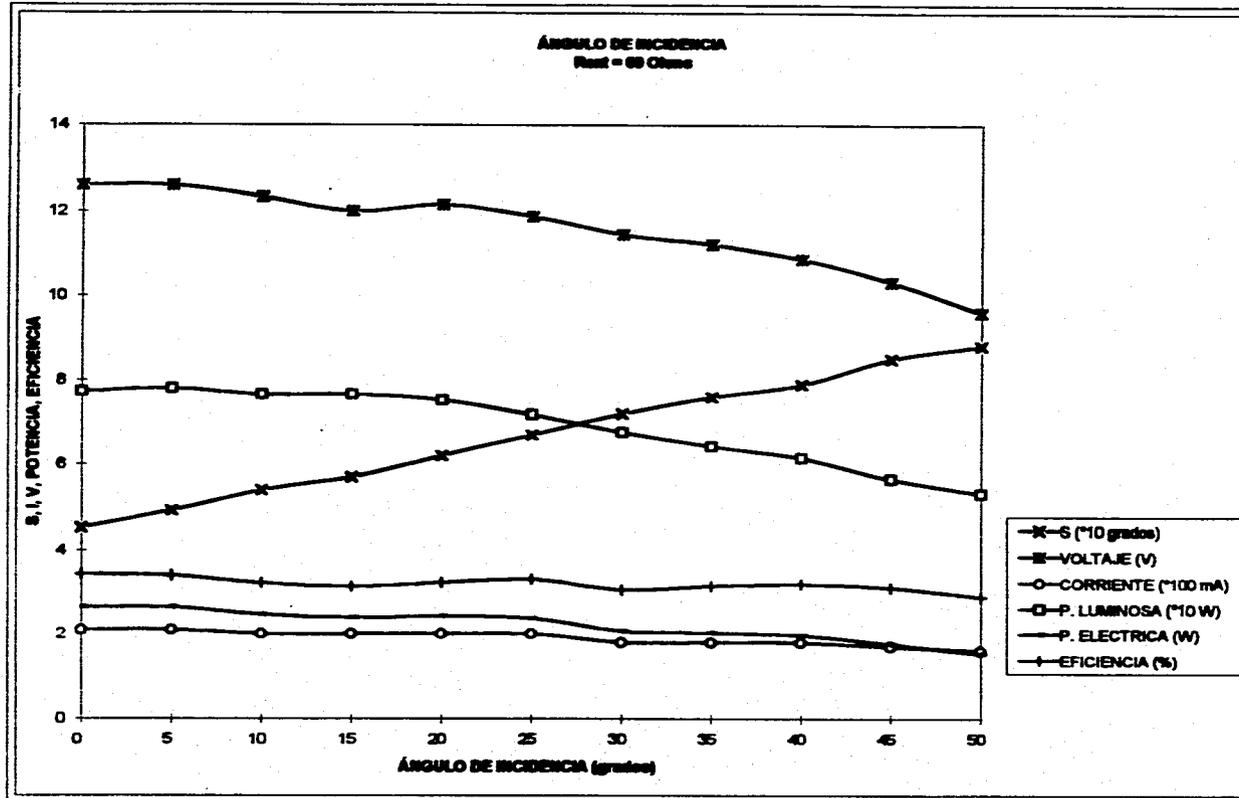


TABLA 5.8.

ANGULO DE INCIDENCIA CON CARGA CONSTANTE
 Rest = 65 Ohms

TIEMPO OFICIAL (hrs)	ANGULO HORARIO (°)	θ		CORRIENTE		POTENCIA		POTENCIA	
		(°)	(°)	CORRIENTE (A)	INCIDENCIA (mW)	LEIDA (W)	ELECTRICA (W)	EMISORA (W)	
12:05	22.75	-15	10	12.79	0.21	942.49	81.48	2.69	3.30
12:07	22.24	-10	14	13.30	0.22	966.45	83.54	2.93	3.50
12:08	22.00	-5	19	13.16	0.22	962.43	84.92	2.90	3.41
12:09	21.70	0	23	12.82	0.21	960.42	85.61	2.69	3.14
12:10	21.49	5	27	12.64	0.21	960.42	85.61	2.65	3.10
12:11	21.25	10	32	12.42	0.21	974.44	84.23	2.61	3.10
12:13	20.74	15	35	12.40	0.21	958.47	82.65	2.60	3.14
12:15	20.24	20	40	12.36	0.21	926.52	80.08	2.60	3.24
12:17	19.75	25	46	12.22	0.2	870.61	75.25	2.44	3.25
12:19	19.24	30	50	11.90	0.2	854.63	73.87	2.36	3.22
12:22	18.49	35	55	11.40	0.19	806.71	69.73	2.17	3.11
12:25	17.74	40	60	11.00	0.18	758.79	65.59	1.98	3.02
12:27	17.24	45	65	10.77	0.18	702.88	60.75	1.94	3.19
12:28	16.99	50	69	10.21	0.17	662.94	57.30	1.74	3.03
12:30	16.49	55	74	9.72	0.16	615.02	53.16	1.56	2.93
12:31	16.25	60	78	8.95	0.15	543.13	46.95	1.34	2.86
12:33	15.74	65	82	7.86	0.13	487.22	42.11	1.02	2.43
12:34	15.49	70	87	5.70	0.09	415.34	35.90	0.51	1.43
12:36	14.99	75	91	3.34	0.05	343.45	29.69	0.17	0.56

GRAFICA 5.7.

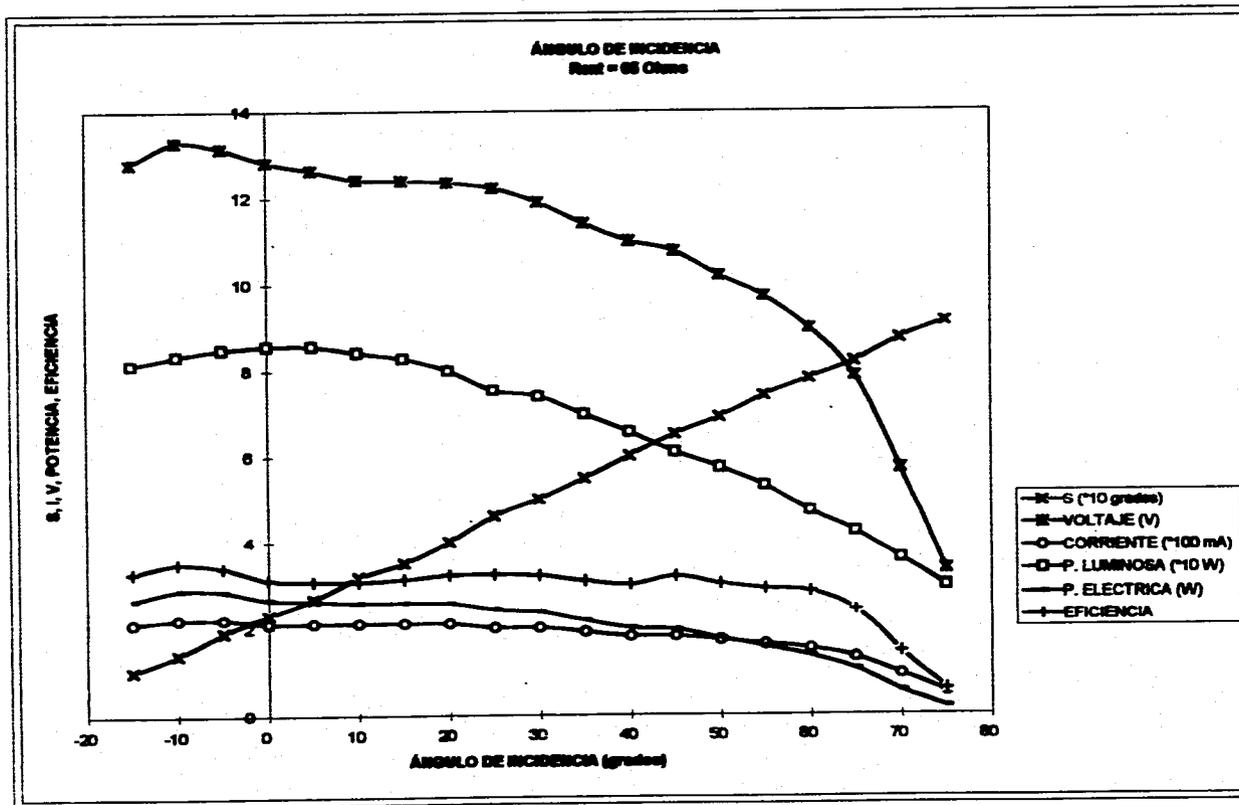
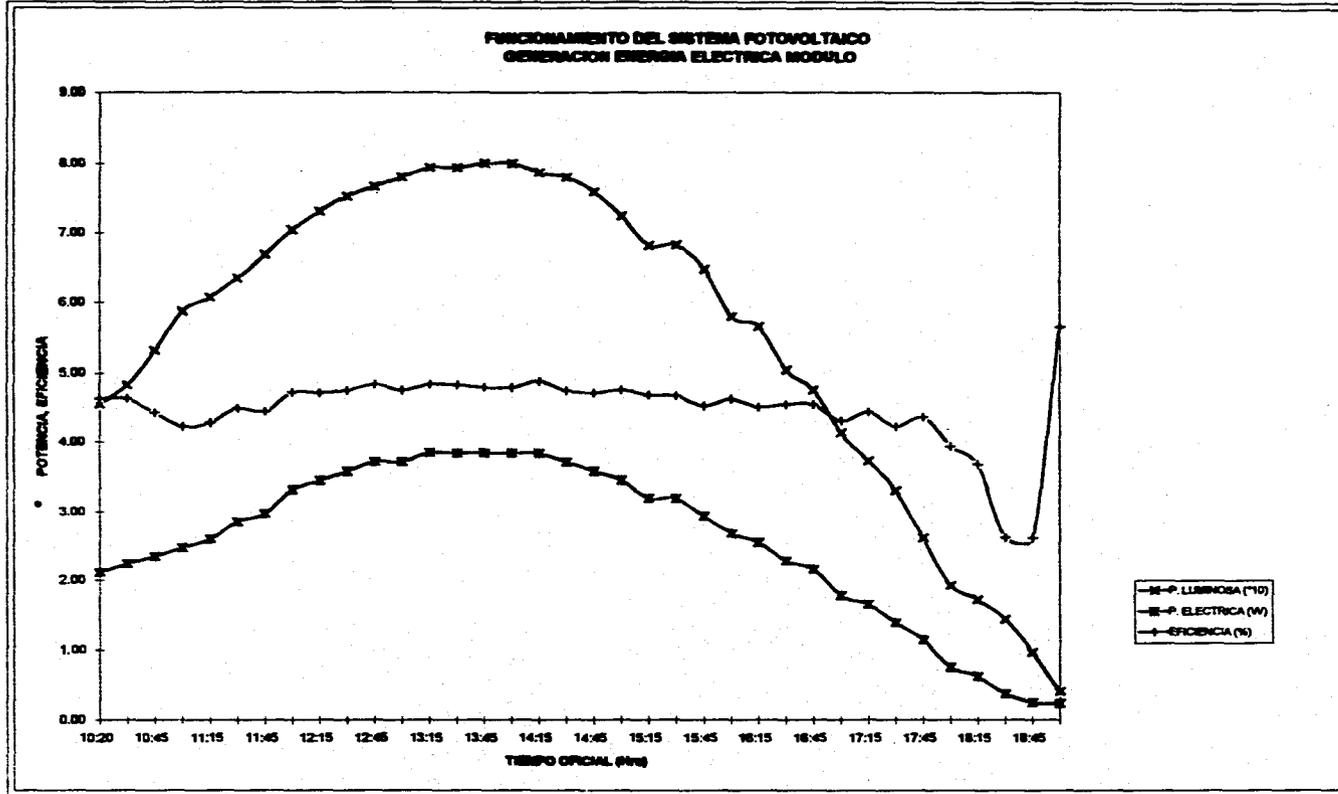


TABLA 5.8.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Hor (H)	Temper (°C)	IRRADIACION (W/m²)	VOLTAJE CARGA (V)	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE CARGA (V)	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE BATERIA (V)	PODERIO GENERADO (W)	PODERIO CONSUMIDO (W)	EFICIENCIA DE CARGA (%)	PODERIO CONSUMIDO CARGA (W)	EFICIENCIA BATERIA (%)
10:20	8:45	527.16	12.43	0.17	12.46	0.21	12.46	45.58	2.11	4.64	2.62	5.75
10:30	8:55	559.11	12.44	0.18	12.46	0.21	12.46	46.33	2.24	4.63	2.62	5.42
10:45	9:10	615.02	12.38	0.19	12.40	0.21	12.40	53.16	2.35	4.42	2.62	4.93
11:00	9:25	676.91	12.39	0.20	12.50	0.21	12.50	58.66	2.46	4.22	2.63	4.47
11:15	9:40	702.88	12.39	0.21	12.52	0.21	12.52	60.75	2.60	4.26	2.63	4.33
11:30	9:55	734.82	12.40	0.23	12.51	0.21	12.51	63.51	2.85	4.49	2.63	4.14
11:45	10:10	774.76	12.40	0.24	12.50	0.21	12.50	66.97	2.98	4.44	2.63	3.82
12:00	10:25	814.70	12.79	0.26	12.50	0.21	12.50	70.42	3.33	4.72	2.63	3.73
12:15	10:40	846.65	12.79	0.27	12.50	0.21	12.50	73.16	3.45	4.72	2.63	3.59
12:30	10:55	870.61	12.79	0.26	12.50	0.21	12.50	75.25	3.58	4.76	2.63	3.49
12:45	11:10	888.56	12.81	0.29	12.51	0.21	12.51	78.63	3.71	4.85	2.63	3.43
13:00	11:25	902.56	12.82	0.29	12.52	0.21	12.52	78.01	3.72	4.77	2.63	3.37
13:15	11:40	918.53	12.83	0.30	12.53	0.21	12.53	79.39	3.85	4.85	2.63	3.31
13:30	11:55	918.53	12.81	0.30	12.52	0.21	12.52	79.39	3.84	4.84	2.63	3.31
13:45	12:10	928.52	12.81	0.30	12.53	0.21	12.53	80.08	3.84	4.80	2.63	3.29
14:00	12:25	928.52	12.81	0.30	12.53	0.21	12.53	80.08	3.84	4.80	2.63	3.29
14:15	12:40	910.54	12.82	0.30	12.54	0.21	12.54	78.70	3.85	4.89	2.63	3.35
14:30	12:55	902.56	12.80	0.29	12.53	0.21	12.53	78.01	3.71	4.78	2.63	3.37
14:45	13:10	878.59	12.81	0.28	12.55	0.21	12.55	75.94	3.59	4.72	2.64	3.47
15:00	13:25	838.66	12.81	0.27	12.55	0.21	12.55	72.49	3.48	4.77	2.64	3.64
15:15	13:40	789.72	12.81	0.25	12.55	0.21	12.55	68.26	3.20	4.69	2.64	3.88
15:30	13:55	789.73	12.60	0.25	12.54	0.21	12.54	66.35	3.20	4.68	2.63	3.85
15:45	14:10	750.80	12.60	0.23	12.54	0.21	12.54	64.80	2.94	4.54	2.63	4.08
16:00	14:25	670.83	12.79	0.21	12.54	0.21	12.54	57.69	2.69	4.63	2.63	4.54
16:15	14:40	654.85	12.79	0.20	12.54	0.21	12.54	56.61	2.58	4.52	2.63	4.65
16:30	14:55	583.07	12.75	0.18	12.51	0.21	12.51	50.40	2.30	4.55	2.63	5.21
16:45	15:10	561.12	12.78	0.17	12.51	0.21	12.51	47.64	2.17	4.55	2.63	5.51
17:00	15:25	479.23	12.77	0.14	12.52	0.21	12.52	41.42	1.79	4.32	2.63	6.35
17:15	15:40	431.31	12.75	0.13	12.51	0.21	12.51	37.28	1.68	4.46	2.63	7.05
17:30	15:55	383.39	12.75	0.11	12.51	0.21	12.51	33.14	1.40	4.23	2.63	7.93
17:45	16:10	303.51	12.74	0.09	12.50	0.21	12.50	26.23	1.15	4.37	2.63	10.01
18:00	16:25	223.64	12.71	0.08	12.49	0.21	12.49	19.33	0.78	3.95	2.62	13.57
18:15	16:40	199.68	12.70	0.05	12.49	0.21	12.49	17.28	0.64	3.68	2.62	15.20
18:30	16:55	167.73	12.69	0.03	12.48	0.21	12.48	14.50	0.38	2.63	2.62	18.08
18:45	17:10	111.82	12.68	0.02	12.48	0.21	12.48	9.67	0.25	2.62	2.62	27.12
19:00	17:25	47.82	11.72	0.02	12.49	0.21	12.49	4.14	0.23	5.68	2.62	63.32

GRAFICA 6.8.



GRAFICA 59.

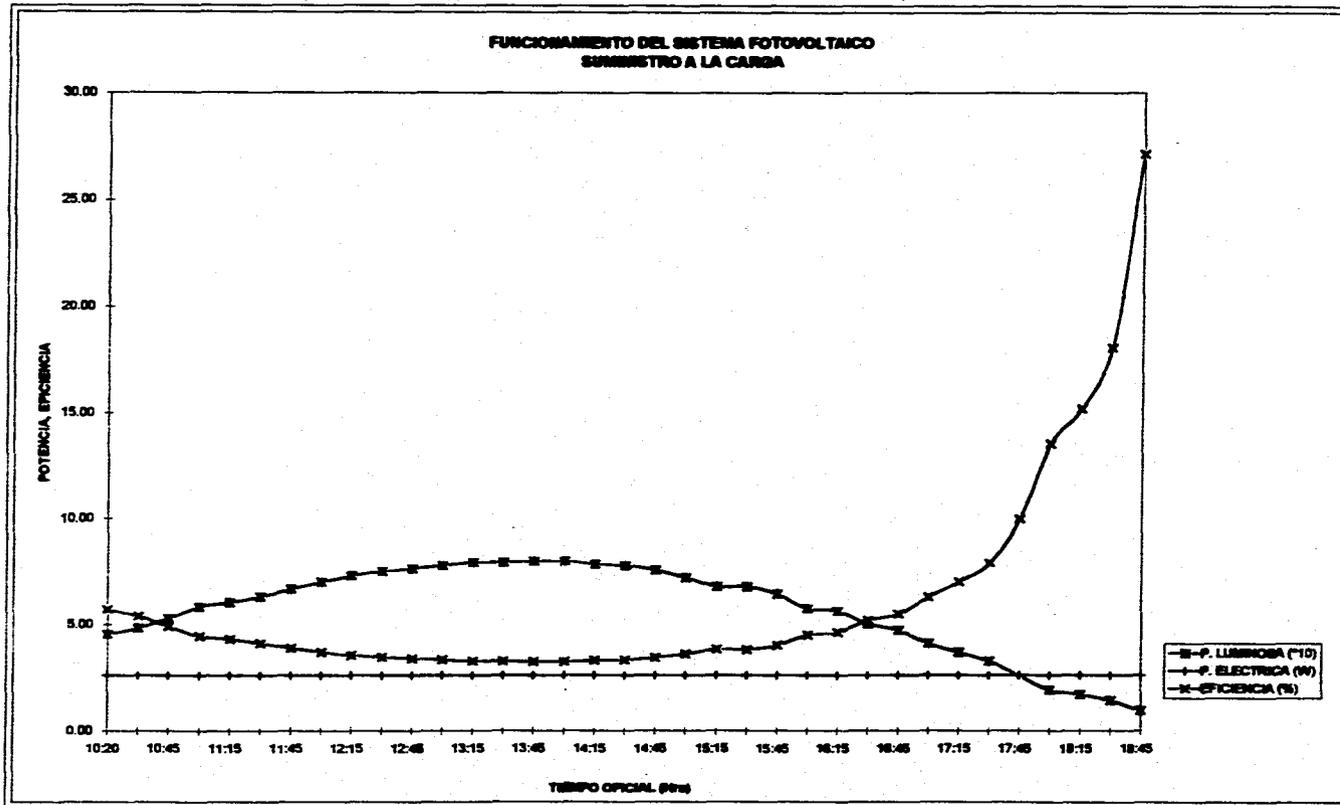


TABLA 5.7.

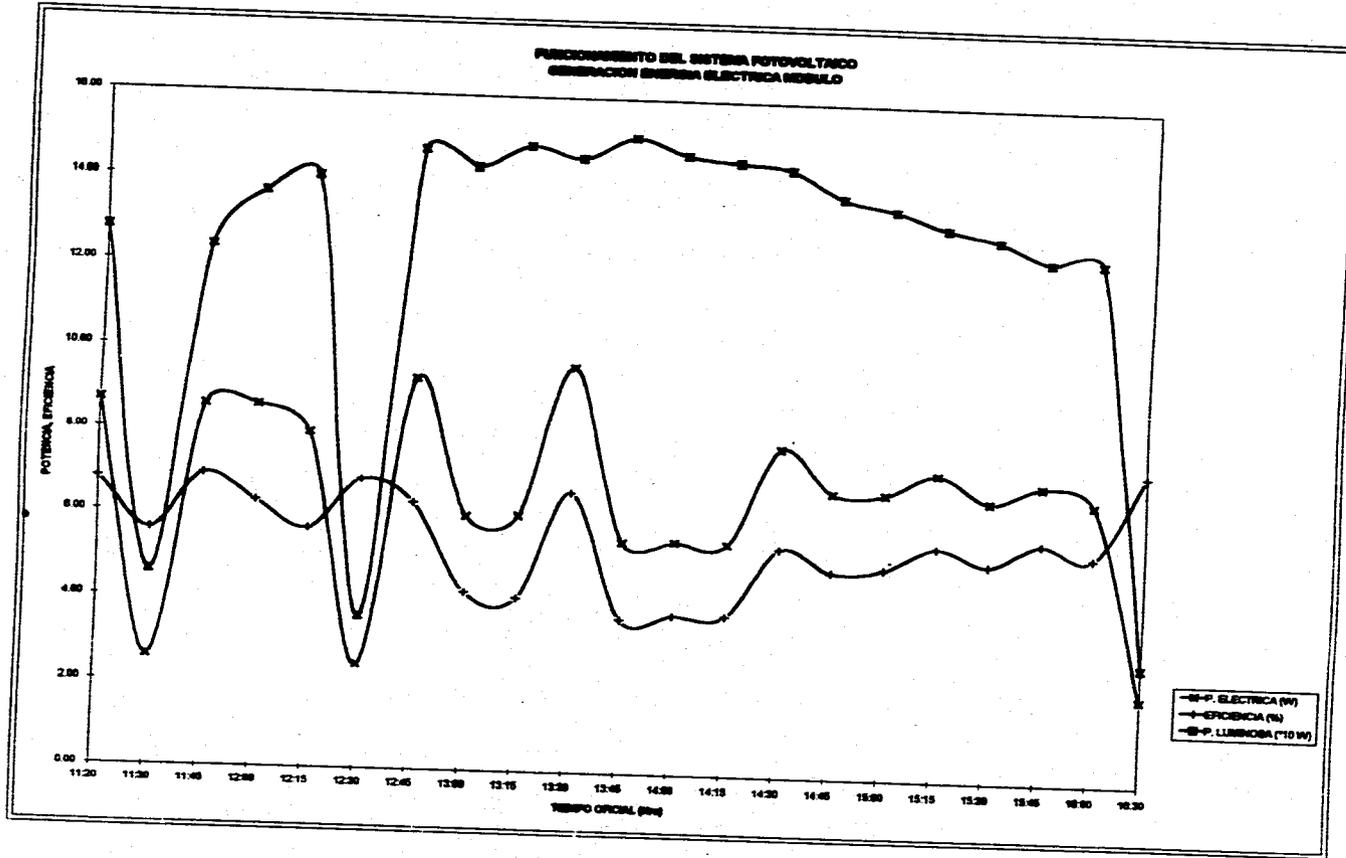
HORAS	EFICIENCIA DE GENERACION	POTENCIA BATERIA	EFICIENCIA BATERIA	POTENCIA CARGA	EFICIENCIA A CARGA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
11:20	6.79	6.82	6.34	1.14	0.89
11:30	6.61	0.76	1.64	1.13	2.48
11:45	6.63	3.30	2.66	1.14	0.82
12:00	6.29	2.92	2.14	1.14	0.64
12:15	6.66	6.96	4.26	1.15	0.82
12:30	6.65	0.60	1.41	1.13	3.17
12:45	6.32	3.04	2.07	1.14	0.77
13:00	4.22	2.53	1.77	1.14	0.60
13:15	4.10	2.53	1.71	1.14	0.77
13:30	6.63	3.05	2.10	1.14	0.79
13:45	3.64	2.66	1.76	1.14	0.76
14:00	3.76	2.66	1.61	1.14	0.76
14:15	3.76	6.06	3.46	1.14	0.76
14:30	6.42	6.96	4.14	1.14	0.79
14:45	4.91	6.06	3.66	1.16	0.63
15:00	6.01	4.59	3.39	1.16	0.66
15:15	6.65	6.22	3.67	1.16	0.67
15:30	6.16	4.59	3.66	1.16	0.69
15:45	6.66	6.22	4.21	1.16	0.62
16:00	6.36	4.33	3.49	1.16	0.62
16:30	7.36	0.25	0.60	1.14	4.06

TABLA 5.7.

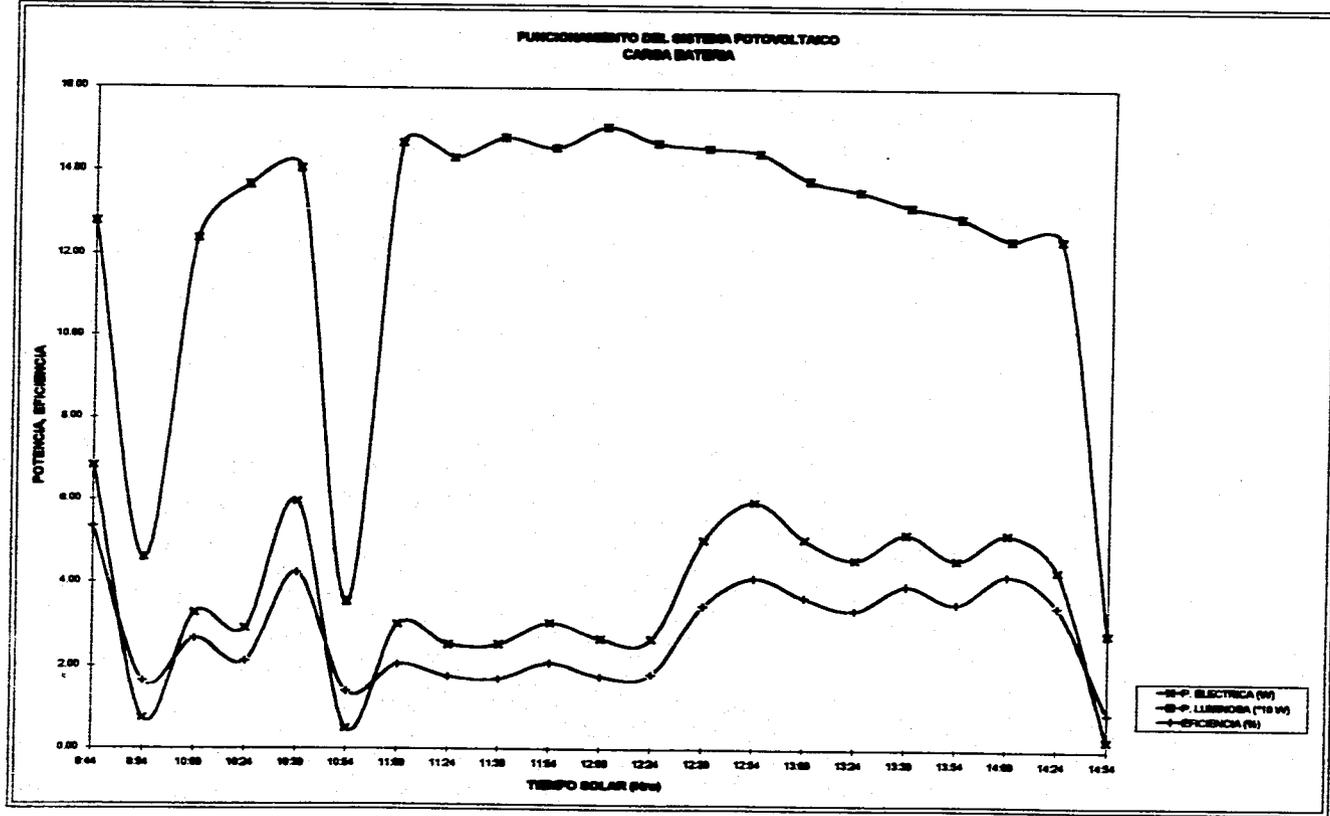
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO
 MODULO MARCA SOLAREX

T _h (hrs)	T _{amb} (°C)	VOLTAJE MÓDULO (V)	CORRIENTE MÓDULO (A)	VOLTAJE BATERIA (V)	CORRIENTE BATERIA (A)	VOLTAJE CARGA (V)	CORRIENTE CARGA (A)	POTENCIA RADIACION LIMPIEZA (W/m ²)	POTENCIA ELECTRICA LIMPIEZA (W)	POTENCIA ELECTRICA MÓDULO (W)	EFICIENCIA DE GENERACION (%)	POTENCIA ELECTRICA BATERIA (W)	EFICIENCIA DE BATERIA (%)	POTENCIA ELECTRICA CARGA (W)	EFICIENCIA A CARGA (%)
11:20	9:44	12.96	0.67	12.63	0.54	12.63	0.09	796.72	127.80	8.68	6.79	6.82	5.34	1.14	0.89
11:30	9:54	12.90	0.20	12.60	0.06	12.60	0.09	287.54	46.01	2.58	5.61	0.76	1.64	1.13	2.46
11:45	10:09	13.02	0.86	12.69	0.26	12.69	0.09	774.76	123.96	8.59	6.93	3.30	2.86	1.14	0.92
12:00	10:24	13.04	0.86	12.71	0.23	12.71	0.09	854.63	136.74	8.61	6.29	2.92	2.14	1.14	0.84
12:15	10:39	13.05	0.61	12.73	0.47	12.73	0.09	878.59	140.58	7.96	5.66	5.98	4.26	1.15	0.82
12:30	10:54	12.90	0.19	12.61	0.04	12.61	0.09	223.64	35.78	2.45	6.85	0.50	1.41	1.13	3.17
12:45	11:09	13.08	0.71	12.65	0.24	12.65	0.09	918.53	146.96	9.29	6.32	3.04	2.07	1.14	0.77
13:00	11:24	13.72	0.44	12.66	0.20	12.66	0.09	894.57	143.13	6.04	4.22	2.53	1.77	1.14	0.80
13:15	11:39	13.81	0.44	12.67	0.20	12.67	0.09	926.52	148.24	6.06	4.10	2.53	1.71	1.14	0.77
13:30	11:54	13.05	0.74	12.72	0.24	12.72	0.09	910.54	145.69	9.86	6.63	3.05	2.10	1.14	0.79
13:45	12:09	13.72	0.40	12.66	0.21	12.66	0.09	942.49	150.80	5.49	3.64	2.66	1.76	1.14	0.76
14:00	12:24	13.81	0.40	12.67	0.21	12.67	0.09	918.53	146.96	5.52	3.76	2.66	1.81	1.14	0.78
14:15	12:39	13.75	0.40	12.66	0.40	12.66	0.09	910.54	145.69	5.50	3.78	5.06	3.48	1.14	0.78
14:30	12:54	13.04	0.80	12.72	0.47	12.72	0.09	902.56	144.41	7.82	5.42	5.98	4.14	1.14	0.79
14:45	13:09	13.04	0.52	12.73	0.40	12.73	0.09	862.62	138.02	6.78	4.91	5.09	3.69	1.15	0.83
15:00	13:24	13.04	0.52	12.74	0.36	12.74	0.09	846.65	135.46	6.78	5.01	4.59	3.39	1.15	0.85
15:15	13:39	13.04	0.56	12.74	0.41	12.74	0.09	822.68	131.63	7.30	5.55	5.22	3.97	1.15	0.87
15:30	13:54	13.04	0.51	12.74	0.36	12.74	0.09	806.71	129.07	6.65	5.15	4.59	3.55	1.15	0.89
15:45	14:09	13.04	0.54	12.74	0.41	12.74	0.09	774.76	123.96	7.04	5.68	5.22	4.21	1.15	0.92
16:00	14:24	13.03	0.51	12.73	0.34	12.73	0.09	774.76	123.96	6.65	5.36	4.33	3.49	1.15	0.92
16:30	14:54	12.92	0.16	12.64	0.02	12.64	0.09	175.72	28.12	2.07	7.35	0.25	0.90	1.14	4.05

GRAFICA 5.10.



GRAFICA 5.11.



GRÁFICA 3.12

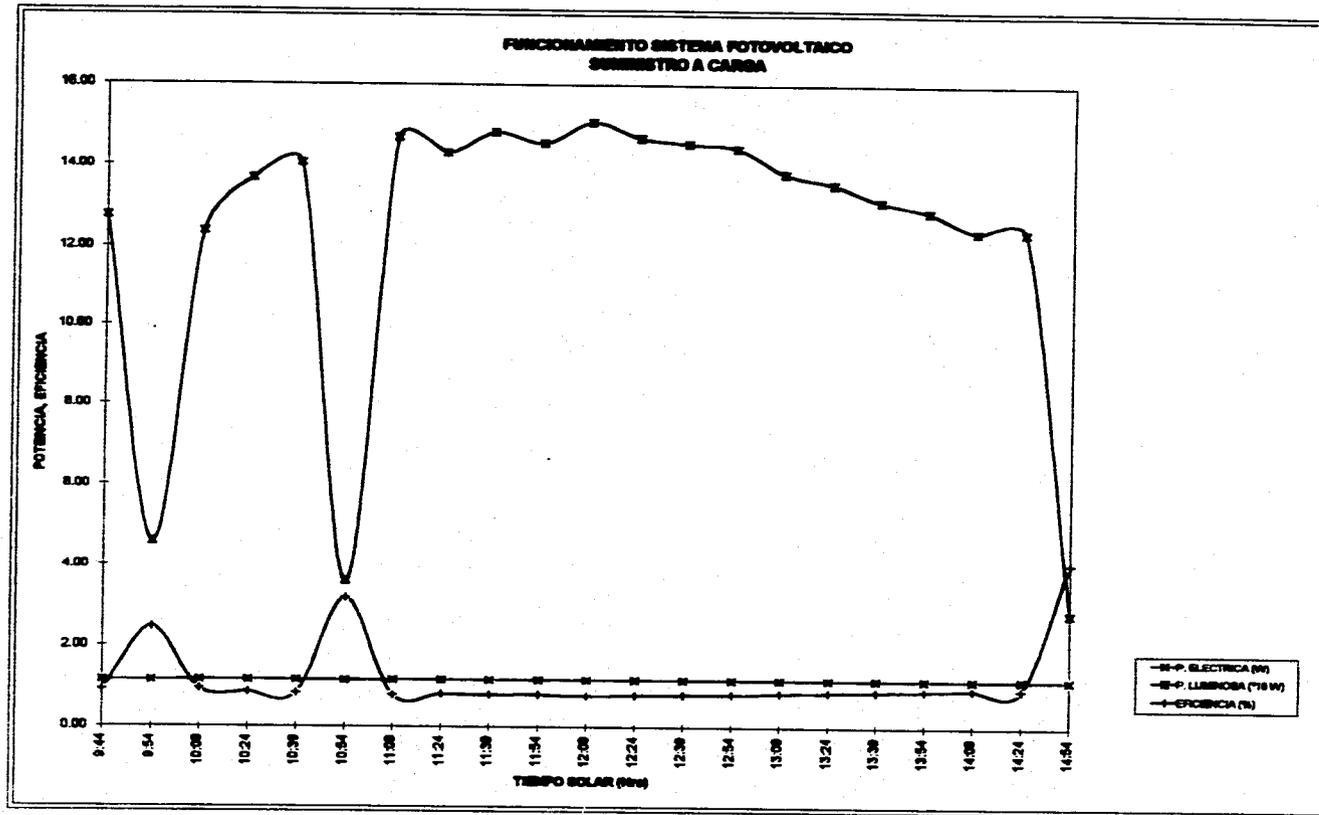


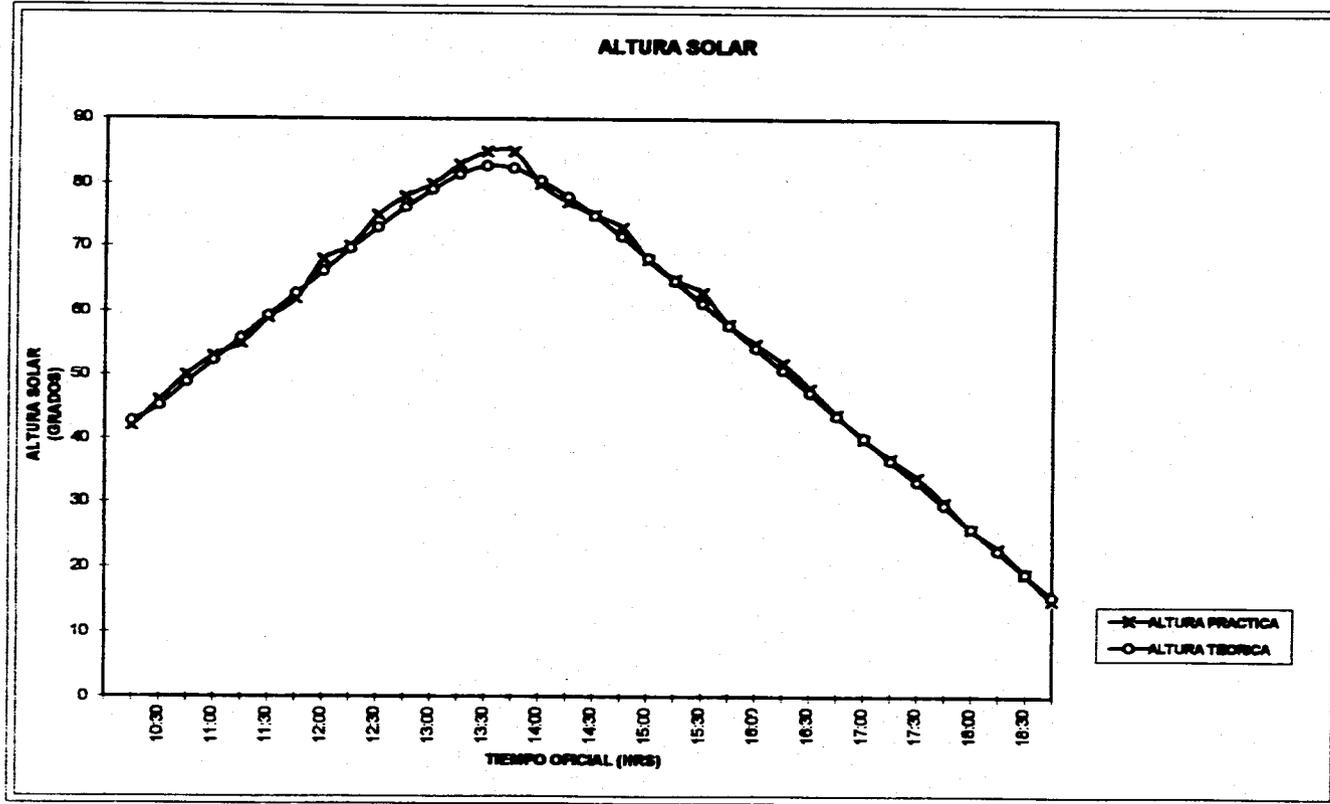
TABLA 6.8.

ÁNGULOS SOLARES DERIVADOS

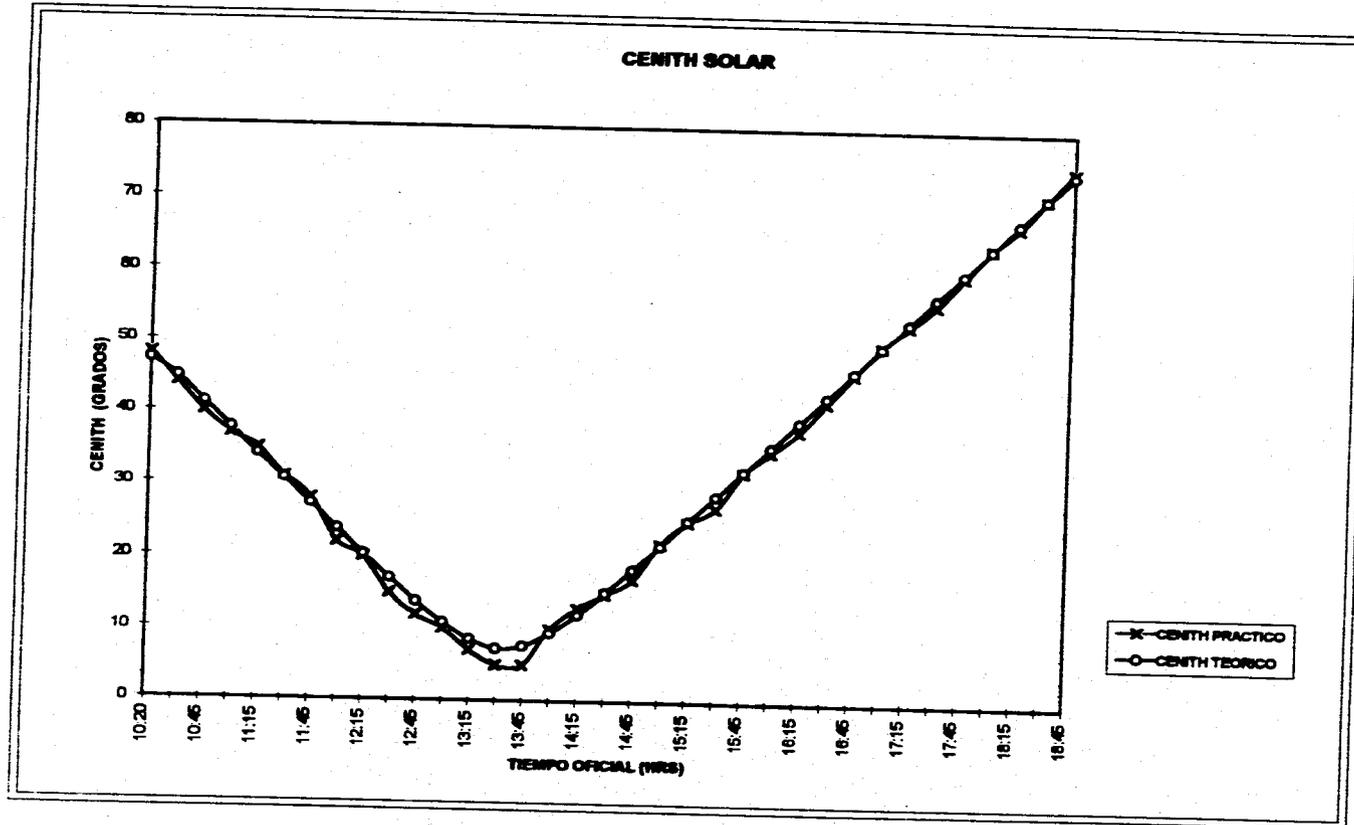
Tof (Hrs)	Tsolar (Hrs. sol)	ÁNGULO HORARIO (°)	PRÁCTICOS ALTURA					
			ABSOUTH (°)	SOLAR (°)	CENTH (°)			
10:20	8:45	48.61	91	42	48	91.06	42.86	47.14
10:30	8:55	48.06	91	46	44	91.97	45.27	44.73
10:45	9:10	42.31	93	50	40	93.40	48.80	41.20
11:00	9:25	38.56	96	53	37	94.97	52.32	37.68
11:15	9:40	34.81	97	55	35	96.72	55.84	34.16
11:30	9:55	31.06	99	59	31	98.72	59.34	30.66
11:45	10:10	27.31	102	62	28	101.07	62.82	27.18
12:00	10:25	23.56	105	66	22	103.93	66.27	23.73
12:15	10:40	19.81	106	70	20	107.56	69.68	20.32
12:30	10:55	18.06	112	75	15	112.39	73.00	17.00
12:45	11:10	12.31	120	78	12	119.23	76.19	13.81
13:00	11:25	8.56	130	80	10	129.63	79.11	10.89
13:15	11:40	4.81	149	83	7	146.32	81.50	0.50
13:30	11:55	1.06	173	85	5	171.71	82.80	7.20
13:45	12:10	-2.68	187	85	5	159.73	82.42	7.58
14:00	12:25	-6.43	140	80	10	138.12	80.56	9.44
14:15	12:40	-10.18	127	77	13	124.56	77.89	12.11
14:30	12:55	-13.93	119	75	15	115.95	74.83	15.17
14:45	13:10	-17.68	112	73	17	110.11	71.58	18.42
15:00	13:25	-21.43	106	68	22	105.87	68.22	21.78
15:15	13:40	-25.18	104	65	25	102.82	64.79	25.21
15:30	13:55	-28.93	102	63	27	100.00	61.32	28.68
15:45	14:10	-32.68	99	58	32	97.82	57.83	32.17
16:00	14:25	-36.43	97	55	35	95.93	54.32	35.68
16:15	14:40	-40.18	95	52	38	94.27	50.80	39.20
16:30	14:55	-43.93	93	48	42	92.77	47.27	42.73
16:45	15:10	-47.68	92	44	46	91.39	43.74	46.26
17:00	15:25	-51.43	91	40	50	90.09	40.20	49.80
17:15	15:40	-55.18	90	37	53	88.87	36.67	53.33
17:30	15:55	-58.93	88	34	56	87.69	33.14	56.86
17:45	18:10	-62.68	86	30	60	86.54	29.61	60.39
18:00	18:25	-66.43	85	26	64	85.42	26.08	63.92
18:15	18:40	-70.18	84	23	67	84.31	22.56	67.44
18:30	18:55	-73.93	83	19	71	83.21	19.05	70.95
18:45	17:10	-77.68	81	15	75	82.10	15.54	74.46

GRAFICA 5.13.

16

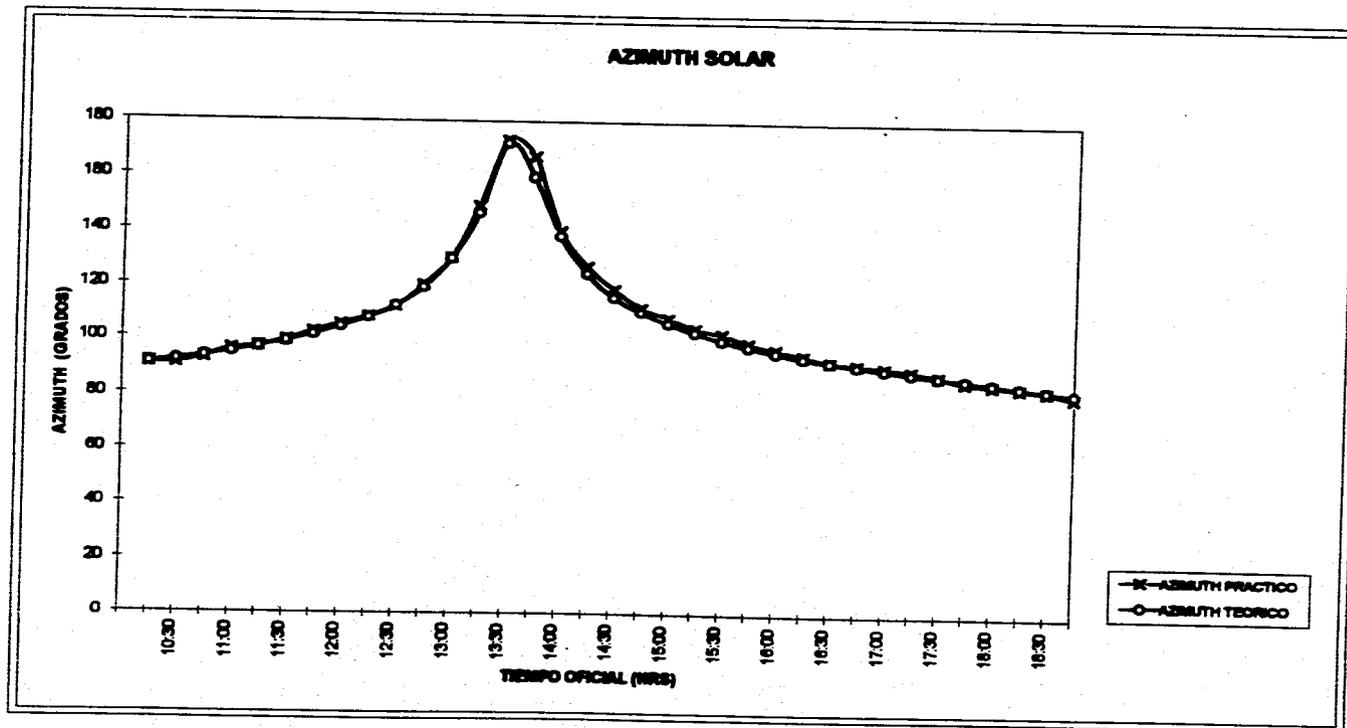


GRAFICA 5.14



GRAFICA 5.16.

66



CONCLUSIONES.

Las pruebas realizadas al modelo fotovoltaico nos permitieron tener una idea más general del funcionamiento de este tipo de sistemas bajo condiciones reales de operación.

De los primeros resultados que se obtuvieron en la generación de la curva característica de los módulos fotovoltaicos se encontró que las especificaciones técnicas de operación éstas proporcionadas por los fabricantes difícilmente se obtienen bajo condiciones de funcionamiento real. De lo anterior consideramos que sólo bajo ciertas condiciones ideales se obtendrán dichas especificaciones.

Otra característica importante que se comprobó es que los módulos fotovoltaicos tienen una gran respuesta a la luz difusa ya que aprovechan hasta la mínima cantidad de ésta que incide sobre ellos para generar energía eléctrica. Esta respuesta depende principalmente de la buena orientación que tengan los módulos (de frente al Sur), así como de una inclinación adecuada. De aquí que no es recomendable utilizar un sistema de seguimiento solar ya que éste incrementaría mucho más el costo de cualquier instalación fotovoltaica sin obtenerse un beneficio considerable de la misma.

Utilizando los componentes empleados en el modelo de pruebas tenemos que el sistema fotovoltaico real quedaría integrado como se muestra en las siguientes tablas, en donde se hace la comparación entre la cantidad de cada uno de los elementos que lo integran dependiendo de la eficiencia teórica y la eficiencia real de cada módulo fotovoltaico, así como el costo total de cada sistema. Para el diseño de cada uno de los sistemas se utilizó el nivel de radiación obtenido el día 22 de abril de 1996, ya que fue el día más representativo de las pruebas realizadas en relación a la radiación censada.

A) Módulo fotovoltaico marca NEC.

Condiciones ideales de funcionamiento:

Eficiencia	5.78%
Corriente pico	.4 Amp
Voltaje	12 V
Potencia módulo	5 W

Nivel de radiación 502.85 langleys/día
Día del año 113 (Abril 22, 1996)

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
19	Baterías LTH 9V	220.00	4180.00
90	Módulos fotovoltaicos NEC	490.00	44100.00
3	Reguladoras CONDUMEX	480.00	1440.00
TOTAL			\$ 49720.00

Área de panel a utilizar 7.78 m².

Condiciones reales de funcionamiento:

Eficiencia 3.85%
Corriente pico .22 Amp
Voltaje 12.7 V
Potencia módulo 2.79 W
Nivel de radiación 502.85 langleys/día
Día del año 113 (Abril 22, 1996)

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
19	Baterías LTH 9V	220.00	4180.00
180	Módulos fotovoltaicos NEC	490.00	78400.00
3	Reguladores CONDUMEX	480.00	1440.00
TOTAL			\$ 80020.00

Área de panel a utilizar 13.83 m².

B) Módulo fotovoltaico marca SOLAREX.

Condiciones ideales de funcionamiento:

Eficiencia 12.54%
Corriente pico 1.8 Amp
Voltaje 12 V
Potencia módulo 22 W
Nivel de radiación 502.85 langleys/día
Día del año 113 (Abril 22, 1996)

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
19	Baterías LTH 9V	220.00	4180.00
21	Módulos fotovoltaicos SOLAREX	1200.00	25200.00
3	Reguladores CONDUMEX	480.00	1440.00
TOTAL			\$ 30820.00

Área de panel a utilizar 3.68 m².

Condiciones reales de funcionamiento:

Eficiencia 7.86%
 Corriente pico .58 Amp
 Voltaje 11.34 V
 Potencia módulo 6.73 W
 Nivel de radiación 502.85 langley/día
 Día del año 113 (Abril 22, 1998)

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
19	Baterías LTH 9V	220.00	4180.00
67	Módulos fotovoltaicos SOLAREX	1200.00	80400.00
3	Reguladores CONDUMEX	480.00	1440.00
TOTAL			\$ 86020.00

Área de panel a utilizar 11.74 m².

Condiciones reales de funcionamiento:

Eficiencia 11.56%
 Corriente pico 1.2 Amp
 Voltaje 16 V
 Potencia módulo 19.2 W
 Nivel de radiación 502.85 langley/día
 Día del año 113 (Abril 22, 1998)

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
19	Baterías LTH 9V	220.00	4180.00
24	Módulos fotovoltaicos SOLAREX	1200.00	28800.00
2	Reguladores CONDUMEX	480.00	960.00
TOTAL			\$ 33940.00

Área de panel a utilizar 4.21 m².

Para corroborar los resultados anteriores se podrán consultar las corridas de los programas en los anexos.

De los resultados obtenidos se puede observar que la diferencia fundamental entre cada tipo de sistema es el costo, el cual varía principalmente a la variación de la eficiencia proporcionada por el fabricante y la obtenida prácticamente de cada módulo fotovoltaico. Esto a su vez se ve reflejado en el área del panel a utilizar en cada caso. De esto se comprueba que los sistemas fotovoltaicos deben ser diseñados bajo condiciones climatológicas extremas para asegurar el buen funcionamiento de los mismos.

Por lo anterior recomendamos que para la utilización de sistemas fotovoltaicos se utilicen módulos de alta eficiencia con lo que se logrará una menor área de paneles a instalar, así como un mejor rendimiento del sistema, lo cual se verá reflejado en el costo del sistema.

BIBLIOGRAFIA.

C. C. Cobarg.
Energía solar. Bases y aplicaciones
Ed. Paraninfo, Madrid, 1983.

Meinel.
Aplicaciones de energía solar.
Ed. Reverté, México, 1982.

W. Paiz.
Electricidad solar.
Ed. Reverté, México, 1985.

D. Farrington.
Uso directo de la energía solar.
Ed. Blume, Madrid, 1982.

R. J. Tocci.
Circuitos y dispositivos electrónicos.
Ed. Iberoamericana, México, 1981.

B. J. Brinkworth.
Energía solar para el hombre.
Ed. Blume, Madrid, 1981.

Condumex.
Los sistemas fotovoltaicos. Curso de introducción.
División Energías Alternas, México.

F. Kreith.
Transferencia de calor por radiación.
Ed. CECSA, México, 1980.

Manrique.
Energía solar. Fundamentos y aplicaciones.
Ed. Haria, México, 1985.

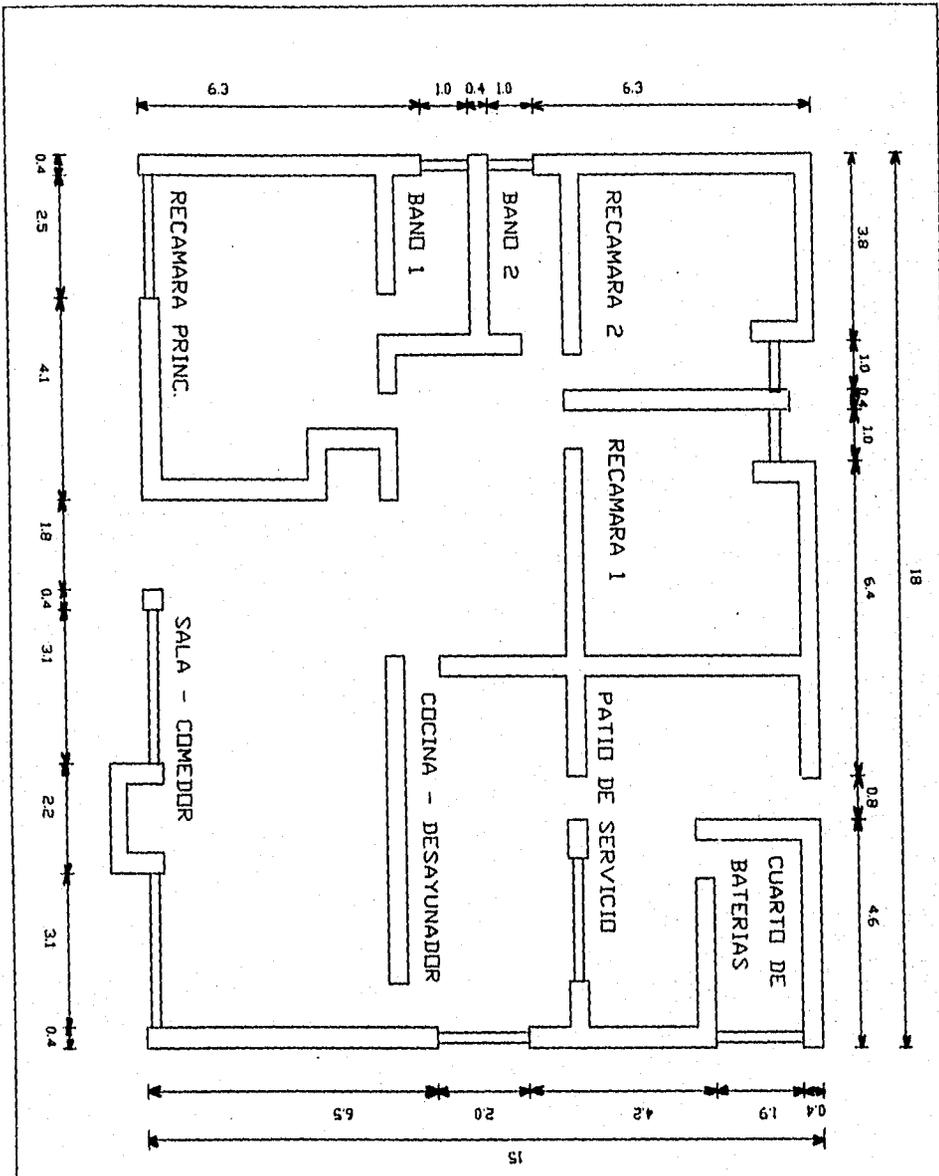
Duffie / Beckman.
Solar engineering of thermal processes.
Ed. John Wiley and Sons, USA

Centro de Estudios de Energía Solar (CENSOLAR)
Instalaciones de energía solar. Sistemas de conversión fotoeléctrica.
Curso programado.
Ed. Progensa, Sevilla, 1989.

F. Juster.
Las células solares.
Ed. Paraninfo, Madrid, 1987.

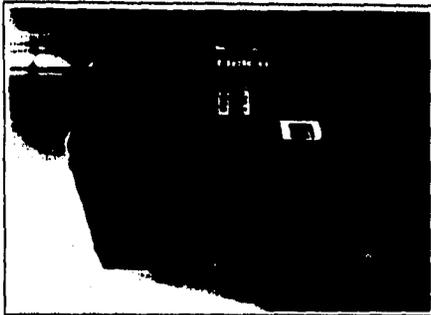
Malvino.
Principios de electrónica.
Ed. McGraw-Hill, México, 1980.

ANEXOS



TESIS PROFESIONAL	
ECHEGARAY S. / HUITRON R.	
ACOT. n	PLANO ARQUITECTONICO PROPUESTA

BATERIA DELCO 2000



UN NUEVO CONCEPTO EN ALMACENAJE DE ENERGIA

Delco Remy ha sido líder en fabricantes de baterías por más de 50 años. Las baterías Delco, son la marca de más venta hoy en día debido a sus innovaciones tecnológicas, instalaciones de producción modernas y su continuo esfuerzo por satisfacer las necesidades de los clientes. En 1970, Delco Remy solucionó el problema de mantenimiento de las baterías desarrollando la primera batería que realmente no necesitaba mantenimiento, usando una construcción excepcional de calcio y plomo forjado.

CARACTERISTICAS

- Construcción de rejilla forjada. Larga duración.
- Menos interconexiones. Mayor confiabilidad. Menos pérdida de potencia.
- Mayor energía por menor costo.
- No requiere mantenimiento. Nunca necesita reponer electrolito.
- Peso liviano. Menores costos de envío.
- Tamaño para sistemas compactos.

Desde su introducción, la línea de baterías Delco libres de mantenimiento ha crecido con la adición de la primera batería cíclica, la primera batería para fuerza motriz que no requiere mantenimiento, y la última adición: la primera batería fotovoltaica libre de mantenimiento: DELCO 2000. Tiene la misma construcción patentada que mejora el rendimiento y duración sin la necesidad de mantenimiento periódico. La DELCO 2000 está diseñada para los actuales sistemas de almacenaje de energía.

CALCULOS Y RECOMENDACIONES

Las aplicaciones de la batería están determinadas por la carga conectada a la batería. Una vez que la carga está establecida, el nivel de capacidad de Amper-horas (A-H) se puede determinar por dos métodos:

- 1.-Calculando la corriente que se consume.
- 2.-Mediante la lectura de la capacidad de la batería. Por ejemplo Una batería con un consumo de 25 A. que opera a 25° C tiene aproximadamente una capacidad nominal de 80 A-H

* La profundidad del desgaste diario no debe exceder el 15% del nivel de la capacidad de A-H de la batería para una vida prolongada.

* La batería debe mantener un mínimo de 50% de la condición de carga durante las peores condiciones de operación debido al clima.

* Se pueden usar para obtener las condiciones correctas de funcionamiento: en paralelo para aumentar los A-H y en serie para aumentar el voltaje.

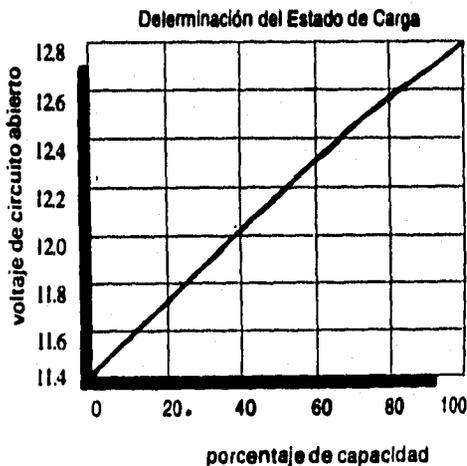
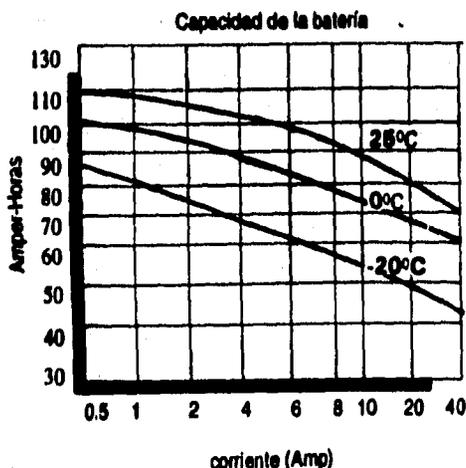
* El mejor funcionamiento se consigue entre las temperaturas de 5° C a 35° C.

* Una excelente protección contra congelación del electrolito está asegurada hasta para estados de carga muy bajos. Por ejemplo: Una batería cargada en solo un 25% no se congelará antes de aproximadamente -10° C

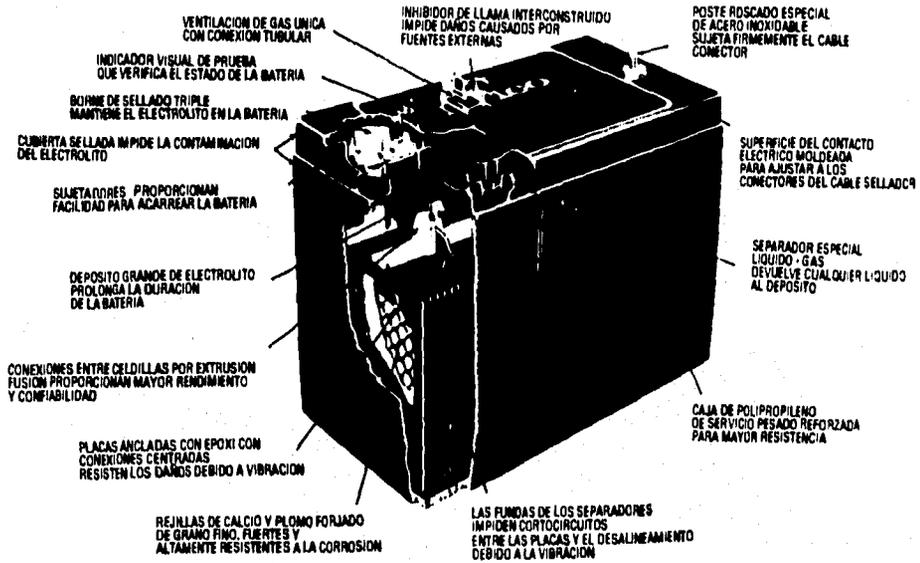
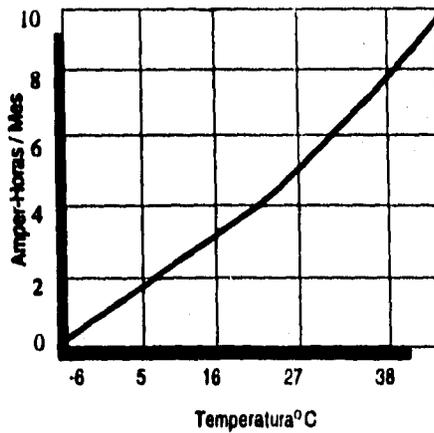
El voltaje de carga es de 15.5 volts a 27° C Por cada grado centígrado de incremento o disminución, suba o baje el voltaje 33mV.

Prueba y Carga

La DELCO 2000 puede ser probada para propósitos generales de diagnóstico por una revisión visual del hidrómetro integrado. Una marca verde indica que la batería tiene un nivel de carga 80% o más, que es lo recomendable para la vida óptima de la batería. El hidrómetro oscuro indica que la batería tiene una proporción de carga menor de 80%, pero no indica una batería defectuosa. Por lo tanto la batería debe ser cargada antes de probarse. Si en necesario, la batería puede ser cargada por un equipo y método convencional. El hidrómetro claro indicará que hay un nivel de electrolito demasiado bajo y que la batería debe ser reemplazada.



Proporción de Auto Descarga



Voltaje	12/16 volts
Capacidad	105 A - H Min. / 115 A - H Max. (100 Hrs. de descarga, 25° C)
Mantenimiento	libre
Dimensiones	Altura 23.9 cm.
	Longitud 33.0 cm.
	Ancho 17.2 cm.
Vida útil	5.5 años (descarga diaria 10%)
Ciclos de descarga	2000 ciclos (10% de descarga)

MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS



CONDUMEX

Los módulos solares fotovoltaicos distribuidos por CONDUMEX, representan la más avanzada tecnología de fabricación de generadores eléctricos solares.

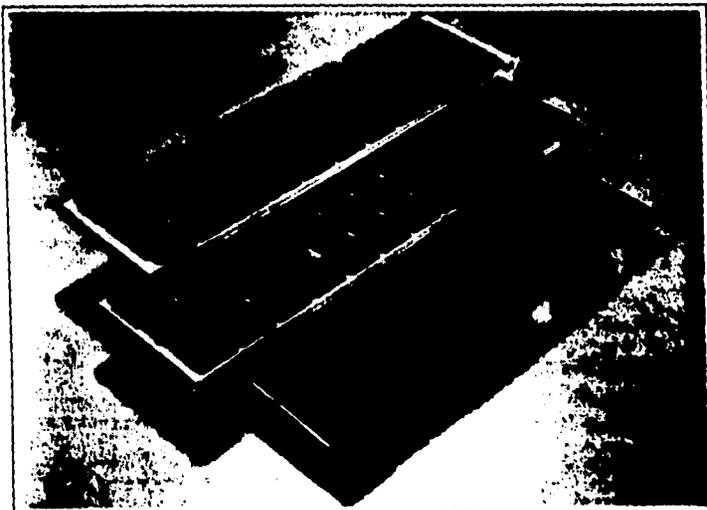
Las celdas solares empleadas son de silicio cristalino, están protegidas del polvo, humedad e impactos por una cubierta de vidrio templado antirreflejante con bajo contenido de hierro y laminadas entre hojas de polímeros de alta duración, resistentes a los rayos ultravioleta y a la humedad. Las celdas son interconectadas formando un circuito redundante asegurando la efectiva conexión de las celdas.

Las cajas de conexión en la parte posterior son herméticamente selladas al medio ambiente, con autosujeción de la tapa. Cada caja contiene o puede instalarse un diodo de paso para reducir la pérdida de potencia por sombreado total o parcial.

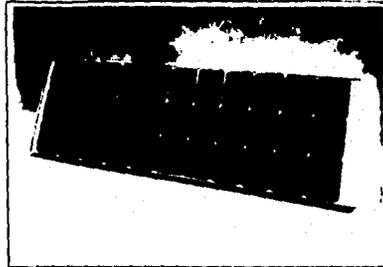
Para el montaje y protección de módulos, se utiliza un marco de aluminio anodizado y sellado, con 4 puntos de sujeción.

VENTAJAS DE LOS MODULOS

- Usan la luz del sol como fuente de energía.
- Operan silenciosamente.
- Fáciles de instalar.
- De construcción sólida y durable.
- Bajo o nulo de mantenimiento.
- Sin partes móviles que se desgasten.
- No contaminan el ambiente.
- Facilidad en la expansión del sistema.
- Operación fácil y confiable.
- Garantía de 10 años.
- Vida útil mayor a 20 años.



**MODULOS SOLARES
FOTOVOLTAICOS
MONOCRISTALINOS**



ESPECIFICACIONES ELECTRICAS

MODELO	PC4JF	M-55	M-75	M-40	M-10	M-5
POTENCIA TIPICA	75 w	53 w	48 w	40 w	10 w	5 w
CORRIENTE A LA CARGA	4.4 A	3.05 A	3.02 A	2.55 A	0.61 A	0.34 A
VOLTAJE A LA CARGA	17.0 v	17.4 v	15.9 v	15.7 v	16.3 v	15.0 v
CORRIENTE CORTO CIRCUITO	4.8 A	3.35 A	3.35 A	3.0 A	0.71 A	0.39 A
VOLTAJE CIRCUITO ABIERTO	22.0 v	21.7 v	19.8 v	19.5 v	19.9 v	19.5 v

ESPECIFICACIONES FISICAS

MODELO	PC4JF	M-55	M-75	M-40	M-10	M-5
LONGITUD	120.1 cm	129.3 cm	121.9 cm	121.9 cm	36.0 cm	17.5 cm
ANCHO	52.8 cm	33.0 cm	33.0 cm	33.0 cm	33.0 cm	33.0 cm
ESPESOR	3.6 cm	3.6 cm	3.6 cm	3.6 cm	3.6 cm	3.6 cm
PESO	5.8 Kg	5.7 Kg	5.2 Kg	5.2 Kg	1.8 Kg	1.0 Kg
COMENTARIOS						

**MODULOS SOLARES
FOTOVOLTAICOS
POLICRISTALINOS**



ESPECIFICACIONES ELECTRICAS

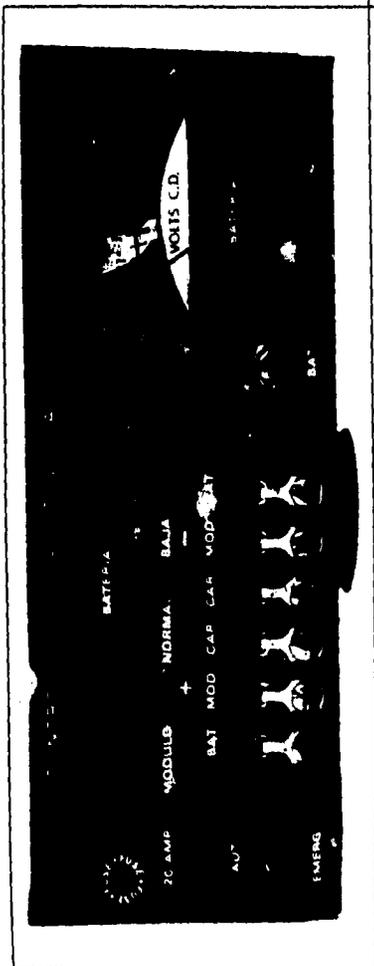
MODELO	MSX-77	VLX-53	K-51	K-34	MSX-20
POTENCIA TIPICA	77 w	53 w	51 w	33.9 w	20 w
CORRIENTE A LA CARGA	4.56 A	3.08 A	3.02 A	2.26 A	1.17 A
VOLTAJE A LA CARGA	16.9 v	17.2 v	16.9 v	15.0 v	17.1 v
CORRIENTE CORTO CIRCUITO	5.0 A	3.33 A	3.25 A	2.44 A	1.16 A
VOLTAJE CIRC. ABIERTO	21.0 v	21.3 v	21.2 v	18.9 v	20.6 v

ESPECIFICACIONES FISICAS

MODELO	MSX-77	VLX-53	K-51	K-34	MSX-20
LONGITUD	111.3 cm	93.7 cm	98.5 cm	68.0 cm	42.7 cm
ANCHO	66.0 cm	50.0 cm	44.5 cm	44.5 cm	50.2 cm
ESPESOR	5.0 cm	2.2 cm	36 cm	36 cm	5.0 cm
PESO	9.5 Kg	5.5 Kg	5.9 Kg	4.0 Kg	3.0 Kg
				AUTORREGULABLE	



**CONTROLADOR - MEDIDOR
PARA SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS
MODELO CMCX-12/15/20**



DESCRIPCION

El controlador de carga con medidor de voltaje, modelo CMCX-12/15/20 proporciona en forma eficiente la protección y señalización adecuada para sistemas fotovoltaicos que operan con baterías, tanto para los aparatos conectados como a las baterías y los usuarios mismos.

El Control de carga consta de un limitador por relevador en serie hacia los módulos solares y otro para desconexión de las cargas alimentadas, por bajo voltaje de batería. Incluye indicadores luminosos de batería normal, batería baja y módulo en carga, fusible de protección a la salida y selector para inhibir la desconexión por bajo voltaje.

El medidor de voltaje, de escala expandida (10 a 15 volts) está dividido en colores para facilitar al usuario el determinar el estado de carga de su batería (ROJO = batería baja, AMARILLO = batería a media carga, VERDE = batería con carga aceptable).

El controlador - medidor está alojado en un atractivo gabinete de aluminio esmaltado en negro, en cuyo frente se indican con claridad las funciones arriba descritas, además de encontrarse en portafusible, selector de desconexión por bajo voltaje y tira de conexiones para cables hasta calibre 10 ó conectores tipo espada.

CARACTERISTICAS

- Voltaje nominal: 12 volts.
- Corriente máxima de módulos solares: 15 amp.
- Corriente máxima a las cargas alimentadas: 20 amp.
- Voltaje máximo permisible: 22 volts.
- Niveles de voltaje de operación (baterías plomo - ácido) :
 - Desconexión de módulos: (batería cargada) : 14.6 \pm 0.3 volts.
 - Reconexión de módulos: 12.8 \pm 0.3 volts.
 - Desconexión de cargas por bajo voltaje de batería: 11.6 \pm 0.2 volts.
 - Reconexión de cargas (automática) : 13.2 0.2 volts.
- Interruptor para seleccionar la desconexión automática por bajo voltaje (Normal) o uso de emergencia.
- Fusible tipo 3-AG a las cargas en portafusible de bayoneta.
- Protección contra transitorios de voltaje por Varistor (MOV.)
- Medidor de voltaje con escala expandida de 10 a 15 volts.
 - Precisión: \pm 5% de la escala.
 - Codificación de colores:
 - ROJO = Batería con menos de 25 % de carga.
 - AMARILLO = Batería con 25 a 50 % de carga.
 - VERDE = Batería con más de 50% de carga.
- Dimensiones :
 - Largo: 290 mm.
 - Ancho: 77 mm.
 - Espesor: 49 mm.
- Peso 410 gr.

OPERACION

Al amanecer los módulos solares inician la carga de las baterías (" MODULO " enciende), para reponer lo gastado la noche anterior. Cuando el voltaje llega a 14.6 volts, la batería está totalmente cargada, desconectándose los módulos. ("MODULO" se apaga).

En este momento el voltaje baja a 13.6 volts manteniendo una corriente pequeña cargando a la batería (corriente de fuga) , por medio de un circuito de flotación.

En cuanto el voltaje de la batería baja a 12.8 volts. por bajar la insolación, los módulos se reconectan (" MODULO " enciende nuevamente) hasta que alcanza otra vez el voltaje de plena carga.

SELECTOR EN " NORMAL "

Siempre que el voltaje de batería este por encima de 11.3 volts el indicador luminoso BATERIA "NORMAL" estará encendido. Si, por exceso de uso o días nublados consecutivos, la batería baja a menos de 11.6 volts los aparatos alimentados serán desconectados de las baterías (BATERIA " BAJA " se enciende). Se evita así que las baterías se dañen por exceso de descarga.

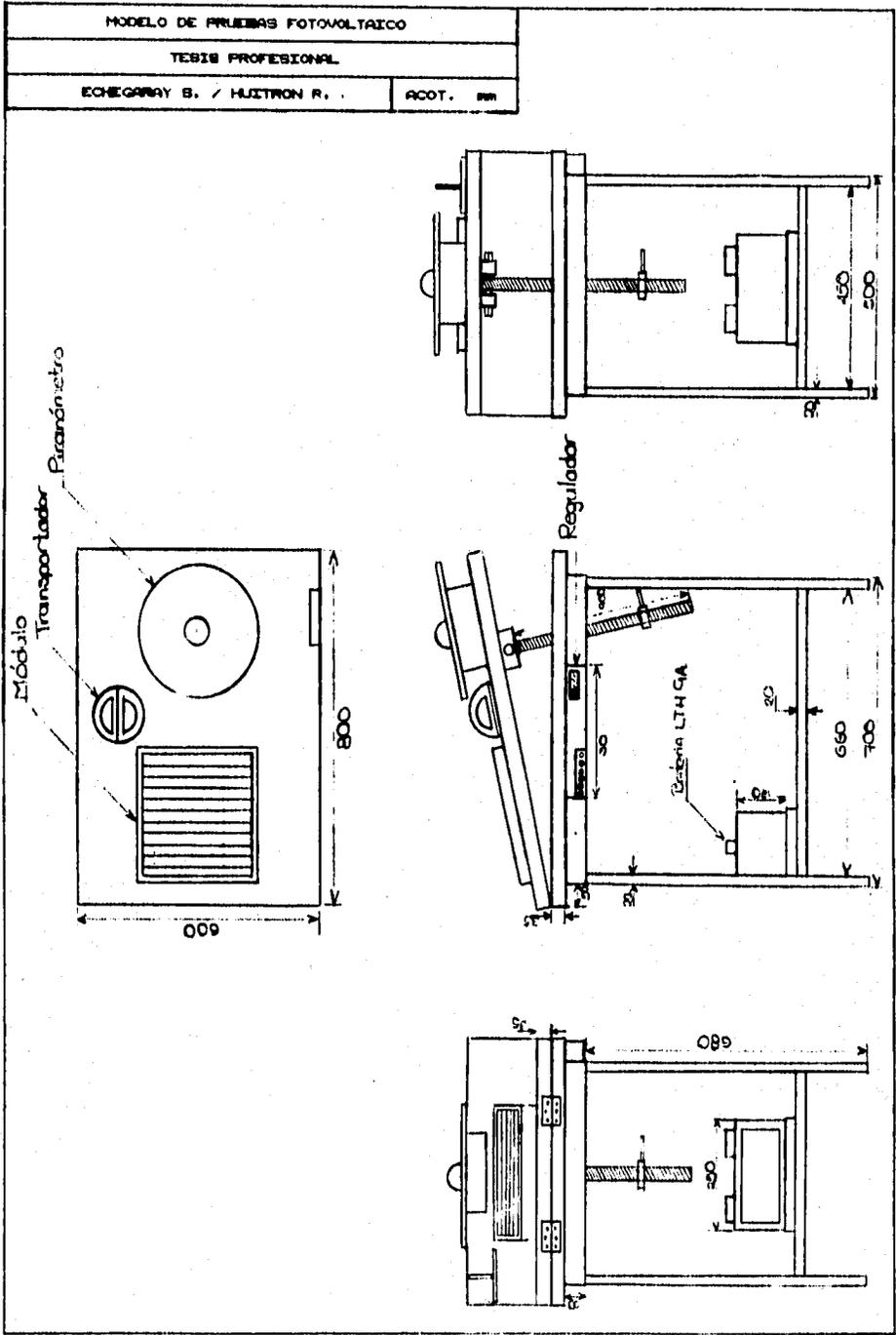
Cuando las baterías se recuperen, llegando a 13.2 volts, los aparatos se reconectan automáticamente (BATERIA " NORMAL " se enciende).

SELECTOR EN " EMERGENCIA "

En esta posición de selector el controlador no desconecta las cargas a 11.3 volts permitiendo un tiempo adicional de uso del sistema.

¡ CUIDADO !

Trabajar las baterías bajas (zona roja del medidor) acorta la vida de las mismas notablemente.



Memoria de cálculo para el módulo fotovoltaico marca NEC en condiciones ideales de funcionamiento.

*** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ***

Kb = .05
Kc = 0
Kv = .15
Ka = .005
Pd = .6
N = 4
Et = 1786.75 [W]
Vbat = 12 [V]
Cbat = 70 [A-h]
R = .7733333
Er = 2310.453 [W-h]
Cu = 770.1509 [A-h]
C = 1283.585 [A-h]

NUMERO DE BATERIAS = 18.33692

*** CALCULO DE NUMERO DE PANELES ***

H = 502.85 [Langleys]
DIA DEL AÑO = 113
LATITUD = 19.5 [grados]
S = 20 [grados]
ANGULO HORARIO = 0 [grados]
POTENCIA PANEL = 5 [W]
DECLINACION = 12.37338 [grados]
FACTOR DE CORRECCION K = .9877183
HSP = 5.76142 [hr/dia]

EL NUMERO DE PANELES ES = 89.11586

*** CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES ***

CORRIENTE PICO PANEL = .4 [Amp]
CORRIENTE MAX. REGULADOR = 15 [Amp]

EL NUMERO DE REGULADORES ES = 2.376423

Memoria de cálculo para el módulo fotovoltaico marca NEC en condiciones reales de funcionamiento.

*** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ***

Kb = .05
Kc = 0
Kv = .15
Ka = .005
Pd = .6
N = 4
Et = 1786.75 [W]
Vbat = 12 [V]
Cbat = 70 [A-h]
R = .7733333
Er = 2310.453 [W-h]
Cu = 770.1509 [A-h]
C = 1283.585 [A-h]

NUMERO DE BATERIAS = 18.33692

*** CALCULO DE NUMERO DE PANELES ***

H = 502.85 [Langleys]
DIA DEL AÑO = 113
LATITUD = 19.5 [grados]
S = 20 [grados]
ANGULO HORARIO = 0 [grados]
POTENCIA PANEL = 2.79 [W]
DECLINACION = 12.37338 [grados]
FACTOR DE CORRECCION K = .9877183
HSP = 5.76142 [hr/dia]

EL NUMERO DE PANELES ES = 159.7059

*** CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES ***

CORRIENTE PICO PANEL = .22 [Amp]
CORRIENTE MAX. REGULADOR = 15 [Amp]

EL NUMERO DE REGULADORES ES = 2.342353

Memoria de cálculo para el módulo fotovoltaico marca SOLAREX en condiciones ideales de funcionamiento.

*** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ***

Kb = .05
Kc = 0
Kv = .15
Ka = .005
Pd = .6
N = 4
Et = 1786.75 (W)
Vbat = 12 (V)
Cbat = 70 (A-h)
R = .7733333
Er = 2310.453 (W-h)
Cu = 770.1509 (A-h)
C = 1283.585 (A-h)

NUMERO DE BATERIAS = 18.33692

*** CALCULO DE NUMERO DE PANELES ***

H = 502.85 (Langleys)
DIA DEL AÑO = 113
LATITUD = 19.5 (grados)
S = 20 (grados)
ANGULO HORARIO = 0 (grados)
POTENCIA PANEL = 22 (W)
DECLINACION = 12.37338 (grados)
FACTOR DE CORRECCION K = .9877183
HSP = 5.76142 (hr/dia)

EL NUMERO DE PANELES ES = 20.25361

*** CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES ***

CORRIENTE PICO PANEL = 1.8 (Amp)
CORRIENTE MAX. REGULADOR = 15 (Amp)

EL NUMERO DE REGULADORES ES = 2.430433

Memoria de cálculo para el módulo fotovoltaico marca SOLAREX en condiciones reales de funcionamiento.

*** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ***

Kb = .05
Kc = 0
Kv = .15
Ka = .005
Pd = .6
N = 4
Et = 1786.75 (W)
Vbat = 12 (V)
Cbat = 70 (A-h)
R = .7733333
Er = 2310.453 (W-h)
Cu = 770.1509 (A-h)
C = 1283.585 (A-h)

NUMERO DE BATERIAS = 18.33692

*** CALCULO DE NUMERO DE PANELES ***

H = 502.85 (Langleys)
DIA DEL AÑO = 113
LATITUD = 19.5 (grados)
S = 20 (grados)
ANGULO HORARIO = 0 (grados)
POTENCIA PANEL = 6.73 (W)
DECLINACION = 12.37338 (grados)
FACTOR DE CORRECCION K = .9877183
HSP = 5.76142 (hr/dia)

EL NUMERO DE PANELES ES = 66.20793

*** CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES ***

CORRIENTE PICO PANEL = .58 (Amp)
CORRIENTE MAX. REGULADOR = 15 (Amp)

EL NUMERO DE REGULADORES ES = 2.56004

Memoria de cálculo para el módulo fotovoltaico marca SOLAREX en condiciones reales de funcionamiento.

*** CALCULO DE NUMERO DE ACUMULADORES ***

Kb = .05
Kc = 0
Kv = .15
Ka = .005
Pd = .6
N = 4
Et = 1786.75 (W)
Vbat = 12 (V)
Cbat = 70 (A-h)
R = .7733333
Er = 2310.453 (W-h)
Cu = 770.1509 (A-h)
C = 1283.585 (A-h)

NUMERO DE BATERIAS = 18.33692

*** CALCULO DE NUMERO DE PANELES ***

H = 502.85 (Langleys)
DIA DEL AÑO = 113
LATITUD = 19.5 (grados)
S = 20 (grados)
ANGULO HORARIO = 0 (grados)
POTENCIA PANEL = 19.2 (W)
DECLINACION = 12.37338 (grados)
FACTOR DE CORRECCION K = .9877183
HSP = 5.76142 (hr/dia)

EL NUMERO DE PANELES ES = 23.20726

*** CALCULO DE NUMERO DE REGULADORES ***

CORRIENTE PICO PANEL = 1.2 (Amp)
CORRIENTE MAX. REGULADOR = 15 (Amp)

EL NUMERO DE REGULADORES ES = 1.85658