

308917



UNIVERSIDAD PANAMERICANA

**ESCUELA DE INGENIERIA
CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

15
203

**PROYECTO PARA LA UTILIZACION DE
CELDAS SOLARES EN SEMAFOROS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: MECANICA ELECTRICA

P R E S E N T A :

ALEJANDRO DAVID GARCIA TORRES

Director: FIS. Mariano Romero Valenzuela

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

Introducción	1
Capítulo 1 Características y Clasificación de las Celdas Solares	
1.1 Qué son las celdas solares	4
1.2 Cómo se genera la electricidad en las celdas solares	6
1.3 Clasificación de las celdas solares	8
1.3.1 Celdas de acuerdo a su aplicación	12
1.3.2 Tipo de material y proceso	12
1.3.2.1 Celdas de silicio	12
1.3.2.2 Celdas de arsénuro de galio	17
1.3.2.3 Celdas de sulfuro de cadmio	18
1.3.2.4 Otras celdas	18
1.3.3 Construcción interna	18
1.3.3.1 Polaridad de la celda	18
1.3.3.2 Celdas de unión plana	18
1.3.3.3 Celdas de unión vertical	19
1.3.4 Características ópticas	19
1.3.5 Celdas solares de silicio para aplicaciones terrestres	19
1.3.6 Características eléctricas	20
1.3.6.1 Polaridad de la celda solar	20
1.3.7 Características de corriente-voltaje	20
1.3.8 Eficiencia de la energía de conversión	25

Capítulo 2 Consideraciones sobre la Energía Solar

2.1	Movimientos del sol y la tierra	28
2.2	Ángulos del sol	30
2.3	Cómo cambiar el tiempo del reloj al tiempo solar local	33
2.4	Cálculo de ángulos solares	36
2.4.1	La constante solar	36
2.5	Atonuación por la atmósfera	37
2.6	Energía solar útil	43
2.7	Estimación de la insolación	49
2.8	Efectos climatológicos	49

Capítulo 3 Mercado de las celdas solares

3.1	Situación	51
------------	------------------	-----------

Capítulo 4 Generalidades sobre los semáforos de la Ciudad de México

4.1	Consideraciones	58
4.2	Características nominales de los semáforos	66
4.3	Selección del módulo	68
4.4	Qué elementos constituyen el sistema fotovoltaico	69
4.5	Formas de sujeción de las celdas solares	76

Capítulo 5	Evaluación del Proyecto	82
-------------------	--------------------------------	-----------

Conclusiones	85
---------------------	-----------

Bibliografía	88
---------------------	-----------

Apéndice A Radiación Solar en Diversas Regiones de México	89
Apéndice B Promedios Mensuales de Radiación	90
Apéndice C Angulos para Determinar Altitud y Azimut Solares	96
Apéndice D Cartas solares	99

INDICE DE FIGURAS

1.1 Evolución desde la celda al arreglo de paneles	5
1.2 Representación aproximada de la estructura exterior	7
1.3 Funcionamiento esquemático de una celda solar bajo la acción de la radiación solar	9
1.4 Descripción gráfica y cualitativa del efecto de la radiación solar en el volumen de un semiconductor de operación de una celda solar	9
1.5 Incidencia de la luz solar para la generación de un flujo de electrones	10
1.6 Conexión en serie y en paralelo	11
1.7 Diversas agrupaciones de celdas solares	13
1.8 Central solar fotovoltaica formada por una gran extensión de paneles	14
1.9 Aspecto que presentan los paneles solares de una central a base de celdas fotovoltaicas	15
1.10 Construcción de la celda solar	16
1.11 Curvas características de un diodo	21

1.12	Características de corriente-voltaje	23
1.13	Características de voltaje-potencia	24
1.14	Rendimientos máximos teóricos de celdas solares	26
2.1	La tierra en su órbita anual	29
2.2	Cambios anuales en la posición del sol	31
2.3	Altitud y azimut solares	32
2.4	Ecuación de la corrección de tiempo por mes	35
2.5	Declinación del sol por mes	38
2.6	Distribución global de la radiación incidente	40
2.7	Masas de aire	41
2.8	Gráfica longitud de onda vs radiación incidente	45
2.9	Radiación solar incidente	47
2.10	Radiación global	50
3.1	Instituto de Investigación de la Energía Solar	52
3.2	Planta Solarex®	53
3.3	Progreso de la tecnología de los módulos fotovoltaicos	55
3.4	Cinco fuertes fabricantes de módulos solares	56
4.1	Caja que contiene los focos de los semáforos	67
4.2	Generadores fotovoltaicos	70
4.3	Diagrama de conexiones del sistema propuesto	72
4.4	Mapa luminoso de la Dirección de Control de Tránsito de la Ciudad de México	73
4.5	Subsistema local con tecnología electrónica-electromecánica	74
4.6	Interruptor de transferencia	76
4.7	Formas de sujeción de las celdas solares	77
4.8	Formas de sujeción de las celdas solares	79
4.9	Dibujo del sistema propuesto	80
4.10	Dibujo isométrico del sistema propuesto	81

INDICE DE TABLAS

1.1 Celdas solares de silicio comerciales para aplicaciones terrestres	17
2.1 Masa de aire a distintos km arriba del nivel del mar	42
2.2 Distribución de longitud de onda de la radiación del sol	44
2.3 Factores de conversión de energía-densidad	46

INDICE DE FOTOGRAFIAS

4.1 Aspecto de un semáforo de una calle sin mucho tránsito	59
4.2 Controlador de semáforos para calles sin mucho tránsito	60
4.3 Semáforos de ejes viales	61
4.4 Semáforos de ejes viales	62
4.5 Semáforos de ejes viales	63
4.6 Semáforos de ejes viales	64
4.7 Problemas viales ocasionados por la falta de suministro eléctrico	65

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El constante aumento de la población en las ciudades origina un cambio para la optimización de los recursos naturales. Actualmente, el mundo se encuentra en un estado de escasez de energéticos, en el que se contempla a los recursos no renovables y a un continuo incremento en los precios de dichos energéticos. Ante esta situación, la solución inmediata puede ser la implementación de la tecnología para satisfacer las necesidades del hombre.

Dentro de las fuentes de energía más baratas que existen en la actualidad se encuentra la energía solar, la cual no se le ha dado la atención necesaria. La energía solar constituye una fuente inagotable de beneficios para el hombre.

Conforme aumenta la población en las ciudades, se requiere de un mayor número de servicios públicos. Estos servicios tienen que ser mejores cada vez ya que las condiciones de vida lo exigen. La humanidad no se podrá permitir la sustitución en masa de estas baratas fuentes de energía por el carbón: tendrá que proteger la atmósfera y cuidar de que sus centrales energéticas no despidan demasiado dióxido de carbono, convirtiendo a la Tierra en un gigantesco invernadero. Incluso aunque los físicos nucleares desarrollen en el futuro reactores nuevos y seguros, este tipo de energía se tendrá que enfrentar con la oposición pública. Por otro lado, las crecientes exigencias de seguridad y los problemas de los residuos la harán cada vez más cara.

Se debe buscar la manera de adquirir la energía barata y de una forma directa. La forma directa es mediante la implementación de dispositivos que conviertan la energía, en este caso, la energía que nos baña a todos nosotros y que es muy útil.

Menciono las palabras *energía que nos baña a todos nosotros* puesto que nosotros de una u otra forma estamos expuestos a la radiación solar que, sin duda alguna es una fuente de energía gratuita.

La lista de las aplicaciones comerciales de la energía fotovoltaica, que empezó hace años en Japón con la calculadora y el reloj de pulsera, es cada vez más larga. Con placas fotovoltaicas y baterías recargables es posible disponer de energía eléctrica durante las 24 horas del día y en cualquier parte del mundo, sin conexión a la red ni necesidad de quemar combustible. Quien quiera electrificar una casa de campo ya no tiene que depender de pesadas baterías o del funcionamiento de un generador de gasolina. Por una suma módica se puede conseguir un equipo completo de energía solar fotovoltaica que alimenta, silenciosamente y sin necesidad de mantenimiento, el alumbrado, el refrigerador, el televisor y la radio.

El objetivo del presente trabajo es el de implementar elementos que permitan obtener, a partir de la energía solar, energía eléctrica.

En una ciudad tan grande como la nuestra existe la necesidad de promover el uso de energía solar como fuente predominante para diversas aplicaciones. Una de ellas es en los semáforos de la Ciudad de México, considerando a ésta como la más grande metrópoli del mundo, de ahí su gran importancia.

De manera general, se establece en el primer capítulo un enfoque de las características y clasificación de las celdas solares. En el capítulo dos se plantea información sobre los puntos específicos que se deben considerar para hacer un diseño con la energía solar. En el capítulo tres se hace un breve estudio de mercado de las celdas solares. En el capítulo cuatro se detallan las generalidades de los semáforos en la Ciudad de México y se presenta el sistema a adaptar. En el capítulo cinco se analiza la evaluación del proyecto. Por último, se presentan las conclusiones con las que quisiera reflejar y exhortar a las personas interesadas en la energía solar en seguir buscando alternativas de mejoras de los recursos para lograr una mejor calidad de vida para la humanidad.

CAPITULO 1

CAPITULO 1

CARACTERISTICAS Y CLASIFICACION DE LAS CELDAS SOLARES

1.1 Qué son las celdas solares

Son dispositivos semiconductores relativamente pequeños que producen una salida de potencia eléctrica al ser sometidos a la radiación solar. Conforme se agrupan muchas celdas solares individualmente conectadas, constituyen un arreglo, el cual amplifica la salida de potencia de una sola celda por separado (Fig. 1.1).

Las celdas solares se encuentran en diversas formas y tamaños. Sus dimensiones pueden variar desde un diámetro de 1 mm hasta más de 100 mm. También las celdas solares pueden ser cuadradas o rectangulares. El rango del espesor para una celda común de silicio oscila entre 0.2 y 0.4 mm.

La potencia de salida de las celdas solares depende considerablemente de la energía en forma de rayos solares que inciden sobre éstas. Esta energía, la cual es producida en su mayor parte como radiación electromagnética de alta frecuencia (rayos gamma) es transportada bajo radiación hasta la superficie de la Tierra.

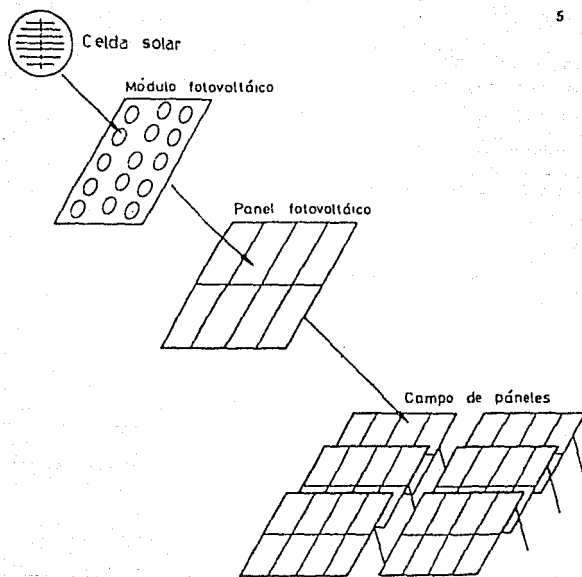


Figura 1.1 Evolución desde la celda al arreglo de pánenes.
El número de módulos que componen un panel depende de la aplicación.

La energía total emitida por el sol puede estimarse por la cantidad de energía que llega a nuestro planeta, siendo ésta, resultado de una atenuación producida principalmente por los gases constituyentes de la atmósfera terrestre, los cuales dan lugar a fenómenos de reflexión, dispersión y absorción. Así cada metro cuadrado de superficie terrestre recibe una cantidad promedio de energía equivalente a 1 kW (suficiente energía para encender 25 focos de 40 W).

La energía solar es el resultado de la liberación de gran cantidad de energía proveniente de un proceso químico complejo, básicamente un proceso de fusión termonuclear.

Esta energía se disemina en forma de rayos de energía calorífica a los que se les define en quanta y fotones, que están proporcionalmente relacionados a su frecuencia en términos de energía.

1.2 Cómo se genera la electricidad en las celdas solares

El material más utilizado para la fabricación de las celdas solares es el silicio. Este material puede ser de tipo p-n o como n-p. La primera letra se refiere al tipo dominante de material semiconductor más cercano a la parte superior de la celda y la segunda letra se le denomina al material base.

El material de tipo n se refiere a la parte negativa y el tipo p por tanto, se le denomina a la parte positiva. Dicho en otras palabras, lo anterior se refiere a la polaridad de la celda (Fig 1.2).

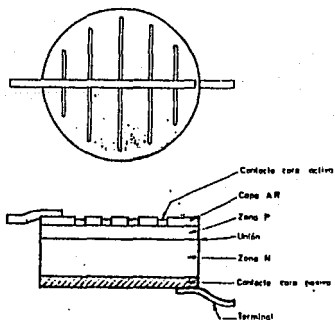
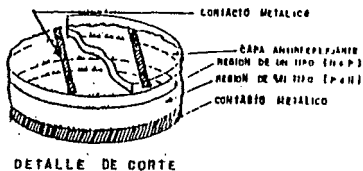
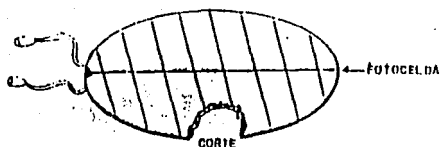


Figura 1.2 Representación aproximada de la estructura exterior de una celda solar de silicio monocristalino. En la parte superior se representa una posible geometría del electrodo preparado en la cara donde incide la radiación solar.

La luz incidente en los átomos de las celdas solares provocan saltos de electrones (carga negativa) dejando huecos en los átomos de la celda que se comportan como cargas positivas haciendo que se genere una corriente eléctrica con la ayuda de un cable conductor (Fig. 1.3-1.5). Para lograr un potencial deseado es necesario la agrupación de muchas celdas solares, ya sea en forma de serie (del tipo n de una celda al tipo p de la siguiente) en la cual se obtiene la suma de los potenciales de cada una de las celdas. Al ser agrupadas en paralelo (del tipo n entre sí y del tipo p entre sí) el potencial es el mismo que el de cada celda. Estas agrupaciones son similares a las que pueden existir con baterías convencionales (Fig. 1.6).

Para la utilización de las celdas solares es necesario que el material semiconductor, ya sea silicio o germanio, posea un cierto grado de pureza y que en su configuración interna sea lo más perfecta posible.

1.3 Clasificación de las celdas solares

Para hacer una clasificación de las celdas solares no existe una nomenclatura universal. Sin embargo, se pueden clasificar de acuerdo a su importancia en cuanto a su utilidad como se especifica a continuación:

- a) Celdas de acuerdo a su aplicación.
- b) Tipo de material y su proceso.
- c) Construcción interna.
- d) Características ópticas.
- e) Eficiencia.
- f) Tamaño y forma.
- g) Espesor.
- h) Contactos.
- i) Resistencia a la radiación.

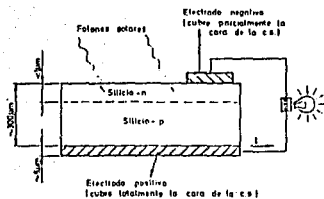


Figura 1.3 Funcionamiento esquemático de una celda solar bajo la acción de la radiación solar. Entre los extremos de la misma se aprovecha la energía transformada.

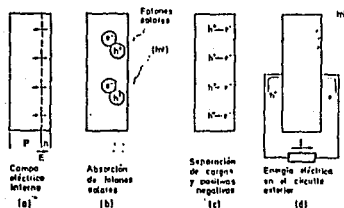


Figura 1.4 Descripción gráfica y cualitativa del efecto de la radiación solar en el volumen de un semiconductor y del mecanismo de operación de una celda solar. Se intenta destacar la importancia del campo eléctrico interno que en la práctica se crea, por ejemplo, con una unión p-n.

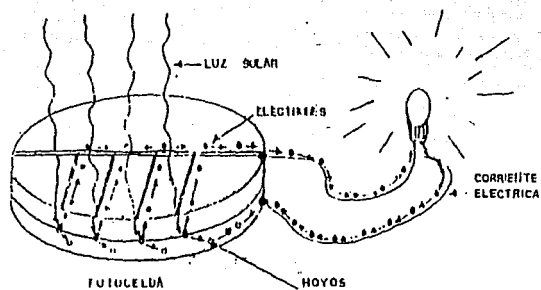
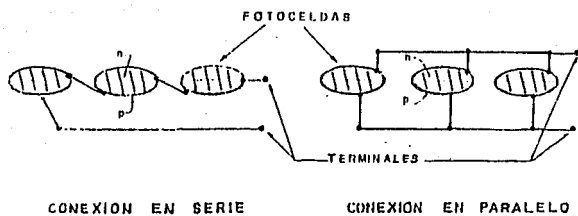


Figura 1.5 Incidencia de la luz solar para la generación de un flujo de electrones

*Figura 1.6*

1.3.1 Celdas de acuerdo a su aplicación

El uso que se le da a las celdas solares puede ser para operaciones terrestres y espaciales, conversión de energía y para aplicaciones en sensores electro-ópticos. Las operaciones se destinan para diseños que operen a baja, media, y alta intensidades solares dependiendo de la situación. Por lo anterior, se tiene que hay:

- Celdas solares terrestres.
- Celdas para uso espacial.
- Celdas de baja intensidad.
- Celdas de alta intensidad.
- Concentrador de celdas.

1.3.2 Tipo de material y proceso

De acuerdo al tipo de material semiconductor se distinguen las:

- Celdas de silicio.
- Celdas de arsénuro de galio.
- Celdas de sulfuro de cadmio.
- Otras celdas.

1.3.2.1 Celdas de silicio

Divididas en monocristalinas y policristalinas. Las monocristalinas se cortan en cristales que oscilan entre 10 y 50 cm de diámetro. Las policristalinas se obtienen a base de un proceso de fundición seguidas de un tratamiento térmico, lo que conduce a la obtención de granos muy pequeños del orden de mm en sus dimensiones tanto en largo como en ancho.

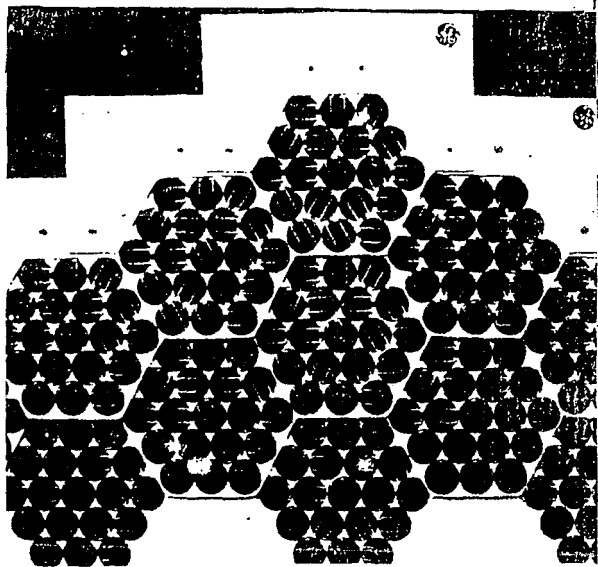


Figura 1.7 Diversas agrupaciones de celdas solares.

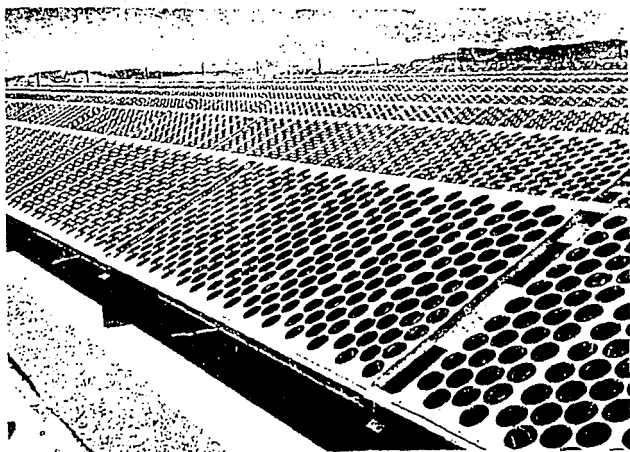


Figura 1.5 Central solar fotovoltaica formada por una gran extensión de paneles.

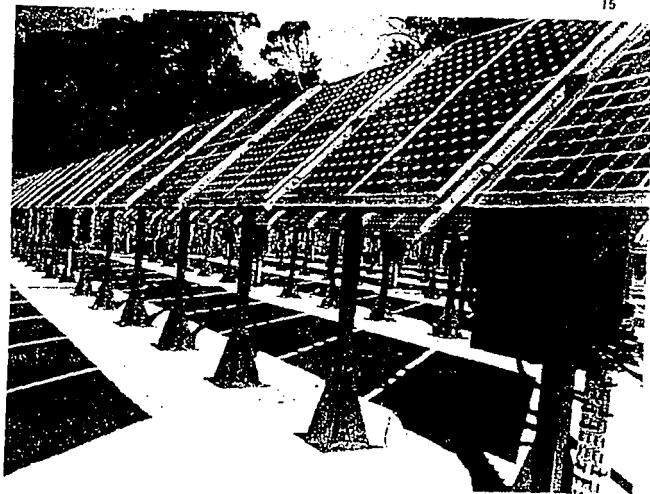
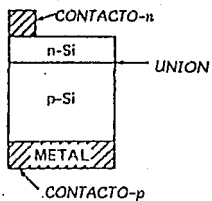
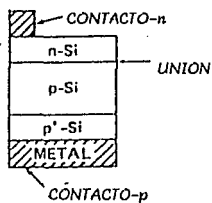


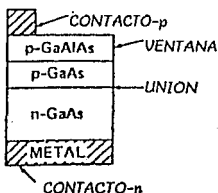
Figura 1.9 Aspecto que presentan los paneles solares de una central a base de celdas fotovoltaicas.



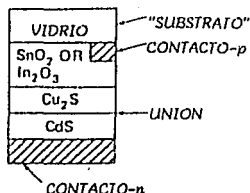
a. Celda de Silicio n-sobre-p



b. Celda de Silicio n-sobre-p con capa p



c. Celda de Arsenuro de Galio



d. Celda de Sulfuro de Cadmio

Figura 1.10 Construcción de la Celda Solar

1.3.2.2 Celdas de arsénuro de galio (GaAs)

Son consideradas como las futuras supresoras de las celdas de silicio. Su estructura se configura como GaAlAs-GaAs como se muestra en la figura 1.10.

TABLA 1.1
CELDAS SOLARES DE SILICIO COMERCIALES PARA APLICACIONES TERRESTRES

GEOMETRIA	TAMAÑO (mm)	GROSOR (mm)	EFICIENCIA 25°C (%) *
CIRCULAR	50 a 60	0.3 a 0.4	8 a 15
	75 a 100	0.3 a 0.4	8 a 13
RECTANGULAR	20 X 20	0.3	10 a 17
	20 X 40	0.3	10 a 13
	20 X 60	0.3	10 a 13
	56 X 47	0.3	14 a 15.5

*Depende del diseño específico de la celda y de los parámetros del proceso de fabricación

1.3.2.3 Celdas de sulfuro de cadmio

Poseen una estructura Cu_xS-CdS . El valor de x es aproximadamente igual a 2 en la capa de sulfuro de cobre. Se recubren con un proceso a base de baño en vez de un crecimiento de cristal.

1.3.2.4 Otras celdas

Se fabrican en base a combinaciones de compuestos químicos encontrados en la Tabla Periódica de los Elementos, por decir, del grupo III-V con el grupo II-VI. En su mayoría no logran una eficiencia alta de potencial.

1.3.3 Construcción interna

1.3.3.1 Polaridad de la celda

Como se mencionó anteriormente, existen celdas del tipo n sobre p o p sobre n , también conocidas como $n-p$ o $p-n$. La primera letra determina el material semiconductor dominante más cercano a la parte superior de la celda y la segunda letra se refiere al material base.

1.3.3.2 Celdas de unión plana

Su configuración se asemeja a una oblea. Estas celdas pueden o no utilizar la tecnología del dispositivo semiconductor en forma plana, la cual es desarrollada para transistores y otros componentes electrónicos.

1.3.3.3 Celdas de unión vertical

Constan de obleas dentro de surcos profundos y angostos. La superficie de unión es del orden de 10 veces el área de las celdas de unión plana teniendo el mismo tamaño de la oblea.

1.3.4 Características ópticas

En las condiciones de operación de las celdas, la más alta eficiencia depende de:

- a) la cantidad de luz solar que hace activar la parte fotovoltaica de la celda
- b) la temperatura de operación.

De lo anterior se obtienen:

- Celdas pulidas
- Celdas de superficie mate
- Celdas de superficie sin reflejante
- Celdas con revestimientos antireflejantes
- Celdas con superficie de reflexión trasera.

1.3.5 Celdas Solares de Silicio para Aplicaciones Terrestres

Desde mediados de 1970 se han fabricado distintos tipos de celdas solares para programas terrestres. Las celdas solares para uso terrestre más recientes fueron hechas bajo el principio de las de uso espacial con 2 ohm-cm de resistencia base. Por razones de costo las celdas con superficie no-reflejante son utilizadas para sistemas de alto desempeño mientras que las celdas químicamente pulidas son celdas de más bajo costo.

1.3.6 Características eléctricas

1.3.6.1 Polaridad de la celda solar

Como se vio anteriormente, las celdas solares pueden ser fabricadas como dispositivos p-n o n-p. La primera letra denota el tipo de material semiconductor de la primera capa bajo la cual la energía solar penetra. El comportamiento eléctrico de cualquier celda se relaciona con las características del material semiconductor como se describe a continuación. (Fig. 1.10).

- La polaridad del voltaje de salida de una celda solar iluminada es tal que, el contacto p se torna positivo y el contacto n se vuelve negativo.
- Una celda solar conectada a una potencia de carga se dice que opera "hacia adelante".
- Una celda solar iluminada o no se dice que opera "hacia adelante" por una fuente externa cuando la terminal positiva de la fuente se conecta al contacto p y la terminal negativa es conectada al contacto n.
- Una celda solar iluminada o no se dice que opera "en reversa" por una fuente externa cuando la terminal positiva de la fuente se conecta al polo n de la celda y la terminal negativa se conecta al polo p.

1.3.7 Características de Corriente-Voltaje

Las características de corriente-voltaje o llamemoslas curvas I-V describen las características de la terminal eléctrica más detalladamente. El término curva I-V acostumbra utilizarse aunque el término debe ser realmente curva V-I, si uno toma el sistema coordenado X-Y como referencia (Fig. 1.12).

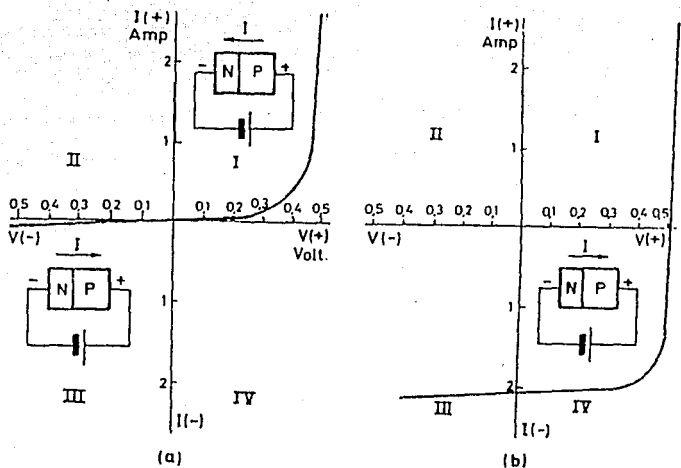


Figura 1.11 - Curvas características de un diodo en oscuridad y bajo iluminación. Se señalan los procesos y mecanismos que operan en cada uno de los cuadrantes. El diodo opera como celda solar en el cuadrante IV.

Una curva I-V de una celda solar pasa a través de tres puntos considerables:

- 1.- I_{cc} corriente de corto circuito (voltaje de la celda es cero).
- 2.- P_{mp} punto máximo de salida de potencia, también conocido como el punto óptimo de salida de potencia P_{op} .
- 3.- V_{oc} voltaje de circuito abierto (corriente de la celda es cero).

El punto máximo de potencia P_{mp} corresponde a la máxima eficiencia de conversión η_{max} . Este punto se localiza donde el rectángulo teniendo el área más grande puede ser dibujado dentro de la curva I-V. La curva I-V es tangente a una curva de potencia constante, también llamada una curva de iso-eficiencia en el punto P_{mp} en el cual $dP/dV = 0$. De un conjunto de varias curvas de eficiencia constante dibujadas sobre el plano de curva I-V, la eficiencia actual de la celda en operación puede estar determinada cuando la celda se encuentra en operación fuera del punto máximo de potencia.

Correspondiendo a P_{mp} existe una corriente de potencia máxima (o potencia óptima) I_{mp} y un voltaje de potencia máxima V_{mp} . Una línea recta dibujada desde el origen a través de P_{mp} representa la resistencia de carga óptima R_{Lopt} para esta celda. La pendiente de esta línea es:

$$\frac{1}{R_{Lopt}} = \frac{I_{mp}}{V_{mp}}$$

Frecuentemente, los valores para P_{mp} , V_{mp} e I_{mp} son determinados de curvas I-V obtenidas experimentalmente. Como se ve en la Fig.1.12 el punto de tangencia de la curva I-V y una curva de potencia constante no está detallada en su totalidad.

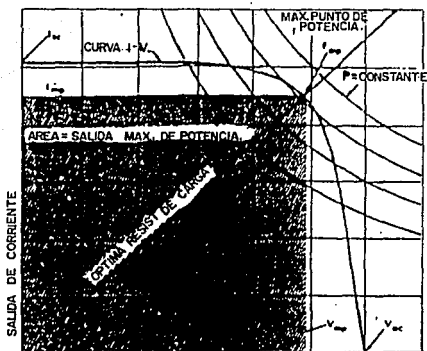


Figura 1.12

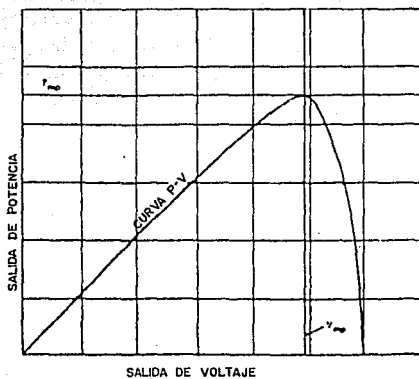


Figura 1.13

1.3.8 Eficiencia de la Energía de Conversión

La eficiencia η de una celda solar se define como:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \cdot A_c$$

donde:

P_{sal} es la potencia de salida eléctrica de la celda.

P_{ent} es la energía de entrada a la celda.

P_{ent} es el nivel de iluminación solar por unidad de área o el valor de la constante solar.

A_c es el área de celda solar activa bajo la cual la energía solar incide.

Una celda opera a su máxima eficiencia η_{max} cuando su capacidad máxima de salida de potencia es utilizada por una carga óptima en una intensidad particular de iluminación y una temperatura de operación de la celda. La eficiencia de operación de la celda η_{op} es aquella en donde la celda está utilizada actualmente. Por ejemplo, los arreglos de celdas solares son diseñados frecuentemente tales que $\eta_{op} = \eta'_{op}$ al final de la duración después de que la eficiencia de la celda solar inicial máxima η'_{max} se ha degradado debido a exposiciones ambientales en η'_{max} .

Si la potencia de carga a través de la cual el tiempo de vida permanece constante, la eficiencia actual de operación al inicio de la vida es igual a la eficiencia de operación al final de vida (por ejemplo $\eta_{op} = \eta'_{max}$) no resaltando el hecho de que la η_{max} puede ser considerablemente más grande que la η_{op} y puede ser degradado severamente durante el tiempo de vida.

La eficiencia máxima de conversión de energía de la celda solar depende principalmente de lo siguiente: (Fig 1.14).

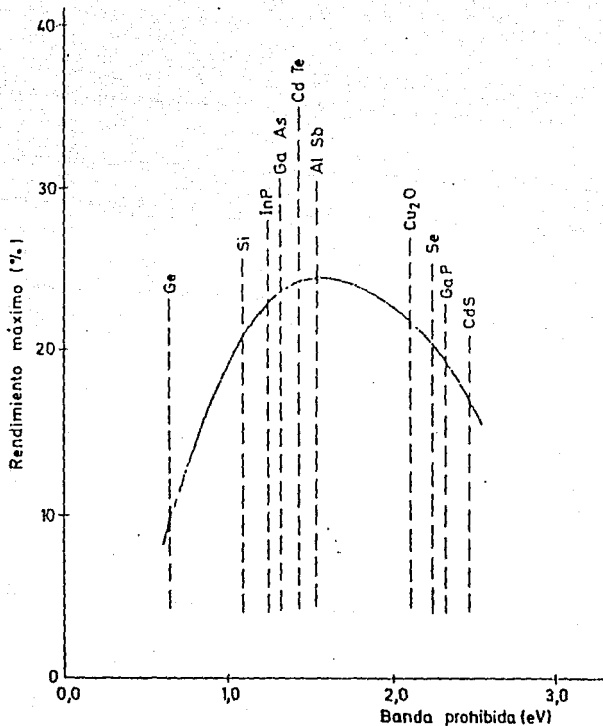


Figura 1.14 Rendimentos máximos teóricos de células solares fabricadas com diferentes semicondutores. Se pode observar que el silício no es el material que puede dar mayores rendimientos.

- a) Construcción interna de la celda solar.
- b) Dimensión.
- c) Area activa.
- d) Propiedades específicas del material.
- e) Características de unión fotovoltaica.
- f) Cobertura anti-reflejante.
- g) Textura de superficie.
- h) Configuración de contacto y parrilla.
- i) Nivel de iluminación.
- j) Temperatura de operación de la celda.
- k) Daño particular de irradiación.
- l) Ciclaje de temperatura.
- m) Otro tipo de exposición ambiental.

CAPITULO 2

CAPITULO 2

CONSIDERACIONES SOBRE LA ENERGIA SOLAR

2.1 Movimientos del sol y la tierra

Para obtener una mejor eficiencia en cuanto al aprovechamiento de la energía solar es necesario tener en cuenta los movimientos del sol y la tierra. Ante esto se debe tomar en cuenta dónde y cuando el sol sale y se pone, dependiendo de la estación del año en que se encuentre.

Hay que tener en mente los movimientos relativos del sol y la tierra puesto que no son sencillos pero sí son sistemáticos y predecibles. La tierra realiza su movimiento alrededor del sol en una órbita que es ligeramente en forma elíptica. Por ello tenemos que la tierra se encuentra un poco más alejada del sol en julio que en enero. En consecuencia se ocasiona una pequeña variación en la cantidad de energía solar que la tierra recibe. Mas o menos se habla del seis por ciento más en enero que en julio, pero que con ello se ocasiona una importancia considerable. (Fig. 2.1).

Cuando la tierra hace su revolución anual alrededor del sol, rota cada 24 horas sobre un eje que se encuentra inclinado con respecto a un plano horizontal de su propia órbita con un ángulo de 23.5° . Este ángulo es el resultado de eventos accidentales durante el nacimiento del sistema solar. Podemos decir entonces que, dicha inclinación ocasiona un mayor efecto en nuestras vidas que son las estaciones del año. Así que, considerando los países que se encuentran en la zona del hemisferio terrestre, reciben una luz solar más directa y tienen más horas de luz de día que de oscuridad, dando lugar a que el calor traiga un clima caliente. Caso contrario para los países del otro hemisferio donde al mismo

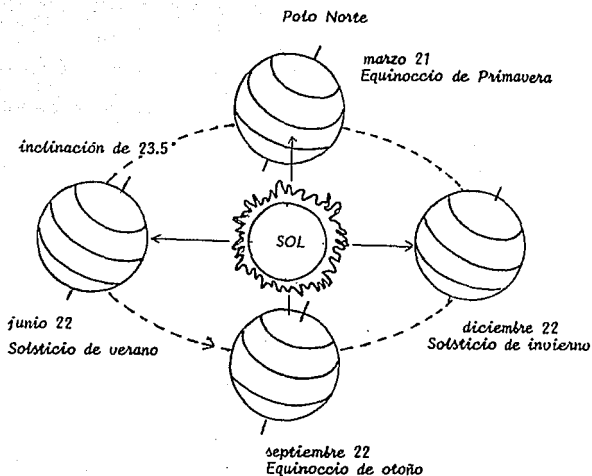


Figura 2.1 La tierra en su órbita anual alrededor del sol gira sobre un eje con una inclinación de 23.5° con respecto al plano de la órbita, la cual ocasiona variaciones en la cantidad de energía solar recibida localmente durante el año.

tiempo y considerando la misma inclinación reciben la luz solar con un ángulo oblicuo y llegando a tener más horas de oscuridad que de luz y dando una pérdida de calor y un clima frío. Cada seis meses sucede lo opuesto en los dos hemisferios. (Fig. 2.2).

2.2 Angulos del sol

Para lograr aplicaciones con la energía solar es necesario tener acertadas predicciones de donde podrá estar el sol en un determinado día del año. Para ello se establecen dos ángulos claves:

-Altitud solar con un ángulo Θ

Este ángulo se refiere a la altura del sol sobre el horizonte.

-Azimut solar con un ángulo Φ

Se refiere a la distancia del sol desde el polo sur (en grados) medidos a favor de las manecillas del reloj alrededor del horizonte.

Para la determinación gráfica de los ángulos solares, la altitud, y azimut se encuentran en varios tipos de cartas solares que son publicadas para distintas latitudes. Estas cartas pueden ser utilizadas para los países del hemisferio sur haciendo ajustes en las brújulas y en las horas del día y año.(Fig. 2.3).

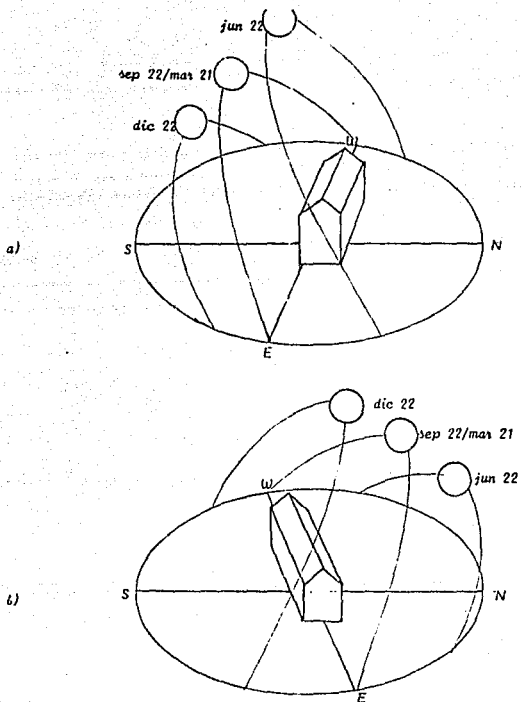


Figura 2.2 Cambios anuales en la posición del sol en el cielo para (a) hemisferio del norte y (b) hemisferio del sur

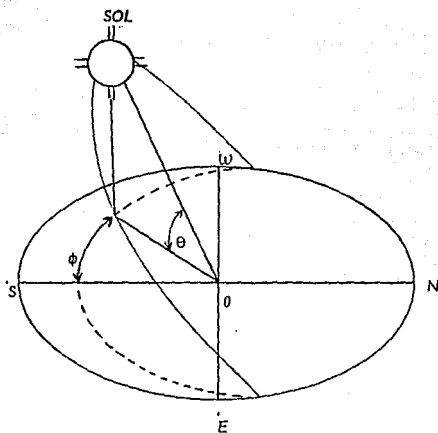


Figura 2.3 Altitud solar (θ) y azimut solar (ϕ) con respecto a un observador en O

2.3 Cómo cambiar el tiempo del reloj al tiempo solar local

- a) Si la luz de día se encuentra disponible, restar una hora de la hora del reloj.
- b) Encontrar la longitud, ya sea de un mapa o almanaque y la longitud del tiempo meridiano convencional.
- c) Multiplicar la diferencia en las dos longitudes por 4 min/grado. Si la posición se encuentra al este del meridiano estándar hay que agregar esta corrección al tiempo del reloj; si la posición es al oeste de la estándar restar esta corrección.
- d) Sumar la ecuación de la corrección del tiempo que se presenta para la órbita elíptica de la tierra y su eje inclinado (Fig. 2.4).

El resultado es el tiempo solar local.

En resumen se tiene:

- 1.- Tiempo del reloj menos una hora.
- 2.- Longitud del lugar menos meridiano estándar.
- 3.- Diferencia de las longitudes por 4 min/grado.
- 4.- Restar la corrección.
- 5.- Sumar la corrección de la ecuación del tiempo.

Para nuestro caso tenemos lo siguiente:

Suponiendo que nos encontramos en cualquier lugar de la Ciudad de México a las 10:00 A.M. en junio 25 sin importar el año y se quiere determinar el tiempo solar local.

Se tiene entonces lo siguiente:

Latitud	19° 24' N
Longitud	99° 06' W

a) Tiempo del reloj menos 1 hora

$$10:00 - 1:00 = 9:00$$

Longitud de lugar menos meridiano estándar

$$99^{\circ}06' - 90^{\circ} = 9^{\circ}06'$$

c) $9^{\circ}06' \times 4 \text{ min/grado} = 36 \text{ min}$

Restando la corrección

$$9:00 - 36 \text{ min} = 8:24$$

d) Agregando la corrección de la ecuación del tiempo

3 min para junio 25

$$8:24 + (-0:03) = 8:21$$

Por lo tanto el tiempo solar local es 8:21

Este tiempo únicamente nos servirá para determinar la altitud y azimut utilizando las cartas que se encuentran en el Apéndice D.

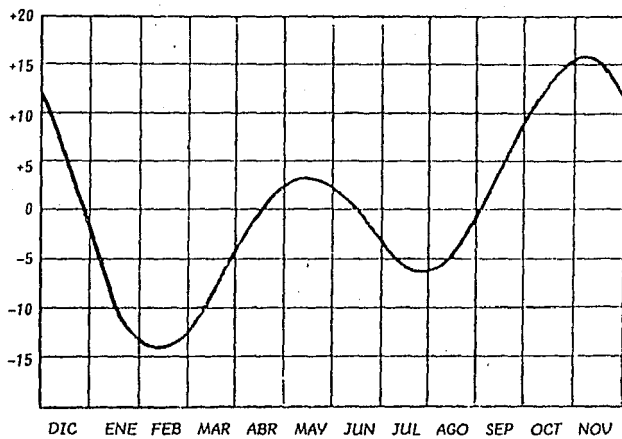


Figura 2.4 Ecuación de la corrección de Tiempo por mes

2.4 Cálculo de ángulos solares

La altitud y azimut solares se pueden encontrar con mayor exactitud aplicando las siguientes fórmulas trigonométricas^{3,4}:

$$\text{sen}\Theta = \cos L \cos\delta \cos H + \text{sen } L \text{ sen}\delta \quad (2.4.1)$$

$$\text{sen}\Phi = \cos \delta \text{ sen } H/\cos \Theta \quad (2.4.2)$$

Donde:

L (latitud) Es la distancia angular del observador que se encuentra al norte o al sur del ecuador.

δ (declinación) Es la distancia angular del sol al norte o al sur del ecuador (Fig. 2.5).

H (ángulo hora). Es la distancia angular del sol desde su punto más alto en el cielo (atardecer solar). Para encontrar H en grados hay que restar 12 horas del tiempo solar local y dividirlo entre 4 min/grado.

2.4.1 La constante solar

La intensidad de la radiación solar alcanzando el punto más alto de la atmósfera terrestre en el promedio de la distancia entre el sol y la tierra ha sido medido y su valor es alrededor de 1.353 kW/m^2 (429.2 Btu/h ft^2).

Haciendo cálculos para nuestro proyecto tenemos lo siguiente de acuerdo a una latitud en la Ciudad de México de 19° y siguiendo las ecuaciones 2.4.1 y 2.4.2 en una fecha determinada, por decir, en junio 21 a las 10 de la mañana.

Se tiene

$$L = 19^\circ$$

$$\delta = 23.5^\circ$$

$$H = 10:00 \text{ A.M.}$$

La conversión de la hora en grados se establece asumiendo que $15^\circ = 1 \text{ h}$ (ó $360^\circ = 24 \text{ h}$) por lo que para las 10:00 A.M. se tienen $150^\circ = 30^\circ$ por lo que

$$\text{sen}\Theta = \cos(19) \cos(23.5) \cos(30) + \text{sen}(19) \text{sen}(23.5)$$

$$\Theta = 61.7^\circ$$

$$\text{sen}\Phi = \frac{\cos(23.5) \text{sen}(30)}{\cos(61.7)}$$

$$\Phi = 75.6$$

Por lo tanto, la celda solar a las 10 de la mañana en junio 21 deberá tener una inclinación de 61.7° y una orientación de 75.6° con respecto al sur para lograr una mayor incidencia de rayos solares.

2.5 Atenuación por la atmósfera

Por lo común, la mitad de la radiación solar es, ya sea, absorbida por moléculas de aire o reflejada y dispersada entre nubes y partículas diminutas. Todo se debe a la masa de la atmósfera terrestre, también llamada masa de aire de una forma directa entre el observador y el sol y también se considera la cantidad de vapor de agua, polvo, ozono y otras moléculas que se encuentran en el aire. (Fig. 2.6).

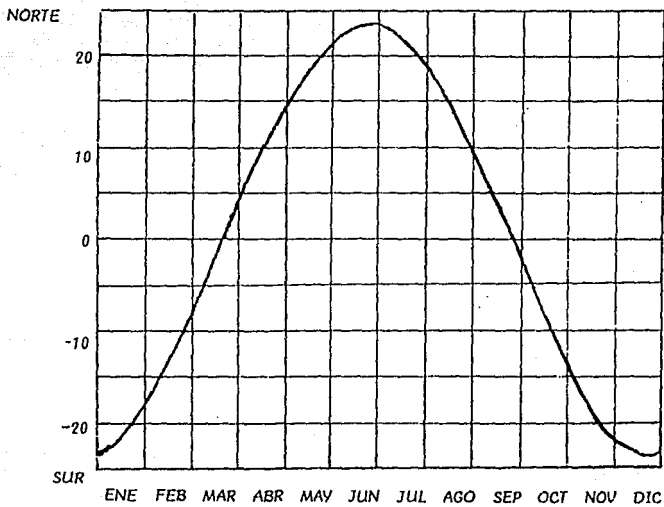


Figura 2.5 Declinación (δ) del sol, por mes

Hay que ver que cuando el cielo está despejado y a nivel del mar, la masa de aire M puede ser calculada de la ecuación $M = \sec z$ donde z es el ángulo entre el sol y el cenit. Se tiene que esta ecuación es válida siempre y cuando no se esté cerca del horizonte donde los efectos de la curvatura terrestre llega a ser considerable. (Fig. 2.7).

Por lo anterior se tiene:

- Masa de aire = 0 Radiación solar en el punto más alto de la atmósfera, es decir, antes de que ocurra atenuación.

- Masa de aire = 1 Cuando el cielo está despejado, el sol se encuentra directamente sobre la cabeza del observador, encontrándose éste a nivel del mar.

- Masa de aire = 2 Cuando el sol se mueve hacia el horizonte en un día despejado y con el observador a nivel del mar.

Se tiene que considerar que la masa de aire cambia de acuerdo a la elevación arriba del nivel del mar de acuerdo a la siguiente Tabla 2.1.

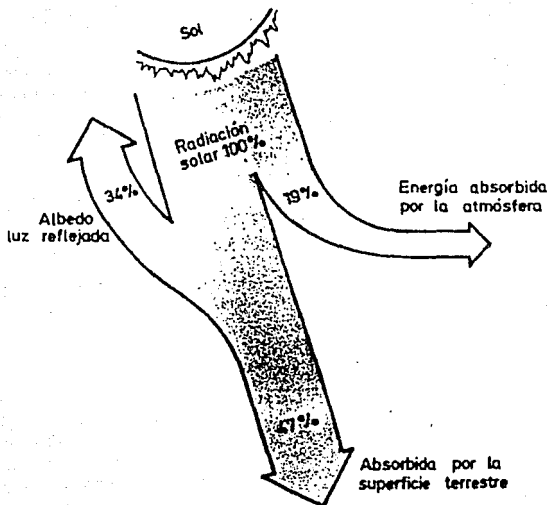


Figura 2.6 Distribución global de la radiación incidente. La fracción considerada como albedo o reflejada lo es después de incidir en la superficie terrestre.

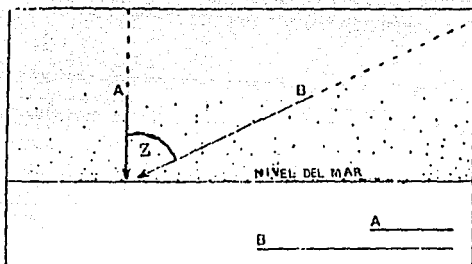


Figura 2.7 Cuando el sol se encuentra verticalmente, la radiación solar incidente sigue el camino A; en este caso, la masa de aire = 1. Cuando el sol, más bajo en el cielo, la radiación sigue un camino más largo (B) y la mayor parte de la radiación se pierde por absorción y dispersión; en este caso la masa de aire = $\sec Z$, donde Z es el ángulo entre el sol y el cenit.

TABLA 2.1

KM ARRIBA DEL NIVEL DEL MAR	MASA DE AIRE
0	1
1	0.88
2	0.78
3	0.69
4	0.61
5	0.53
6	0.47
7	0.41

Cabe aclarar que, la cantidad de atenuación es difícil de calcular cuando el cielo no está despejado y la radiación solar ha sido perdida a través de la interacción con moléculas y partículas suspendidas en el aire.

2.6 Energía Solar Útil

La radiación solar consta de longitudes de onda en el rango de 0.3 a 2.4 μm . Para las aplicaciones de energía solar, la radiación en el rango visible oscila entre 0.38 a 0.78 μm y del orden cercano al infrarrojo se encuentra entre 0.78 a 2 μm considerándose esta última la más importante. (Tabla 2.2 y Fig. 2.8).

Las mediciones de la intensidad de energía solar a nivel del suelo son esencialmente registradas como una radiación total sobre una superficie horizontal. Por lo común, esta cantidad también se le conoce como insolación o radiación global, la cual se mide con un piranómetro que produce un potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre una superficie negra (la cual absorbe la mayor parte de la radiación solar y una superficie blanca o una superficie sombreada) la cual absorbe pequeña radiación solar. Esta información se reporta en una variedad de unidades de energía - densidad: langley, cal/cm^2 , J/cm^2 , kWh/cm^2 y Btu/ft^2 (Tabla 2.3).

Para una región del norte de Europa, por ejemplo, se tiene que en un día soleado con un clima desértico, el promedio de insolación oscila entre 150 cal/cm^2 (554 Btu/ft^2) por día. Si una superficie se encuentra expuesta continuamente hacia el sol en regiones áridas, el promedio anual de insolación puede ser tan alto como 700 cal/cm^2 , (2580 Btu/ft^2) por día.

La radiación solar total consta de 3 componentes fundamentales: (Fig. 2.9).

Radiación directa

Proviene del sol en línea recta y puede proyectar sombras. Es la componente que produce el efecto de calor más grande.

TABLA 2.2

DISTRIBUCION DE LONGITUD DE ONDA DE LA RADIACION DEL SOL (ARRIBA DE LA ATMOSFERA)

LONG. DE ONDA (μm)	FRACCION DEL TOTAL	FLUJO DE ENERGIA POR FRACCION
0.00 - 0.38 (GAMMA A ULTRAVIOLETA)	0.0700	95 W/m ² 30 Btu/h ft ²
0.38-0.78 (VISIBLE)	0.4729	640 W/m ² 203 Btu/h ft ²
0.78- 2.0 (CERCANO A INFRARROJO)	0.3920	530 W/m ² 168 Btu/h ft ²
2.0 - ∞ (INFRARROJO A RADIO)	0.0651	88 W/m ² 28 Btu/h ft ²

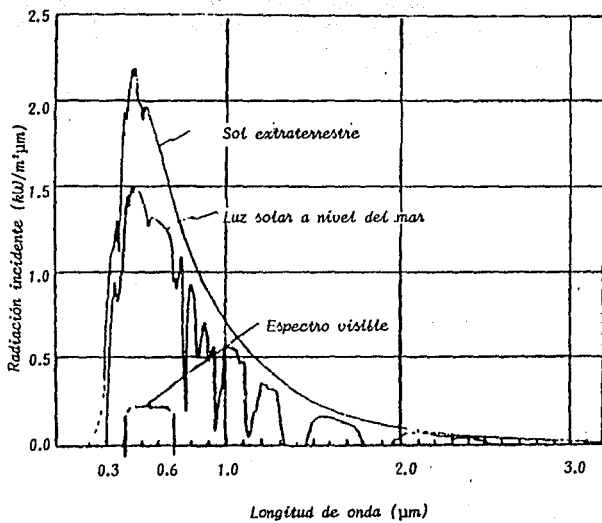


Figura 2.8

TABLA 2.3

FACTORES DE CONVERSION DE ENERGIA-DENSIDAD

1 KW/m²	316.96 Btu/ft² 3600 kJ/m² 360 J/cm² 86.06 cal/cm² 86.06 langley
1 Btu/ft²	3.155x10⁻³ KWh/m² 11.358 kJ/m² 1.13538 J/cm² 0.27125 cal/cm² 0.27125 langley
1 langley	1.000 cal/cm² 3.687 Btu/ft² 0.01162 KWh/m²

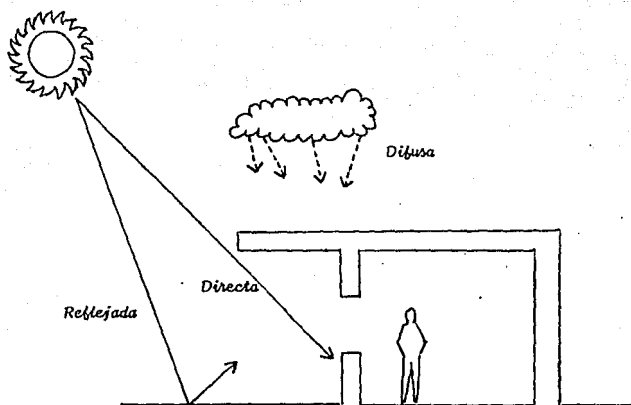


Figura 2.9 La radiación solar incide bajo tres formas: directamente, disminuida por nubes y reflejada desde la superficie adyacente.

-Radiación difusa

La radiación difusa ha sido esparcida una o más veces por partículas o moléculas suspendidas en el aire. En un día despejado, la componente difusa asciende de 10 a 20% de la radiación solar total.

- Radiación reflejada

Proviene de superficies como edificios, bardas y el propio suelo.

La energía solar recibida por la tierra tiene tres características peculiares que causan problemas para lograr con ella aplicaciones importantes que son:

-Se diluye

A pesar de que la cantidad total de radiación solar es grande, requiere de grandes terrenos para obtener una cantidad de energía útil la cual eleva el costo de comprar e instalar equipos de energía solar.

-Es variable

La intensidad de radiación solar siempre se encuentra gobernada por los cambios que ocurren durante el día y por las distintas estaciones del año, por lo cual es necesario almacenar grandes cantidades de calor o proporcionar un sistema de retroalimentación. Lo anterior aumenta el costo y complejidad del sistema.

-Es Intermitente

La energía solar está sujeto a interferencias al pasar entre nubes. Se debe considerar lo anterior para obtener una mayor eficiencia en el sistema implantado.

2.7 Estimación de la insolación

Cuando se planea una instalación solar, es conveniente tener una acertada estimación de la insolación en el lugar donde se encuentre.

La mayor forma de determinar la cantidad de energía solar útil en un cierto lugar se hace con mediciones durante varios años. De hecho es la única forma de tener una información precisa del lugar en cuestión. Otra forma de obtención de datos certera es la de utilizar mapas o cartas de la distribución de radiación solar. (Fig. 2.10 y Apéndices A, B y D).

Muchas fuentes de información sobre energía solar detallan la radiación sobre superficies horizontales. Para hacer aplicaciones con esta información es necesario hacer cálculos trigonométricos para estimar la relación de radiación de directa a difusa.

2.8 Efectos climatológicos

La mayoría de la información sobre radiación solar no toman en consideración el efecto de las nubes aun estando o dando por hecho que el cielo se encuentre despejado. Es por ello que las variaciones, ya sea, con interrupciones por nubes, polvo o humedad atmosférica son muy importantes para determinar el nivel verdadero de insolación de cualquier lugar. Por tanto, la información del clima local es necesaria para corregir los valores medidos de insolación de un día despejado para las condiciones atmosféricas.

Cuando se hace la determinación de la insolación con la falta de mediciones específicas del lugar, existe casi siempre un grado de incertidumbre si el cielo se pondrá nublado.

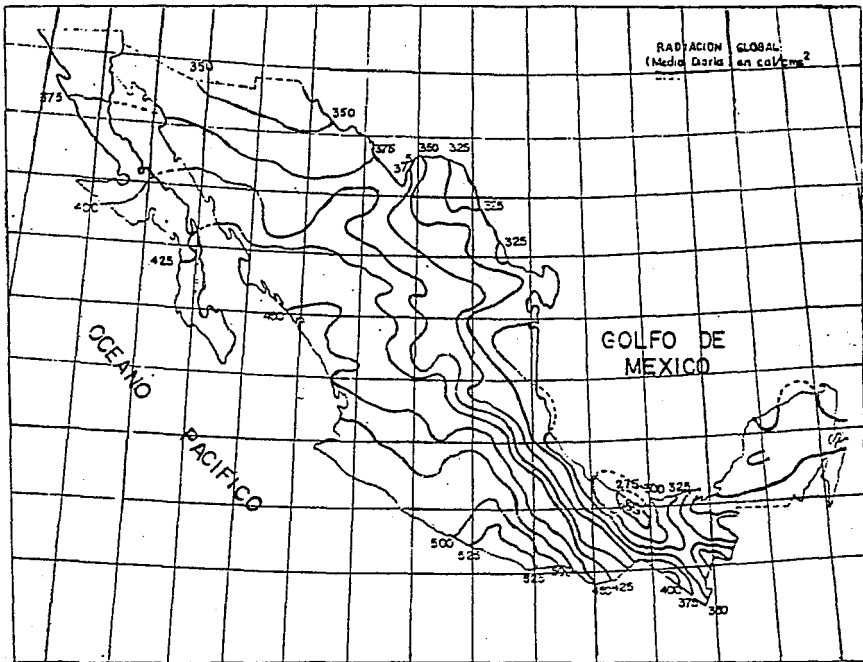


Figura 2.10

CAPITULO 3

CAPITULO 3

MERCADO DE LAS CELDAS SOLARES

3.1 Situación

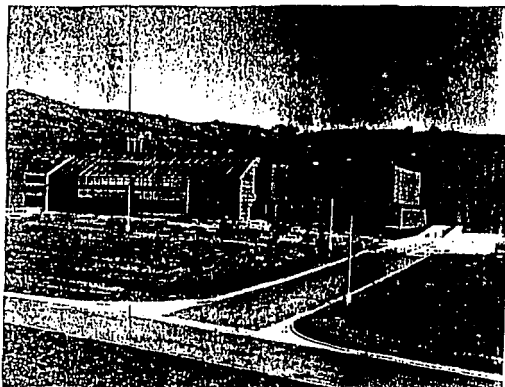
A raíz de la invención de las celdas solares en los años 50's, los sistemas fotovoltaicos cubrieron un pequeño pero importante campo que fue el de los satélites espaciales. No fue sino hasta los años 70's donde tuvieron auge los desarrollos de los laboratorios, los cuales promovieron la conversión de energía en un 30% y dando nacimiento a la industria fotovoltaica para aplicaciones terrestres.

Los científicos que han desarrollado la tarea de investigar a fondo la conversión de energía, no sólo se han encaminado a difundir esta tecnología con fines en aplicaciones terrestres, sino convertir esta fuente de energía en la más importante de la tierra. (Fig 3.1).

Para reducir costos se introdujo primeramente una gran producción de celdas cristalinas de grandes dimensiones. La innovación posterior fue la del silicio semicristalino, el cual se convirtió en el primer material tecnológico en bruto desarrollado específicamente para la industria fotovoltaica.

En 1984, la compañía norteamericana Solarex® se convirtió en la primera en producir módulos de silicio amorfo y éstos se consideran la tercera generación de la tecnología para uso comercial. (Fig 3.2).

A través de los años 80's, los costos de los sistemas fotovoltaicos han sido reducidos a medida que las eficiencias de las celdas han mejorado. El mercado ha respondido de acuerdo al crecimiento en la producción. Para la mayoría de las aplicaciones, los módulos semicristalinos constituyen la tecnología de vanguardia.



*Figura 3.1 Instituto de Investigación de la Energía Solar
en Golden, Colorado, EUA*

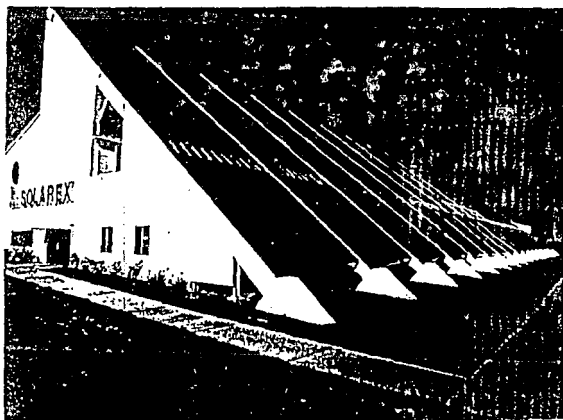


Figura 3.2 Solarex, empresa que se ha expandido rápidamente y que se encuentra entre una de las más grandes fabricantes de equipo fotovoltaico.

El costo actual de las celdas solares limita que el desarrollo del mercado se haga más amplio. Como resultado, tanto el gobierno de Estados Unidos como científicos de distintas compañías han centrado su atención sobre el silicio amorfo como una tecnología clave capaz de ser producido en un precio menor a 1 dólar por watt pico. (Fig. 3.3).

El gobierno de Estados Unidos y un consorcio industrial están acelerando a grandes pasos la introducción comercial de paneles de silicio amorfo que puedan ser competentes dentro de mercados domésticos y extranjeros.

Tanto el Departamento de Energía de EUA como diversas instituciones se encaminan a promover los módulos de silicio amorfo para aplicaciones eléctricas como una alternativa aceptable tanto en cuestiones políticas, económicas y ambientales para la industria petrolera, carbonífera o plantas de energía nuclear.

La competencia del mercado de sistemas fotovoltaicos es intensa. Más de 100 compañías extranjeras, muchas de ellas directamente subsidiadas por sus gobiernos, disputan por conseguir el liderazgo en este mercado en expansión. Tal es el caso de la compañía japonesa Kyocera® Corporation o de la compañía sueca SIEMENS® donde ésta última ofrece el lanzamiento al mercado de una celda hecha con materiales a base de cobre-indio-selenuro, que reune con estas características una potencia notablemente mayor. (Fig 3.4).

El ritmo de crecimiento va a aumentar en los próximos años por un motivo: en la última década la tecnología fotovoltaica se ha perfeccionado en los laboratorios americanos, europeos y japoneses, hasta el punto de permitir la producción industrial. A principios de los años 80's, la primera materia prima utilizada, el costoso silicio monocristalino, con el que también se hacen los chips electrónicos, convertía el 12 por

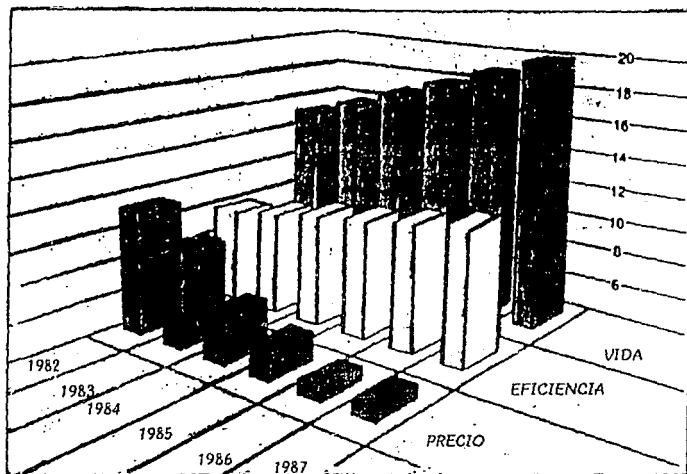


Figura 3.3 Firme progreso en la tecnología de los módulos fotovoltaicos y en el abaratamiento de los costos junto con el mejoramiento en la vida y eficiencia.

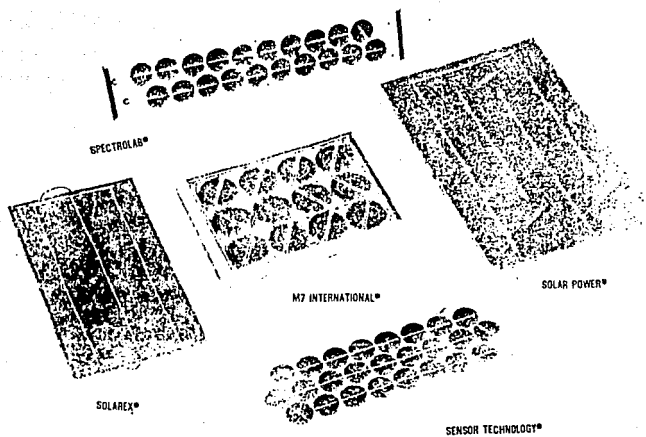


Figura 3.4 Cinco fuertes fabricantes de módulos solares

ciento de la energía solar en electricidad. Actualmente, los monocristales producidos en serie consiguen una cuarta parte más de rendimiento. El más reciente record de laboratorio -logrado en Sidney- alcanza casi el 25 por ciento.

Por otra parte, mucho más barato que el anterior es el silicio policristalino, desarrollado en Estados Unidos y en la República Federal Alemana, que ya se produce en serie. El policristalino aumentó su rendimiento de un 10 a un 14 por ciento. La empresa japonesa Kyocera®, que fabrica el material bajo licencia de los alemanes, presentaba recientemente un record de laboratorio del 15.7 por ciento.

Sin un apoyo gubernamental, las compañías de la energía solar encuentran difícil permanecer en el mercado sin hablar de tener una vanguardia de tecnología para el cliente.

Para producir a un dólar el watt con celdas solares amorfas requiere de un tremendo esfuerzo, por lo que para una compañía es difícil "comerse el pastel entero".

La estrategia de ciertas compañías en EUA es situarse paulatinamente para ganarse clientes que acostumbrados a comprar celdas semicristalinas, se inclinen por celdas de silicio amorfo. En el futuro, ambas tecnologías requerirán de satisfacer económicamente el amplio campo de las aplicaciones con celdas solares.

CAPITULO 4

CAPITULO 4

GENERALIDADES SOBRE LOS SEMAFOROS DE LA CIUDAD DE MEXICO

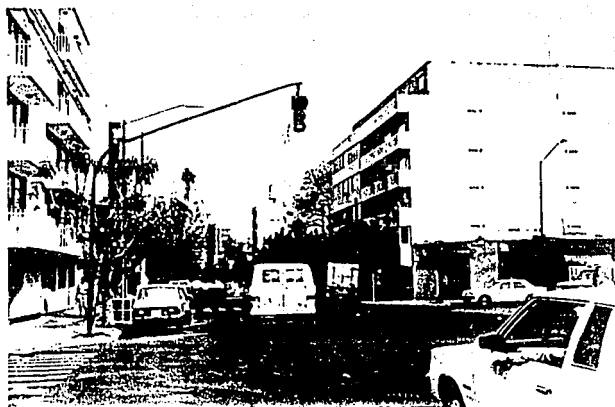
4.1 Consideraciones

Al implementar un sistema fotovoltaico para aplicarse en los semáforos de la Ciudad de México, se debe tomar en cuenta que no todos los semáforos son iguales y que según el lugar en donde se encuentren se les podrá establecer una jerarquía.

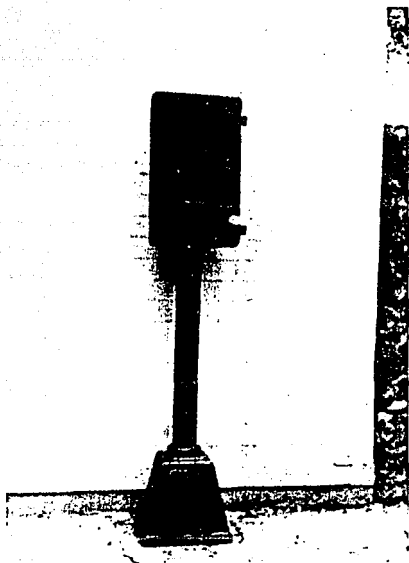
Primeramente se toman en cuenta los semáforos de las calles en donde no existe mucho tránsito y que su existencia radica en la no implantación de los usuales topes. (Fot. 4.1 y 4.2). Posteriormente se tienen los semáforos que poseen cierta sincronía en su funcionamiento y que dan servicio a las avenidas con mayor congestionamiento vial. Finalmente nos enfocamos hacia los semáforos de los ejes viales que poseen un sistema de control computarizado localizado en la Dirección de Control de Tránsito de la Ciudad de México. Estos semáforos agilizan considerablemente el gran caos vial que se tendría sin su existencia. (Fot. 4.3-4.6).

Este trabajo, establece la necesidad de utilizar celdas solares a los semáforos capitalinos de los ejes viales para dar una mayor fluidez al tránsito que se pudiese presentar al existir una falla en el suministro eléctrico.

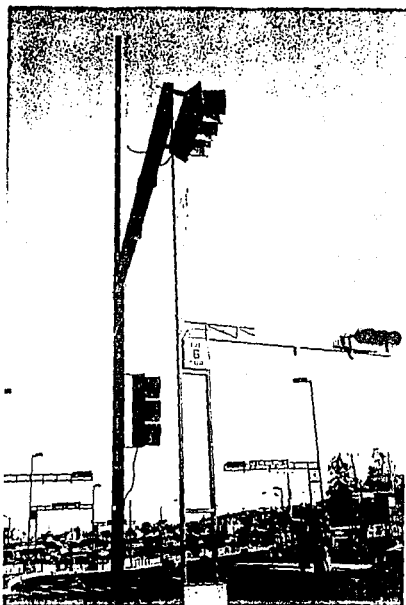
Si bien es sabido por todos nosotros, al existir fallas en el suministro eléctrico siempre existe un embotellamiento en las avenidas. Esto, en consecuencia, trae consigo diversos problemas como son: (Fot. 4.7)



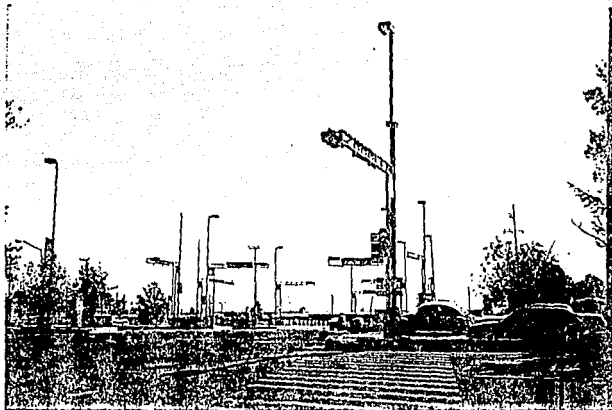
Fotografía 4.1 Aspecto de un semáforo de una calle sin mucho tránsito



*Fotografía 4.2 Control de semáforos para calles
sin mucho tránsito*



Fotografía 4.3 Semáforos de ejes viales



Fotografía 4.4 Semáforos de ejes viales



Fotografía 4.5 Señaleros de ejes vitales



Fotografía 4.6 Semáforos de ejes viales



Fotografía 4.7 Problemas viales ocasionados por la falta de suministro eléctrico

- a) Pérdida de tiempo al trasladarse de un punto a otro.
- b) La gran contaminación generada por vehículos con el motor encendido.
- c) Gastos de consumo de combustible innecesarios.
- d) Trastornos tanto psíquicos como corporales.

Los vehículos privados en circulación presentan emisiones de partículas de azufre, carbono, nitrógeno, hidrógeno y otras consideradas como "venenosas" al aire de la ciudad; los taxis alcanzan un registro de 343,000 ton anuales de los mismos componentes; los colectivos en el D.F. llegan a 299,798 ton y los del Edo. de México 82,088 ton. Los camiones de carga presentan una emisión de 865,675 ton, el transporte de carga a diesel 70,920 ton y los ruta 100, 22,221 ton anuales.

Un recurso que nos da una mejora considerable ante esta situación es la utilización de los sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad

La adaptación de los sistemas fotovoltaicos repercutirá en la adecuada posición del panel solar en el poste de los semáforos. Si bien, los postes de los ejes viales son iguales en su mayoría, no habrá ningún inconveniente en producir en serie la forma de sujeción del panel al poste. Lo único que se tendrá que hacer es orientar el panel solar hacia la posición del sol siguiendo los lineamientos establecidos en el capítulo 2.

4.2 Características nominales de los semáforos

Según investigaciones realizadas en el campo, se establece que los semáforos operan con corriente alterna, 60 Hz, 220V como entrada de alimentación y entregan una potencia de salida de 50W,10V, corriente alterna en los faros de halógeno. (Fig. 4.1).

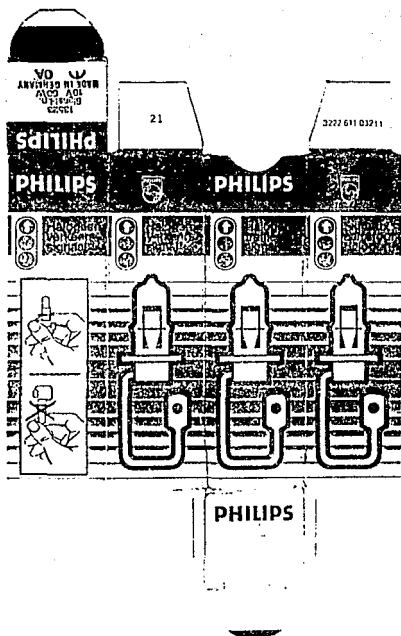


Figura 4.1 Aspecto de la caja que contiene a los focos de los semáforos de los ejes viales donde se aprecian sus especificaciones

4.3 Selección del módulo

Tomando en consideración las características nominales se propone la forma de cumplir estos requerimientos, para lo cual, se busca en distintos catálogos proporcionados por varias compañías los módulos que se adecúen a las especificaciones requeridas para este propósito.

Se tiene entonces que, según el catálogo de la compañía SOLAREX existe un módulo de alta potencia con una potencia nominal pico de 50W dando una potencia garantizada pico de 50W (MSX-50). Su corriente a un voltaje pico de 15.5 V es de 3A, la corriente a un voltaje de operación de 15V es de 3.3A.

Se entiende como potencia pico, la máxima cantidad de potencia adquirida del módulo bajo condiciones de prueba estándar (STC) que son:

- Insolación de 1 kW/m²
- Temperatura de celda de 25 °C.

Dando las descripciones físicas del panel se tienen las siguientes medidas:

- longitud de 110.9 cm
- ancho de 50.2 cm
- espesor de 5.41 cm
- peso de 7.2 kg.

4.4 Qué elementos constituyen el sistema fotovoltaico

Los elementos principales son: el módulo fotovoltaico (o agrupación de módulos interconectados), el controlador de carga, la batería, y el inversor de corriente directa a corriente alterna.

El módulo fotovoltaico capta la energía proveniente del sol y la transforma en corriente directa.

Cuando la energía va a utilizarse durante las horas de insolación y la carga que va a recibirla funciona con corriente directa únicamente, se tendrá que conectar directamente el módulo a la carga.

Cuando la energía se requiere constantemente (noche, días nublados) es necesario contar con un banco de almacenamiento de energía (baterías).

La función del controlador es proteger el banco de baterías para que éstas no sufran cargas o descargas excesivas. Además, permite verificar y proteger el funcionamiento del sistema.

El banco de baterías está conectado al controlador y almacena toda la energía generada durante las horas de insolación y la transmite a la carga acoplada tanto de día como de noche.

La función del inversor es transformar la corriente directa de las baterías en corriente alterna. (Fig. 4.2).

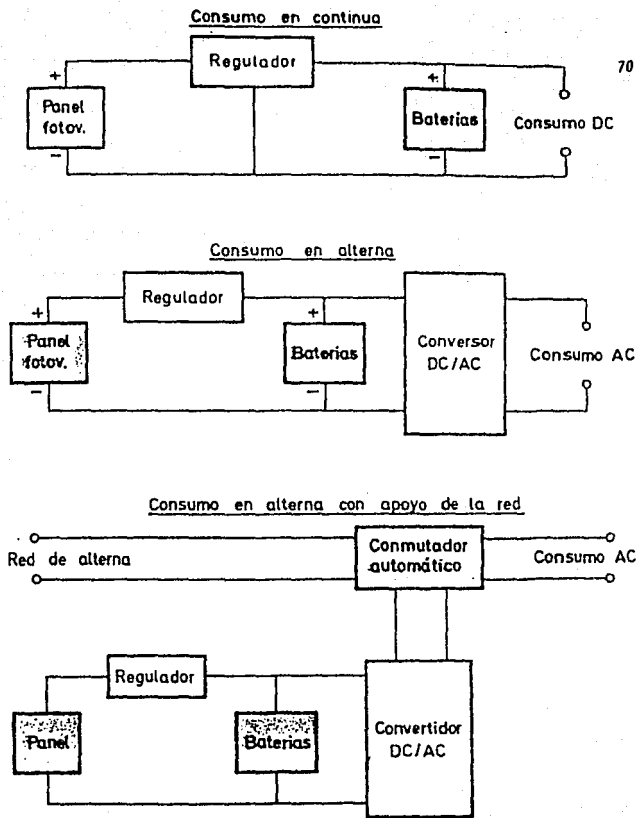


Figura 4.2 Diagrama de estructura de los generadores fotovoltaicos que alimentan diferentes posibles consumos. Se señalan los componentes más importantes, pero en esto también introduce variaciones cada diseñador

Para nuestro proyecto se requerirá utilizar el panel solar acoplado a un controlador de carga seguido de un banco de baterías, ya que el objetivo principal será utilizar la energía solar cuando existan interrupciones del suministro eléctrico.

Posteriormente, del banco de baterías se unirá al Inversor ya que se requiere corriente alterna para los focos de los semáforos. (Fig. 4.3).

Los focos de los semáforos son de halógeno y operan con corriente alterna de 10 a 12 V en su mayoría. Debido a que el suministro eléctrico entra con un voltaje de 220V éste es disminuido en cada uno de los focos con la ayuda de un transformador individual, es decir, para cada cambio de luz en la cabeza del semáforo (rojo, ámbar, y verde) existe un transformador por cada luz.

El cambio de luz de cada semáforo está controlado por un microprocesador gobernado éste por la Dirección de Control de Tránsito o la Ingeniería de Tránsito de la Ciudad de México. (Fig. 4.4).

Si bien, podemos ver que, si los microprocesadores operan con 220V, se tendrá que hacer ciertos ajustes para poder hacer funcionar nuestro sistema sin la ayuda de nadie.

Se tendrá entonces que diseñar un microprocesador que opere a 127V ya que es lo que nos proporciona el Inversor de corriente directa a alterna, o lo más simple, cambiar el voltaje de entrada para el microprocesador original. (Fig. 4.5).

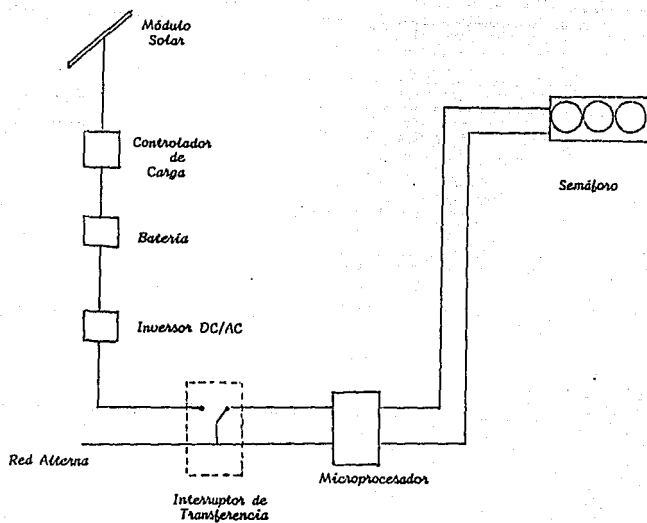


Figura 4.3 Diagrama unifilar de conexiones del sistema propuesto

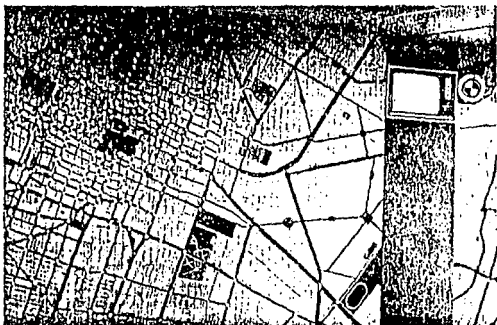


Figura 4.4 Mapa luminoso de la Dirección de Control de Tránsito de la Ciudad de México

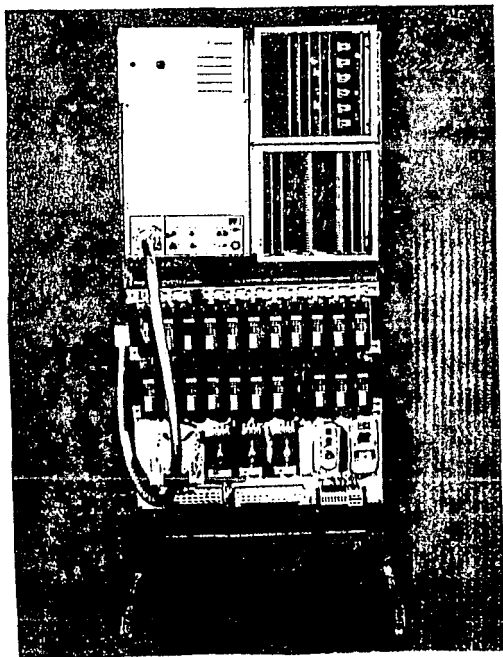


Figura 4.5 Subsistema local con tecnología electrónica-electromecánica

Para cada cruceo conflictivo basta con que operen dos de los cuatro semáforos que existen, esto por simplicidad y ahorro. Lo más conveniente es que se implanten dos sistemas en los dos postes en forma diagonal que comprendan:

- módulo
- controlador de carga
- batería
- inversor
- microprocesador

De lo anterior se desprende que si un sistema se implanta en el lado derecho antes del cruceo y el otro sistema se instala en el lado izquierdo después del cruceo, tendríamos mayor agilidad en el tránsito ya que la visibilidad para el conductor se ampliaría y se tendría un ahorro en la instalación de dos sistemas adicionales.

Los transformadores individuales para cada foco del semáforo operan con 220V para el devanado primario. A ellos se les tendría que cambiar el voltaje de entrada a uno que pudiese operar tanto a 220 V como a 127 V. Estos transformadores trabajarían alternadamente, es decir, si reciben un voltaje de 220 V operarían con el suministro eléctrico normal pero si reciben un voltaje menor (200 V o menos) operarían con el voltaje proporcionado por el módulo y su correspondiente inversor.

Lo anterior quiere decir que, podemos tener una ventaja adicional en el sentido de que si existe una disminución en el suministro eléctrico, el semáforo operaría normalmente, ya que la variación en el voltaje no hace que se pierda el funcionamiento óptimo del semáforo.

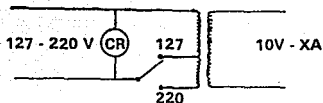


Fig. 4.6 Interruptor de transferencia

Por lo que respecta al transformador vemos que el interruptor cambiará de posición dependiendo del voltaje de entrada. Este interruptor no es más que un relevador que se energiza según el voltaje suministrado.

En la línea de 220V se conectará en paralelo una bobina que hace la función de sensar el relevador para hacer el cambio de voltaje de 220 V a 127 V o viceversa. Esta bobina al proporcionarle 220 V entregará una corriente de 7.6mA. Lo anterior constituye el interruptor de transferencia como se aprecia en la Fig. 4.6.

4.5 Formas de sujeción de las celdas solares

Dentro de las formas de sujeción de las celdas solares se encuentran las que son para los módulos sencillos de 30W o menos, que poseen la versatilidad de ajustarse para todas las latitudes.

Las de módulos sencillos de tamaño mayor son utilizadas para sujetar módulos arriba de 30W y darles una orientación al módulo ya sea en forma vertical u horizontal. Este tipo de sujeción es ajustable al ángulo de inclinación para diferentes latitudes. (Fig. 4.7).

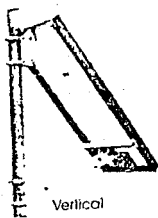
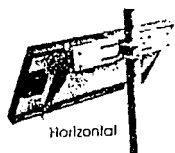


Figura 4.7 Formas de sujeción de las celdas solares

Las formas de sujeción para arreglos de cuatro módulos en adelante con una potencia de 30 W se pueden adaptar a un poste u otras estructuras con los módulos en una orientación horizontal.

Para arreglos grandes de celdas solares se utilizan soportes a base de barras dentadas. Estos soportes están hechos con tubos de acero galvanizado para máxima firmeza y resistencia a la corrosión. Estos soportes son excelentes para montar arreglos arriba del nivel del suelo. (Fig. 4.8).

En base al análisis de las distintas formas de sujeción, para nuestro propósito se necesita elegir la que se destina para módulos arriba de 30W ya que se encuentra en el rango de nuestra necesidad y encontrar que se puede utilizar ya sea en forma vertical u horizontal.

Es importante ver que de acuerdo a nuestra alternativa de sujeción será necesario montar el panel solar a una altura en la que el acceso sea únicamente para el personal con vehículos especiales para su adaptación y mantenimiento.

La colocación del panel al poste en un lugar alto tendrá el fin de no ser sometido el panel a daños producidos por vandalismo.

Para la adaptación tanto del banco de baterías como el inversor y el controlador de carga, se podrán situar en un lugar subterráneo cerca de la estructura del poste.

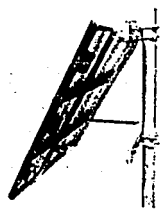
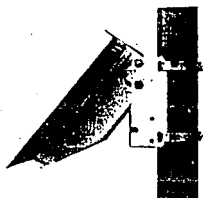
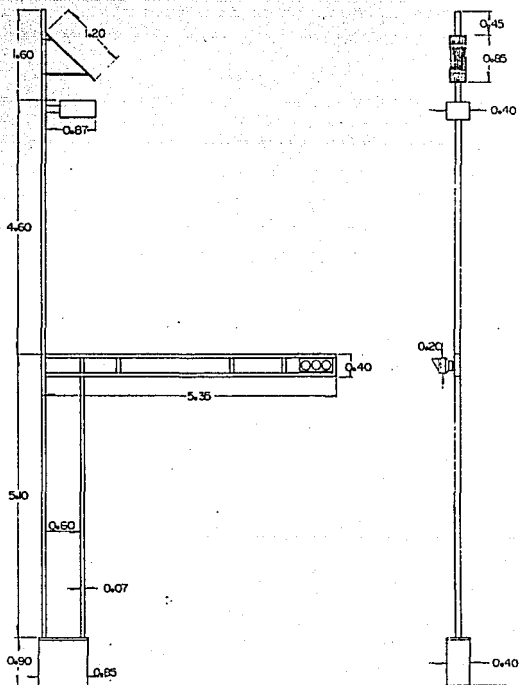
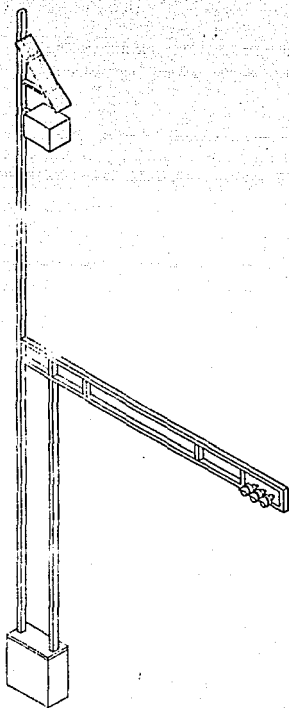


Figura 4.8 Formas de sujeción de las celdas solares



TÍTULO		UNIVERSIDAD PANAMERICANA
ESCALA	ALTERNATIVA DE ADAPTACIÓN DE CELDAS SOLARES A DOMAFOROS DE CIELES VALES	
1:30	DISEÑO	ALFONSO GARCIA TORRES
AUTÓNOMO	FECHA	AGOSTO - 25 - 1958
MÍN.	FECHA	



ESCALA	1:100	UNIVERSIDAD PANAMERICANA
1:150	ALTERNATIVA DE ADAPTACION DE CERCAS SOLARES A SEMAFOROS DE EJES VALES	ESCUOLA DE INGENIERIA
ADPTACION	DISEÑO	ALCANTARA GARCIA TORRES
S/A	FECHA	AGOSTO-90 - 1990
		SECRETARIO

CAPITULO 5

CAPITULO 5

EVALUACION DEL PROYECTO

Para realizar la evaluación del proyecto se ha obtenido de diversas fuentes sus respectivas cotizaciones con el fin de tener un estudio más amplio. De lo anterior se tiene que la compañía norteamericana SOLAREX® presenta una cotización vigente a agosto 1, 1989 sobre el tipo de módulo seleccionado. Considerando una inflación del orden del 4% anualmente en los Estados Unidos podemos establecer el precio aproximado para 1992.

Se tiene entonces un precio de lista de:

\$496.10 USD

Multiplicando este valor por 4% anual se tiene que para 1992 el precio es de aproximadamente

\$558.00 USD

Este precio a medida que la cantidad de módulos que se piden crezca disminuye hasta cierto punto, por lo que si se ordenan grandes cantidades de módulos el precio tendrá un atractivo.

Se tiene que tomar en cuenta que estos precios son Libre a Bordo (L.A.B.) Planta Solarex por lo que se tendrá que multiplicar este precio por el arancel al que se someta. En términos generales podemos decir que, el máximo valor del arancel es del 20%. Únicamente se tendrá que multiplicar el precio original por su impuesto más los gastos de fletes.

Estos módulos ofrecen una vida útil de 10 años por lo que al cabo de estos años la inversión inicial se ha pagado. Sin embargo, existen otras compañías en México que ofrecen mejores opciones.

La compañía mexicana HELIOTECNICA S.A. DE C.V. presenta una cotización vigente a mayo de 1992 con respecto a un sistema que comprende módulo de 50W con un banco de baterías y u regulador con el precio de \$3'840,000.00 con IVA incluido. El módulo puede ser marca TELEFUNKEN® (Alemania), KYOCERA® (Japón) o SOVONICS® (EUA).

De lo anterior podemos ver que el precio de los módulos solares así como sus componentes no es muy costoso y que dada la vida útil de operación a la que pueden llegar (20 años) esta cantidad se paga en un lapso no mayor a 10 años. Si se requiere una cantidad bastante considerable de sistemas se logra una reducción muy favorable en el precio.

Por otro lado la compañía mexicana CONDUMEX® ofrece al mercado nacional un módulo de 48 W con la cual también se puede desarrollar este proyecto con un costo de \$1'500,000.00. Este módulo solar es de marca alemana SIEMENS®. El sistema en sí se comprende de un módulo de 48W, un controlador de carga fabricado por CONDUMEX®, es decir, fabricación nacional, un inversor pequeño de CD a CA, también de fabricación nacional que proporciona una salida de potencia de 400W con una duración de 10 horas y una batería de tipo automotriz sellada y libre de mantenimiento marca DELCO® que proporciona una salida de corriente de 80A. Se requiere para este sistema el uso de cable del tipo UV para intemperie, el cual tiene un costo de \$8,000.00 el metro. La cantidad de metros variará dependiendo de las necesidades por lo que se deberá tener en cuenta esto.

El sistema entonces tendrá un costo de \$2'744,000.00 tomando en cuenta que se utilizan 15 m de cable aproximadamente por instalación.

Para la determinación de la conveniencia económica de nuestro proyecto se descarta la primera opción de compra (presentada por SOLAREX®) debido a que posee una vida útil muy corta en comparación con las otras dos. Se examina lo siguiente de acuerdo al método del valor capitalizado:

	<u>HELIOTECNICA</u>	<u>CONDUMEX</u>
Primer costo (miles de pesos)	3,840	2,744
Vida de servicio (años)	20	25
Valor de desecho (miles de pesos)	1,000	1,000
Desembolsos anuales de operación (miles de pesos)	100	100
Rendimiento mínimo sobre la inversión = 10%		
Se tiene entonces lo siguiente:		
Inversión inicial	3,840	2,744
Reposiciones (3,840 - 1,000) (A/F, 10%,20)/0.10	495.864	
(2,744 - 1,000) (A/F, 10%,25)/0.10		177.364
Desembolsos anuales 100/0.10	<u>1,000</u>	<u>1,000</u>
Costo anual capitalizado	5,335.864	3,921.364

Por lo tanto el sistema presentado por CONDUMEX® ofrece la mejor elección al poseer el menor costo capitalizado.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La adaptación de celdas solares a los semáforos no altera en ningún momento el sistema que se utiliza en la actualidad sino que viene a ser un equipo adicional, el cual traerá mayores beneficios.

El sistema examinado tendrá que ser utilizado únicamente en los casos en donde existan fallas en el suministro eléctrico debido a que la eficiencia que presenta no es tan grande como la que existe normalmente. Este sistema tampoco se puede utilizar como una sustitución al consumo de energía eléctrica normal.

Se ha visto que los paneles solares generan una gran cantidad de energía eléctrica pero siempre debe existir algo que los respalde, en este caso, las baterías que proporcionarían energía cuando no exista insolación (noche, días nublados).

Para nuestro propósito, el hecho de darle agilidad al tránsito representa un problema temporal para lo cual, nuestro sistema nos ofrece esa opción. Si se adapta nuestro sistema en forma permanente, corremos el riesgo de que a las baterías se les acabe la carga en un lapso no mayor a 7 horas, por lo que éstas deberán ser cargadas mediante otra fuente de energía como sería la ayuda de otra batería cargada y esto representaría un trabajo excesivo para el personal encargado de esto.

Podemos ver también que, cuando existen interrupciones en el suministro eléctrico, éstas se resuelven por lo general, en un tiempo menor a 4 horas, por lo que nuestro sistema sería de gran ayuda en ese intervalo. En situaciones muy complicadas o en caso de siniestros, nuestro sistema también sería de gran ayuda para lo cual la gente que esté encargada, ya sea del mantenimiento o de las que conozcan el principio de funcionamiento del mismo, tendrán que saber como actuar para poderle proporcionar al ciudadano el mejor servicio.

El sistema propuesto como podemos ver no representa una inversión muy considerable para el Gobierno ya que dada su utilidad el costo se paga en un lapso no mayor a 10 años.

Después de analizar los distintos tipos de módulos que existen, podemos darnos cuenta que debido a su abundancia en la naturaleza, el silicio representa un material muy favorable para la construcción de módulos. El mejor módulo solar comercial que se tiene al alcance es el de silicio monocristalino.

En principio, los módulos que se utilicen tendrán que ser importados, pero esto nos da la pauta para crear en nuestro país una tecnología autosuficiente. Esto por consiguiente nos traería una reducción en el costo del sistema entre otras ventajas adicionales como la de generar nuevos empleos.

Si bien podemos ver que, las celdas solares de silicio monocristalino ofrecen en la actualidad la mejor opción en cuanto a costo y funcionalidad, no hay que descartar la idea de que en el futuro se fabriquen otras celdas de mayor calidad y de menor costo.

La idea de adaptar celdas solares a los semáforos para lograr una mejor agilidad del tránsito, no da pie a que el funcionamiento se realice con único propósito de dar servicio en casos de falla de suministro eléctrico sino que se podrá utilizar en el futuro en forma permanente, es decir, ya no se necesitará el suministro eléctrico para hacer funcionar a los semáforos. Todo lo anterior, con nueva tecnología y experiencia para lograr una mejor calidad de vida.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Libros:

- 1.- Raushenbach, Hans S., *Solar Cell Array Design Handbook*, 1st Edit., Van Nostrand Reinhold Company, New York, Nov. 3, 1980.
- 2.- Anderson, Bruce N., *Solar Energy: Fundamentals in Building Design*, 2nd Edit., McGraw Hill, New York, Jan. 15, 1977.
- 3.- Michels, Tim, *Solar Energy Utilization*, 2nd Edit., Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1979.
- 4.- Kreider, Jan F., *Solar Energy Handbook*, 3rd Edit, Mc Graw Hill, New York, 1981.
- 5.- Howell, Yvonne, *Engineer's Guide to Solar Energy*, 1st Edit., Solar Energy Information Services (SEIS), Detroit, Michigan, Nov. 1979.
- 6.- Sayigh A., *Solar Energy Engineering*, 1st Edit., Academic Press, New York, 1977.
- 7.- Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y de Energía Solar, *Energía Solar (Cartilla No. 10) Fotoceldas*, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, México D.F., 1979.
- 8.- Romero V., Mariano, *Descripción y Optimización de Sistemas Fotovoltaicos*, Tesis Profesional (licenciatura) UNAM, México D.F., 1980.
- 9.- Arena H., Pablo, *Electrificación Solar*, Tesis Profesional (licenciatura) Universidad Panamericana, México D.F., 1987.
- 10.- Mompin, José, *Energía Solar Fotovoltaica*, 1ra Edic., Orbis Marcombo, Madrid, 1986.
- 11.- Aldape C., Rodolfo, *Los Semáforos y el Control Dinámico del Tránsito*, 1ra. Edic., Representaciones y Servicios de Ingeniería, México D.F., 1986.
- 12.- Canada, John R., *Técnicas de Análisis Económico para Administradores e Ingenieros*, 1ra. Edic., Diana, México D.F., 1986.
- 13.- Aguerrebere G., Angel, *Evaluación e Implementación de un Calentador Solar de Agua para Uso Doméstico*, Tesis Profesional (licenciatura) Universidad Panamericana, México D.F. 1992.

Revistas:

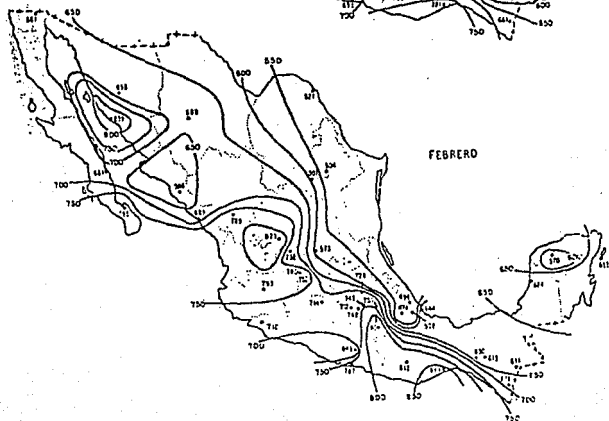
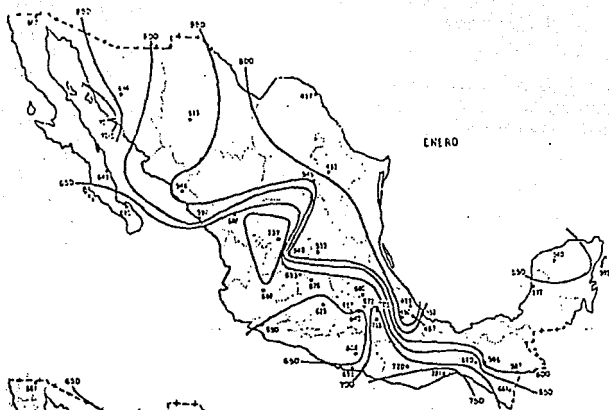
- 14.- Starr, Gary, ¿Por qué la Energía Fotovoltaica?, *Desarrollo Nacional*, Bogotá, Mayo 1989.

APENDICE A

RADIACION SOLAR EN DIVERSAS REGIONES DE MEXICO

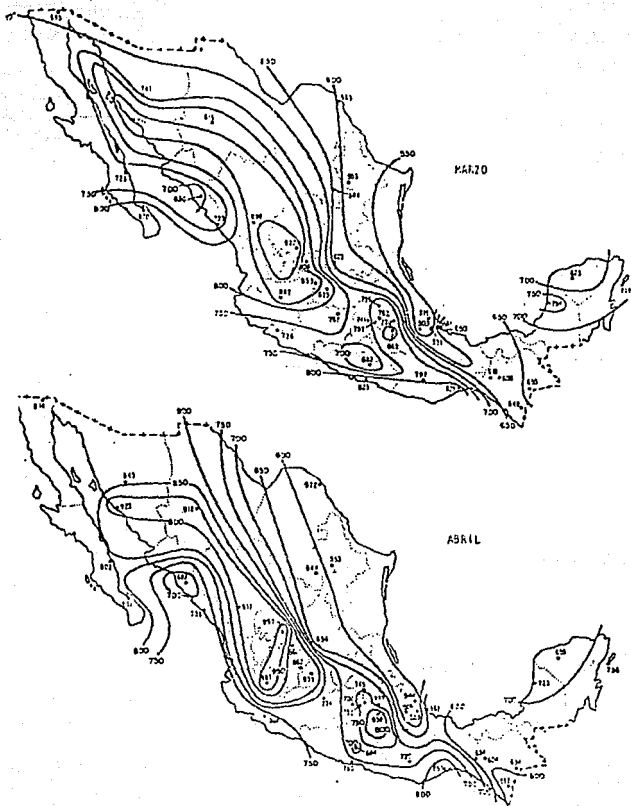
LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
ALTOZOMONI	19° 07'N	98° 39'W	400	521	678	472	294	373	461	562	467	515	473	-	
CHIHUAHUA	28° 36'N	106° 05'W	178	353	287	300	380	376	325	424	416	318	286	170	319
CIUDAD UNIVERSITARIA	19° 20'N	99° 11'W	352	510	651	534	515	430	428	471	431	367	377	368	455
TACUBAYA	19° 24'N	99° 06'W	382	455	524	519	483	480	423	439	485	366	385	366	438
VERACRUZ	19° 1'N	96° 08'W	325	435	-	-	597	619	502	560	528	505	427	408	-
	27° 30'N	110° W	360	440	530	600	650	660	620	690	560	530	690	320	521
	25° 50'N	109° W	320	390	460	520	550	560	500	500	460	440	340	380	443
	25° 00'N	100° W	340	400	470	520	590	590	550	560	490	450	370	300	369
	20° 08'N	100° W	370	430	490	510	530	520	530	520	470	410	380	330	460
	20° 00'N	91° W	340	430	490	470	490	460	460	480	440	430	370	310	431
	17° 30'N	83° W	330	410	400	400	410	330	410	400	350	350	340	310	374
	17° 00'N	100° W	420	460	500	510	530	510	520	520	470	450	420	400	476
	30° 03'N	110° W	350	440	510	630	690	670	660	620	580	580	390	320	529

APENDICE B



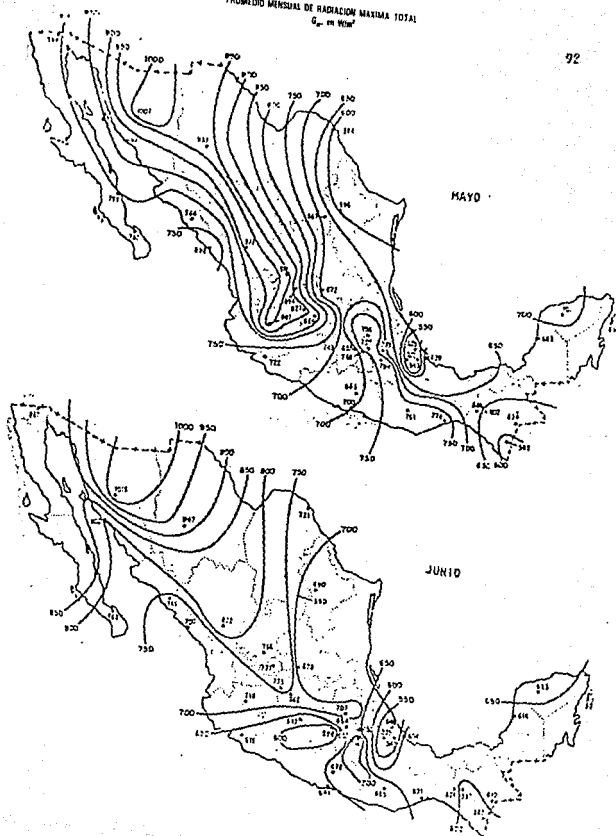
PRECIPITACION MENSUAL DE RADIACION MAXIMA TOTAL
 G_p en W/m^2

91



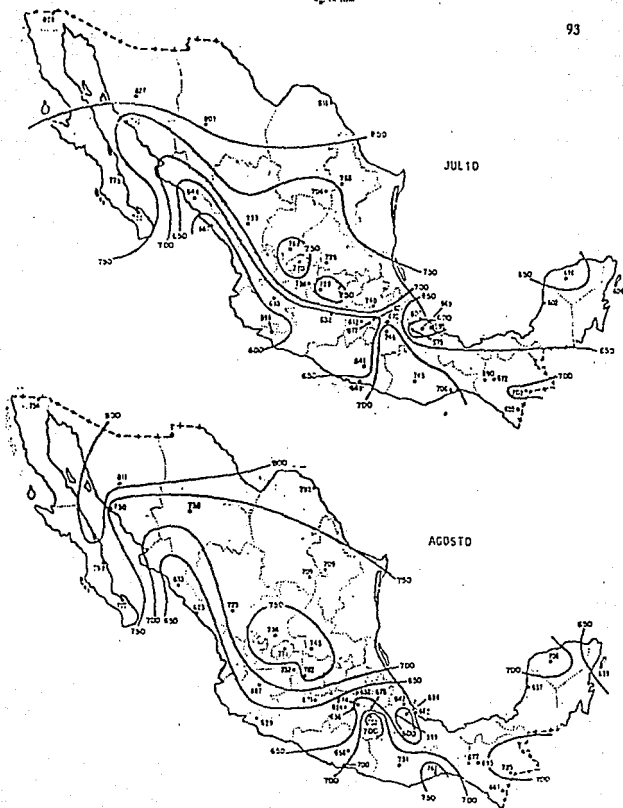
PROMEDIO MENSUAL DE RADIACION MAXIMA TOTAL
G_m en kWh/m²

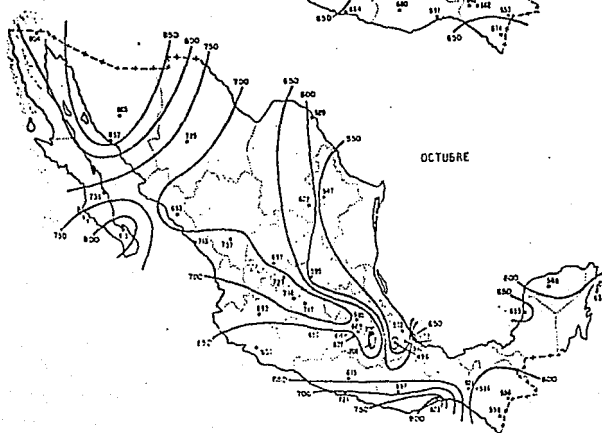
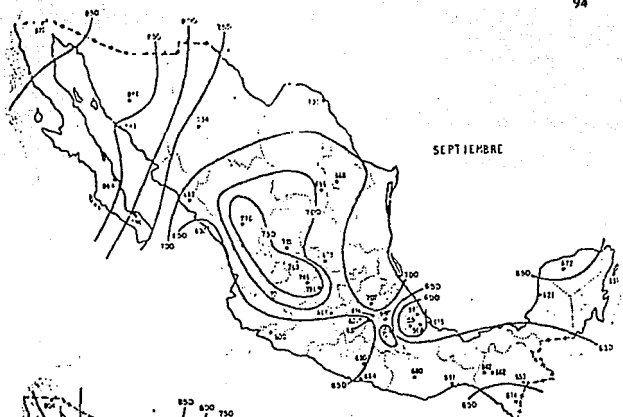
92



PPROMEDIO MENSUAL DE RADIACION MAXIMA TOTAL
en kWh/m²

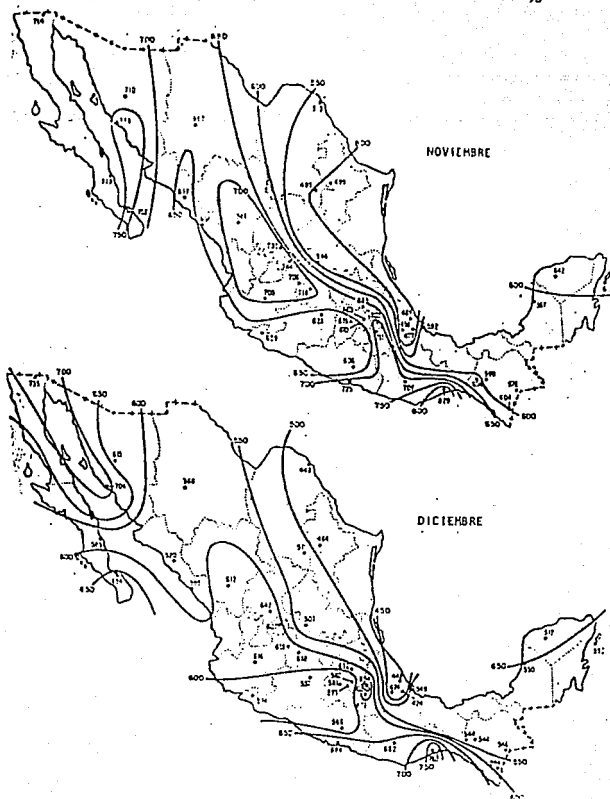
93





PROMEDIO MENSUAL DE RADIACION MAXIMA TOTAL
 G_{max} en Wh/m^2

95



APENDICE C

ANGULOS PARA DETERMINAR ALTITUD Y AZIMUT SOLARES
PARA VARIAS LATITUDES DEL HEMISFERIO NORTE

96

Date and declination	Solar time (A.M.)	Latitude							
		10°		8°		15°		21°	
		α	α_1	α	α_1	α	α_1	α	α_1
June 21 23.5°	Noon	67	180	75	180	83	180	90	0
	11	62	149	69	139	74	129	76	01
	10	53	131	57	122	61	110	63	05
	9	40	122	44	115	47	104	49	09
	8	27	117	31	113	33	100	36	103
	7	14	114	17	110	20	95	22	107
	6	0	114	3	113	6	0	112	
	5								
May 21 or July 21 23°	Noon	70	180	78	180	86	180	86	0
	11	65	135	71	131	75	126	76	07
	10	54	126	58	116	61	110	62	08
	9	42	117	45	110	47	102	48	09
	8	28	113	31	109	33	101	35	08
	7	14	111	17	109	19	105	21	104
	6	0	110	3	110	5	100	8	108
	5								
April 21 or August 21 19°	Noon	76	180	85	180	90	0	78	0
	11	71	129	75	115	75	77	74	52
	10	58	113	60	103	61	85	59	72
	9	41	107	40	99	46	91	46	82
	8	29	101	31	93	32	84	32	88
	7	15	102	16	103	17	90	18	105
	6	0	102	2	102	3	102	2	101
March 21 or Sept 21 10°	Noon	93	180	82	0	74	0	66	0
	11	75	160	73	63	68	41	62	33
	10	60	140	59	70	56	64	52	55
	9	45	130	44	82	43	75	40	68
	8	30	120	30	85	29	81	27	77
	7	15	109	15	88	14	80	14	84
	6	0	90	0	90	0	90	0	90
Feb 21 or Oct 21 -11°	Noon	79	0	71	0	63	0	55	0
	11	71	33	64	34	59	30	52	24
	10	58	19	55	58	50	50	43	43
	9	44	25	41	68	38	62	31	57
	8	29	37	27	73	25	69	22	68
	7	14	70	13	77	11	75	9	74
Jan 21 or Nov 21 -20°	Noon	70	0	62	0	54	0	46	0
	11	65	35	56	28	51	23	41	20
	10	51	54	49	46	43	40	37	36
	9	42	63	38	57	33	52	28	49
	8	28	67	25	64	21	61	17	58
	7	14	69	11	68	8	66	5	68
Dec 21 -23.5°	Noon	67	0	58	0	51	0	42	0
	11	62	31	55	25	48	21	38	18
	10	53	49	47	42	41	37	31	24
	9	40	58	36	53	31	49	25	36
	8	27	61	23	60	20	57	18	45
	7	14	66	10	64	7	63	3	63

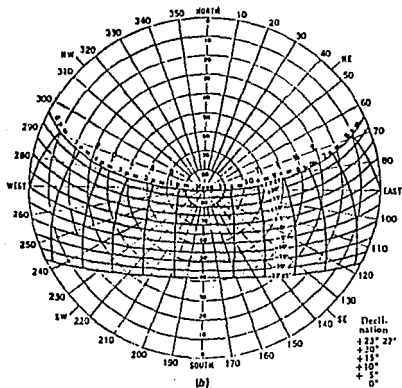
Date and declination	Solar time [A.S.]	Latitude							
		32°		40°		48°		56°	
		α	α_1	α	α_1	α	α_1	α	α_1
June 21 23 5°	Now 11 10 9 8 7 6 5 4	82 74 62 50 37 21 12 5 4	0 61 80 99 117 133 140 148 152	71 69 60 49 37 26 15 4 4	0 42 66 90 111 130 145 157 162	0 63 66 80 91 97 105 117 122	0 31 55 72 85 96 106 117 122	58 56 51 46 36 28 19 11 4	0 25 46 70 92 104 108 115 127
May 21 or July 21 20°	Now 11 10 9 8 7 6 5 4	78 72 61 49 35 23 10 4	0 52 73 85 93 104 107 107	70 57 37 21 13 2 2 2	0 37 61 76 87 97 106 115	0 59 61 53 41 25 15 3	0 29 51 51 48 35 25 14 1	51 52 48 41 33 25 16 8	0 23 44 62 76 80 102 113 126
April 21 or August 21 12°	Now 11 10 9 8 7 6 5	70 66 56 41 22 10 6 5	0 38 61 75 84 93 100 100	0 59 51 32 19 8 8 8	0 29 52 65 76 80 85 89	0 51 29 38 42 45 49 48	0 21 41 45 48 55 68 72	46 41 40 31 26 19 10 2	0 21 40 57 71 81 97 109
March 21 or Sept 21 0°	Now 11 10 9 8 7	58 55 47 37 25 13	0 27 47 62 73 82	0 49 42 33 23 11	0 20 42 57 70 80	0 42 30 35 39 40	0 20 33 39 47 57	31 33 33 23 15 8	0 18 38 53 61 64
Feb 21 or Oct 21 -11°	Now 11 10 9 8 7	47 45 38 29 18 7	0 21 38 53 64 73	0 37 32 21 15 4	0 19 35 50 61 72	0 31 20 25 28 28	0 17 33 47 57 72	0 23 31 38 47 59	0 16 31 45 57 70
Jan 21 or Nov 21 -20°	Now 11 10 9 8 7	38 36 31 22 13 7	0 18 33 46 56 65	0 28 24 17 8 5	0 16 31 45 55 65	0 22 17 11 3 3	0 15 29 43 55 65	0 14 19 5 2	0 14 24 42 55 67
Dec 21 -23 5°	Now 11 10 9 8	31 33 28 20 10	0 16 31 44 51	0 26 21 14 5	0 15 29 42 53	0 18 17 14 8 1	0 14 28 41 53	0 10 8 2 1	0 14 27 40 53

Date and declination	Solar time (A.M.)	Latitude					
		64°		72°		80°	
		α	α_2	α	α_2	α	α_2
June 21 23.5°	Noon	40	0	41	0	33	0
	11	48	21	41	18	33	16
	10	45	40	39	30	32	31
	9	40	58	35	53	30	49
	8	34	73	31	68	28	64
	7	28	88	27	83	26	79
	6	21	101	22	98	23	94
	5	15	111	16	112	21	109
	4	9	126	11	125	18	123
	3	4	139	10	139	16	139
	2	1	153	8	152	15	152
1			6	160	14	160	
Midnight			0	180	14	180	
May 21 or July 21 70°	Noon	40	0	38	0	30	0
	11	45	20	37	18	30	16
	10	42	39	35	35	29	32
	9	37	55	32	52	27	48
	8	31	71	28	67	25	64
	7	24	86	23	82	22	79
	6	18	99	18	96	20	94
	5	12	112	13	110	17	109
	4	6	125	10	121	15	123
	3	1	139	7	138	13	137
	2			4	152	11	151
1			3	160	10	160	
Midnight			2	180	10	180	
April 21 or August 21 12°	Noon	38	0	30	0	22	0
	11	37	18	29	17	22	16
	10	34	36	27	33	21	31
	9	29	53	24	49	19	47
	8	24	68	20	65	17	62
	7	17	82	16	79	15	77
	6	11	95	11	94	12	92
	5	4	109	7	109	9	107
	4			3	122	7	121
	3					5	130
	2					3	151
1					2	165	
Midnight					2	180	
March 21 or Sept 21 0°	Noon	20	0	18	0	10	0
	11	25	17	17	16	10	15
	10	22	33	16	31	9	30
	9	18	49	13	46	7	45
	8	13	63	9	61	5	60
7	7	76	5	76	3	75	
Feb 21 or Oct 21 -11°	Noon	15	0	7	0		
	11	14	15	6	15		
	10	12	30	5	30		
	9	8	44	4	44		
8	3	58	2				

APENDICE D

CARTAS SOLARES para encontrar la posición del sol en el cielo para cualquier día y tiempo.

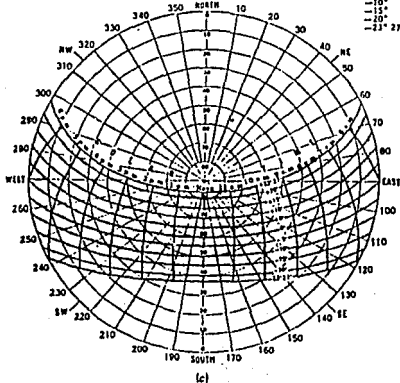
25°N



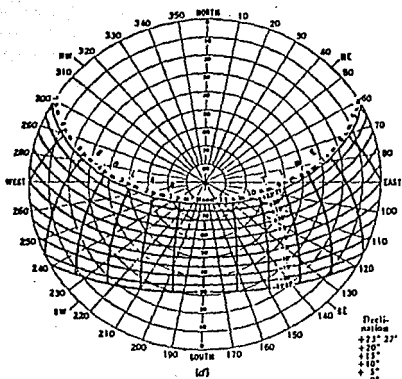
Decl.
nacion
+23° 27'
+20°
+15°
+10°
+ 5°
0°
- 5°
-10°
-15°
-20°
-23° 27'

Approx. dates
June 21
May 21, July 24
May 1, Aug. 13
Apr. 16, Aug. 28
Apr. 1, Sept. 10
Mar. 21, Sept. 23
Mar. 8, Oct. 6
Feb. 21, Oct. 20
Feb. 9, Nov. 3
Jan. 21, Nov. 22
Dec. 22

30°N

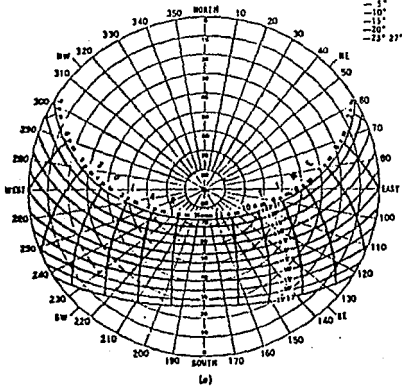


35°N

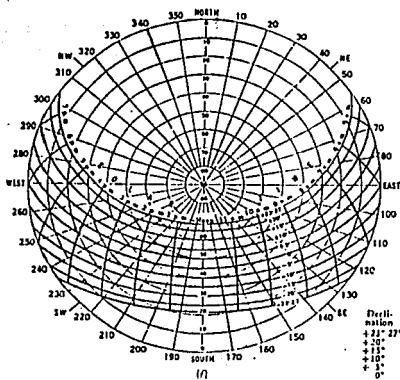


Deflection	Approx. date
+22° 27'	June 23
+20°	May 21, July 24
+15°	May 1, Aug. 12
+10°	Apr. 16, Aug. 28
+5°	Apr. 3, Sept. 10
0°	Mar. 21, Sept. 2
-5°	Mar. 8, Oct. 6
-10°	Feb. 23, Oct. 20
-15°	Feb. 9, Nov. 5
-20°	Jan. 21, Nov. 22
-22° 27'	Dec. 22

40°N



45°N



Declination
 +22° 27'
 +20°
 +15°
 +10°
 +5°
 0°
 -5°
 -10°
 -15°
 -20°
 -25° 27'

Approx. dates
 June 22
 May 21, July 24
 May 1, Aug. 13
 Apr. 16, Aug. 28
 Apr. 1, Sept. 10
 Mar. 21, Sept. 23
 Mar. 8, Oct. 6
 Feb. 23, Oct. 20
 Feb. 9, Nov. 7
 Jan. 21, Nov. 21
 c. 22

50°N

