



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

FUNDAMENTOS Y APROVECHAMIENTO DE LA  
CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR EN  
ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA PROYECTAR  
UNA CASA-HABITACION AUTONOMA

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO-ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N :  
MARCELO GUERRERO SERRANO  
VICTOR MEMBRILLO ZARCO  
MA.EUGENIA MORENO GHILIAZZA

DIRECTOR DE TESIS:  
M.en I.LEOPOLDO GONZALEZ GONZALEZ



MEXICO D.F.

NOVIEMBRE 1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

## NOMENCLATURA

TEMA I NATURALEZA DE LA ENERGIA SOLAR	1
1.1 INTRODUCCION	1
1.2 BREVE HISTORIA DE LOS PRIMEROS EXPERIMENTOS	3
1.3 NATURALEZA DE LA ENERGIA SOLAR	4
1.4 ESTRUCTURA SOLAR	7
1.4.1 LA CONSTANTE SOLAR	7
1.5 RADIACION SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA	8
TEMA II RELACIONES GEOMETRICAS PARA LA RADIACION SOLAR	11
2.1 INTRODUCCION	11
2.2 ANGULOS SOLARES	11
2.3 RADIACION DIRECTA SOBRE UN PLANO INCLINADO	14
TEMA III ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR	27
3.1 INTRODUCCION	27
3.2 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR	29
3.3 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR EN UN DIA EN UN METRO CUADRADO (H)	30
3.4 COEFICIENTE DE CORRECCION POR INCLINACION DE LOS PANELES (K)	32
TEMA IV SISTEMAS DE CONVERSION	49
4.1 PROCESOS NATURALES	49
4.1.1 EL CLIMA	50
4.2 DIFERENTES TIPOS DE CONVERSION	52
4.3 CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO	52
4.3.1 PROCESOS TECNOLOGICOS: CONVERSION UTIL DE LA ENERGIA SOLAR	52
1. PROCESOS TERMICOS DIRECTOS	54
1a) EFECTO INVERNADERO	55
1b) SISTEMAS DE CALEFACCION SOLAR	57

1c) SISTEMA DE ABSORCION DIRECTA	58
3. PROCESOS DIRECTOS DE CONVERSION ELECTRICA	59
2a) GENERADORES FOTOELECTRICOS	60
2b) GENERADORES FOTOVOLTAICOS	60
2c) GENERADORES TERMOIONICOS	65
2d) GENERADORES TERMOELECTRICOS	66
3. OTROS PROCEDIMIENTOS DE CONVERSION ELECTRICA	67
4.3.2 PROCESOS NATURALES: CONVERSION FOTOBIOLOGICA Y FOTOQUIMICA	68
A) PLANTACIONES DE ENERGIA	69
B) CRECIMIENTO DE ALGAS	70
C) PRODUCCION DE OXIGENO	71
4.4 CONVERSION ELECTRICA	73
4.4.1 ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA	73
4.4.2 CARACTERISTICAS Y TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS	78
4.4.3 COMPONENTES DE UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA	86
A) ACUMULADORES	86
A.1) CICLOS DE CARGA-DESCARGA EN LA BATERIA	88
A.2) COMPORTAMIENTO DE LA BATERIA EN UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA	89
B) REGULADORES	92
B.1) TIPOS DE REGULADORES	92
C) CONVERTIDORES	93
C.1) NECESIDAD DEL USO DEL CONVERTIDOR	95
D) OTROS ELEMENTOS	95
TEMA V PROYECTO CASA-HABITACION: DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	97
5.1 ESTUDIO DE LAS NECESIDADES A CUBRIR DEL USUARIO	98
5.2 DATOS DE CONSUMO	100
5.3 MEMORIA Y CALCULO	101
5.3.1 CALCULO DE LA CAPACIDAD Y DETERMINACION DEL ACUMULADOR	101
5.3.2 CALCULO DE LA POTENCIA DE LOS PANELES	106
5.3.3 ELEMENTOS ADICIONALES DE LA INSTALACION	108
A) REGULADORES	108
B) DIMENSIONADO DEL CONVERTIDOR	110
5.4 MEMORIA DEL CALCULO	112
5.4.1 CALCULO DE LA ENERGIA TOTAL TEORICA MEDIANTE LA SUMA DEL CONSUMO DE CADA APARATO USADO EN UN PERIODO DE 24 HORAS	113
5.4.2 CALCULO DE LA CAPACIDAD Y DETERMINACION DEL ACUMULADOR	113
5.4.3 CALCULO DEL NUMERO DE PANELES	116

<b>TEMA VI ANALISIS COMPARATIVO ECONOMICO</b>	<b>118</b>
6.1 INTRODUCCION	118
6.2 ANALISIS ECONOMICO DEL SISTEMA	120
6.3 COSTO DE REPOSEICION A VALOR PRESENTE DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	122
<b>APENDICE A</b>	<b>130</b>
<b>CONCLUSIONES Y RESULTADOS</b>	<b>141</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>145</b>

## N O M E N C L A T U R A

[m <sup>2</sup> ]	:	Metros cuadrados
[HP]	:	Caballos potencia
[Km <sup>2</sup> ]	:	Kilómetros cuadrados
[Km/s]	:	Kilómetros sobre segundo
[°K]	:	Grados Kelvin
[R]	:	Radio Solar
[gr/cm]	:	Gramos sobre centimetro
[Ics]	:	Constante Solar
[KW/m <sup>2</sup> ]	:	Kilowatt por metro cuadrado
[CAL min/cm <sup>2</sup> ]	:	Caloria minuto sobre centimetro cuadrado
[BTU/ft <sup>2</sup> ]	:	British Thermal Unit sobre pie cuadrado
[μm]	:	Micra (1 x 10 <sup>-6</sup> metros)
[°C]	:	Grados centigrados
[N <sub>2</sub> ]	:	Nitrógeno
[O <sub>2</sub> ]	:	Oxígeno
[Ar]	:	Argón
[Co <sub>2</sub> ]	:	Bióxido de carbono
[H <sub>2</sub> O]	:	Agua
[λ]	:	Longitud de onda
[E]	:	Energía
[α]	:	Azimut solar
[γ]	:	Altura solar

[ $\phi$ ]	:	Latitud de un lugar determinado sobre la tierra.
[ $\delta$ ]	:	Declinación
[n]	:	Día del año (de 1 - 365)
[ $\omega$ ]	:	Angulo horario
[Eo]	:	Corrector de tiempo debido a los movimientos que presenta la tierra
[lr]	:	Longitud del meridiano de referencia horaria
[ll]	:	Longitud del meridiano en cuestión
[S]	:	Angulo de inclinación del plano
[ $\Theta$ ]	:	Angulo que forma la normal de un plano con el haz incidente de radiación
[KW]	:	Kilowatt
[MJ]	:	Mega Jules
I [W/m ]	:	Intensidad total
[ $\text{\AA}$ ]	:	Amstrong
E <sub>T</sub> [W-h]	:	Energia total teórica
N [dias]	:	Días de autonomia
E <sub>r</sub> [W-h]	:	Energia real
R	:	Factor global de rendimiento de una instalación fotovoltaica.
K <sub>b</sub>	:	Coefficiente de pérdidas por rendimiento de un acumulador.
K <sub>a</sub>	:	Coefficiente de autodescarga de un acumulador.
K <sub>c</sub>	:	Coefficiente de pérdidas en un convertidor.
K <sub>v</sub>	:	Coefficiente que agrupa otras pérdidas (rendimiento global de toda la red de

consumo, pérdidas por efecto joule, etc.)

pd : Profundidad máxima de descarga admisible en un acumulador.

Cu [A-h] : Capacidad útil de un acumulador.

C [A-h] : Capacidad nominal de un acumulador.

H [MJ/m ] : Energía total incidente sobre una superficie horizontal de 1 m en un día.

K : Coeficiente de corrección por inclinación de los paneles.

H.S.P. [h] : Horas de sol pico (horas de sol a una intensidad de 1000 W/m<sup>2</sup>).

Ep [W-h] : Energía en paneles.

P [W] : Potencia nominal de un panel fotovoltaico.

[°C ] : Temperatura en grados centígrados.

[h ] : Tiempo en horas.

[Km] : Distancia en Kilómetros.

[V] : Diferencia de potencial en volts.

P [w] : Potencia eléctrica Watts.

í [A ] : Corriente Amperes.

[ísc ] : Corriente de corto circuito.

[ V ] : Voltaje a circuito abierto.

[P<sub>M</sub>] : Potencia máxima.

[í<sub>M</sub>] : Corriente máxima.

[V<sub>M</sub>] : Voltaje máximo.

## TEMA I. NATURALEZA DE LA ENERGIA SOLAR

### 1.1 INTRODUCCION.

Casi todas las fuentes de energía usadas por el hombre para calentamiento y generación de potencia, se han derivado del sol. sin embargo, aquellas que son utilizadas más fácilmente, como por ejemplo, el carbón y el petróleo, han experimentado cambios que han incrementado sustancialmente su concentración. La radiación solar no se usa directamente en la actualidad para propósitos industriales, debido a que su concentración es relativamente baja. Sin embargo, en años recientes, se ha incrementado considerablemente el interés industrial en la utilización de la radiación solar, especialmente para calentar y destilar agua potable a partir del agua de mar, debido a que la demanda mundial por la alimentación y la energía ha crecido tan rápidamente que dentro de un futuro muy cercano, se espera que se incremente la escasez y el precio de las fuentes disponibles de energía. La radiación solar constituye también un factor importante en la evaluación de las necesidades de calentamiento o enfriamiento para aviones, proyectiles y edificios.

Hoy en día, como resultado del crecimiento y el acelerado desarrollo industrial así como el socioeconómico, se tiene como uno de los problemas de mayor trascendencia, afectando a las economías de los países en general y es: la problemática que se presenta con los energéticos.

Las reservas de los recursos petrolíferos - esta es la fuente principal de hidrocarburos - y su encarecimiento permiten prever que en países en vías de desarrollo, la posibilidad de ascender a niveles de vida más altos estará cada vez más condicionada.

Desgraciadamente, ni la estimación más optimista de reservas petroleras adicionales puede ó debe justificar un continuo consumo acelerado de los energéticos.

Irónicamente, el modelo para una central de energía termonuclear, el sol, es una fuente de energía ilimitada que nos suministra millones de kilowatts, y que a pesar de desperdiciarla casi en su totalidad, nos sirve para mantenernos a una temperatura agradable y para obtener todos nuestros alimentos.

Además esta energía solar es segura, no produce emisiones contaminantes y carece de productos de desecho que deban eliminarse. Todos los días el planeta tierra recibe del sol un caudal de energía de la cual aprovechamos una fracción varios miles de veces menor que el total irradiado por el sol.

La utilización de la energía solar para diversos fines no es una idea reciente en nuestros tiempos, el sol a figurado, entre los primeros intentos del hombre de ser explorado en el mundo que le rodea, es por esto que la dependencia del hombre con relación al sol, que sus primeras religiones, creencias y culturas se formaron alrededor de esta estrella.

Es por lo anteriormente expuesto, plantear la necesidad de como se debe de planear la sustitución de los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas, que han llegado a ser tan vitales para la humanidad moderna que consideramos, existe un atraso en la actualidad en investigaciones sobre nuevas fuentes de energía. El uso de la energía solar se ha diversificado también para la calefacción y refrigeración, la utilización de la energía, elimina la necesidad de transportar combustible y electricidad a lo largo de grandes distancias.

En términos correctos, nos debemos preguntar:  
¿Será pasajera la necesidad de electricidad producida directamente por el sol? Los sistemas convencionales de producción de electricidad con combustible y sus líneas y redes de transporte, están creciendo rápidamente y finalmente cubrirán la tierra. Pero hay dos mil millones de personas sin electricidad y pasará mucho tiempo antes de que puedan ser abastecidos.

Los países menos desarrollados económicamente, son los que tienen una urgencia más inmediata de investigación sobre la energía solar. Los altamente industrializados necesitan una investigación a mas largo plazo porque los combustibles fósiles no durarán para siempre y con seguridad irán en aumento sus precios, se encontrarán en el futuro nuevas reservas muy superiores a los 300 000 millones de barriles, pero el combustible será entonces tan caro de obtener que será preciso encontrar nuevas fuentes de energía para abastecer a la humanidad cada vez más dependiente de la abundancia de combustibles.

El uso directo de la energía solar no es nuevo,

se tienen materiales con que trabajar como los plásticos baratos y resistentes al sol y semiconductores de alta pureza, hay nuevas ideas científicas, experiencia acumulada en ingeniería y un conocimiento más amplio de las necesidades mundiales y de sus posibilidades de resolución.

Es por lo anterior, importante reconsiderar todas las maneras en que la ciencia y la tecnología pueden ayudar a convertir en algo práctico el uso directo de la energía solar.

## 1.2 BREVE HISTORIA DE LOS PRIMEROS EXPERIMENTOS

En 1774 Joseph Priestley, expuso óxido de mercurio a los rayos del sol y recogió el gas producido al calentarlo, encontró que en éste gas una vela ardía con un brillo mucho mayor que en el aire y que un ratón sobrevivía más tiempo en un volumen dado de éste gas y que parecía ser "aire más perfecto", así fué descubierto el oxígeno.

En 1872 en el soleado desierto de Atacama, Chile se construyó una planta de destilación solar de 5000 [m<sup>2</sup>] de superficie, para transformar agua salada en dulce, que se emplearía en una mina de nitrato. Láminas de vidrio inclinadas, cubrían canales de agua salada, transmitiendo los rayos del sol y reducían la radiación infrarroja perdida, calentando de esta manera el agua. El vapor de agua se condensaba en la cara interna del vidrio, era enfriado por el aire exterior y una vez condensado se vertía en unos canalones. Esta planta funcionó eficazmente durante 40 años hasta que la mina se agotó, ésta es una notable aplicación en gran escala de la energía solar que produjo hasta 23 000 litros de agua fresca por día.

En 1878 en una exposición de París, la luz solar era enfocada a una caldera que hacía funcionar un pequeño motor, que a su vez accionaba una impresora.

En 1901 en South Pasadena, un gran colector focal en forma de cono truncado producía 4.5 [HP].

De 1902 a 1908 H. E. Willsie y John Boyle, construyeron 4 motores solares en San Luis y en Needles California, uno de 6 [HP] y otro de 20 [HP] utilizaban agua y anhídrido sulfatoso.

En 1907 y 1911 F. Shuman, desarrolló motores de

vapor solares de varias capacidades en [HP] que bombeaban agua.

Uno de los primeros intentos de almacenar energía producida por el sol, fué la Sociedad Anónima de Hamington en Nuevo México, hace casi medio siglo, concentró la luz solar en la caldera de un motor de vapor que bombeaba agua a un tanque de 19 000 litros, a una altura de 6 metros.

Con excepción de lo realizado por C. G. Abbott, poco se hizo por el desarrollo de la energía solar durante los siguientes 30 años. Abbott presentó al Congreso Internacional de Energía celebrado en Washington en 1936, un motor de vapor solar de 1/2 [HP].

De 1941 a 1946 F. Molero, desarrolló motores solares de vapor en Tashkent (URSS).

### 1.3 NATURALEZA DE LA ENERGIA SOLAR.

El sol, es una de las innumerables estrellas que hay en nuestra galaxia, la más cercana y sin duda también, la más importante para nosotros, ya que sin ella no existiríamos, ni existiría ninguna forma de vida sobre la tierra.

Es una estrella de tipo medio, su radio es de unos 700 000 [Km<sup>2</sup>] y su masa equivale a la que se obtendría juntando unos 300 000 planetas iguales a la - - tierra, brilla en el espacio, desde hace más de 5 000 millones de años y se calcula que el tiempo que le resta de vida es todavía mayor.

El origen de la energía que el sol produce e irradia, está en las reacciones nucleares que ininterrumpidamente se realiza en su interior. En ellas, los átomos de hidrógeno y que es el elemento más abundante del sol, se combinan entre sí para formar átomos de helio y al mismo tiempo, una pequeña parte de la masa de dichos átomos, se convierte en energía de acuerdo con la famosa fórmula de Einstein  $E = mc^2$  la cual fluye desde el interior hasta la superficie (fotosfera) y desde allí es irradiada al espacio en todas direcciones.

Aunque el sol también emite partículas materiales, la mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas (fotones) en una amplia gama de longitudes de onda

diferentes. las cuales se desplazan en el espacio vacío a una velocidad de 300 000 [Km/Seg] tardando solamente ocho minutos en recorrer los 150 millones de kilómetros que hay entre el sol y la tierra.

Cada segundo el sol irradia en todas las direcciones del espacio una energía de  $4 \times 10^{26}$  Jules, esto es, genera una potencia de  $4 \times 10^{23}$  kilowatts, para hacernos una idea de la enorme magnitud que representan estas cifras, basta considerar que la potencia generada por todas las plantas industriales del mundo trabajando juntas sería unos trescientos billones de veces más pequeñas.

En el breve lapso de tiempo de un solo segundo, el sol irradia mucha más energía que la consumida por todo el género humano desde sus albores hasta nuestros días.

Por otra parte esta esfera de materia gaseosa inmensamente caliente, tiene un diámetro de 1.39 millones de [Km]. La distancia mínima (en el perihelio) entre el sol y la tierra, se alcanza alrededor del 15 de Enero, mientras que la máxima (en el afelio) se tiene a fines de Junio. La discrepancia entre la distancia mínima y máxima es de 1/60 del valor medio. Esto quiere decir que la órbita elíptica que describe la tierra alrededor del sol es prácticamente circular.

A continuación se presenta un esquema de la órbita terrestre respecto al sol y sus posiciones, en distancias. (fig. 1.1)

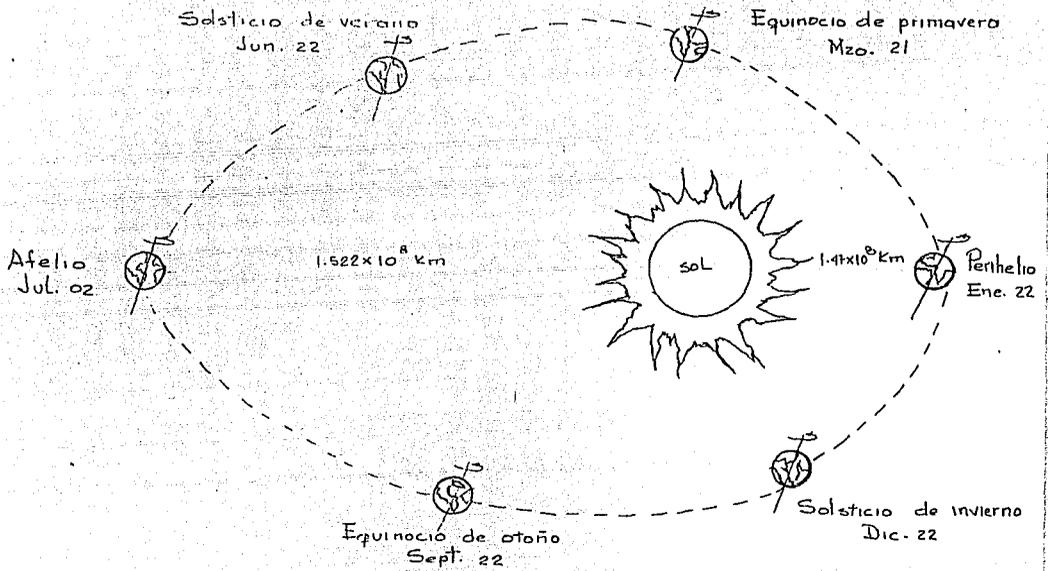


FIG. 1.1 ORBITA TERRESTRE

## 1.4 ESTRUCTURA SOLAR

La estructura solar es enormemente compleja, se estima que la temperatura existente en el núcleo central varía entre 8 y 40 millones de grados Kelvin [°K]. Tiene una densidad entre 80 y 100 veces mayor a la del agua y se genera ahí cerca del 90% de la energía total. En esta región central comprendida entre 0 - 23 R (R = Radio Solar), está contenido el 40% de la masa total del sol.

A una distancia radial, a partir del centro, igual a 0.7 [R] la temperatura disminuye considerablemente hasta unos 130 000 [°K] en donde la densidad es del orden de 0.07 [g/cm<sup>3</sup>]. Por encima de la región comprendida entre 0.7 [R] y 1.0 [R] conocida como zona convectiva, la temperatura desciende hasta 5 000 [°K] y la densidad hasta 10<sup>-6</sup> [g/cm<sup>3</sup>] esta capa bien definida de aproximadamente 300 [Km] de espesor y que envuelve a la zona convectiva se le conoce como la fotosfera y es en esta región donde se origina la mayor parte de la radiación solar que recibimos.

Después de la fotosfera, se localiza una atmósfera solar transparente y que se puede observar cuando hay un eclipse de sol, en esta región hay una zona de gases fríos y constituyen la capa inversora ó de inversión. De ahí en adelante está la cromósfera de aproximadamente 10 000 [Km] de espesor, en cuya zona los gases se encuentran a una temperatura mayor y tienen una densidad menor que los de la fotosfera envolviendo a todos, está la corona de bajísima densidad y alta temperatura y su espesor es de alrededor de un millón de kilómetros.

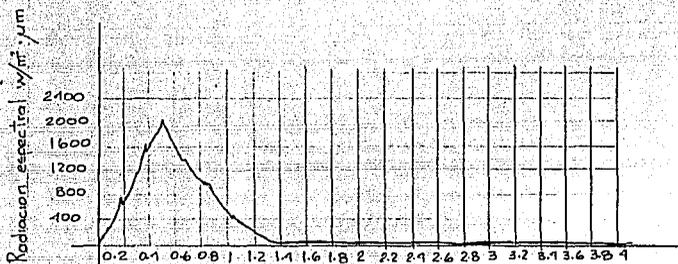
Por último, la temperatura efectiva de la superficie de sol es de unos 5900 [°K]. Esto significa que la emisión de radiación de un cuerpo negro ideal que se encontrará a 5900 [°K] sería muy parecida a la del sol.

### 1.4.1 LA CONSTANTE SOLAR.

La constante solar (Ics), es la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación, en el espacio y a la distancia media del sol a la tierra. Se han tomado y realizado diversas mediciones directas e indirectas de la constante solar. El valor normal ó estándar propuesto por Thekaekara y Drummond es de 1.37 [KW/m<sup>2</sup>] ó 1.94 [CAL min/cm<sup>2</sup>] ó 428 [BTU/ft<sup>2</sup>].

La constante solar ( $I_{cs}$ ), se encuentra distribuida según distintas longitudes de onda. Sin embargo la radiación solar adquiere solamente valores significativos de longitud de onda, entre 0.2 y 4.0  $\mu\text{m}$ .

La figura 1.2 nos muestra la distribución espectral de la radiación solar.



LONGITUD DE ONDA

FIG. 1.2

### 1.5 RADIACION SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA.

No toda la radiación solar extraterrestre que intercepta la tierra llega a la superficie de la misma, aún en condiciones de cielo despejado.

La atmósfera terrestre está constituida por una masa gaseosa, su altura es indeterminada y es algo menor de la millonésima parte de la masa del planeta, cuyo diámetro es de 12 700 [Km]. La variación vertical de la temperatura, permite ver distintas regiones:

**LA TROPOSFERA.**- Hasta una altura de 10 a 1 [Km] la temperatura disminuye con la altura hasta alcanzar de -50 [°C] a -90 [°C].

**LA ESTRATOSFERA.**- Se localiza encima de la tropósfera, tiene una capa de ozono entre los 20 y los 40 [Km] de altura, su temperatura permanece estable.

**LA IONOSFERA.**- De altura superior a los 10 [Km] tiene capas de temperatura indeterminadas, y por último.

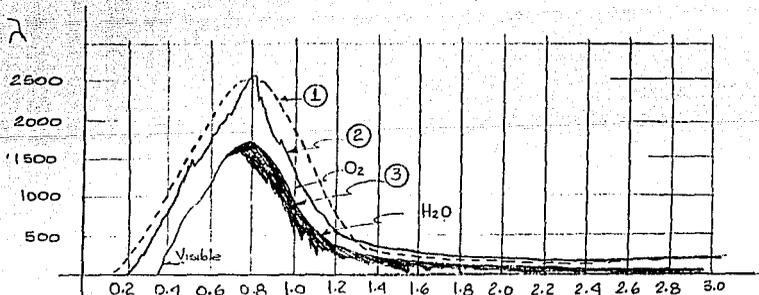
LA EXOSFERA.- Esta es la última capa atmosférica, hasta los 80 [Km], de altura aproximadamente, la composición es constante: 70% [N<sub>2</sub> ], 21% [O<sub>2</sub> ], 0.9% [Ar], 0.3% [CO<sub>2</sub> ] y algunos otros gases, así como ozono y vapor de agua en la vecindad del suelo.

Como aclaración, se apuntará de que todo el vapor de agua se encuentra concentrado en la proximidad de la superficie.

El vapor de agua absorbe fuertemente la radiación solar en las bandas infrarrojas. Más allá de 2.3 [μm], la transmisión en la atmósfera es baja debido a la absorción de la energía por el vapor de agua y el bióxido de carbono, dado que la radiación solar más allá de 2.3 [μm] es menos del 5% del total en el espectro, la energía recibida sobre la superficie de la tierra es todavía más pequeña.

Entonces podemos decir que solamente la radiación solar extraterrestre comprendida entre 0.29 [μm] y 2.8 [μm] es transmitida con atenuaciones a la superficie de la tierra, esta atenuación se debe a los fenómenos de absorción por [O<sub>2</sub> ], [H<sub>2</sub>O] y [CO<sub>2</sub> ], así también de otros componentes en la atmósfera: Moléculas de aire, polvo, etc.

W<sub>m</sub> μm



1. ESPECTRO PARA UN CUERPO NEGRO 5672 K.
  2. ESPECTRO DE LA RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE
  3. ESPECTRO DE LA RADIACION SOLAR A NIVEL DEL MAR
- FIG. 1.3 ESQUEMA ESPECTRAL

La energía radiante es descrita como una línea de partículas llamadas Fotones y que viajan en ondas transversales a la velocidad de la luz, cada Fotón posee una longitud de onda ( $\lambda$ ) y un monto de energía [E].

TABLA 1.1 TIPOS DE RADIACION

TIPOS DE RADIACION	INTERVALO DE LONGITUD DE ONDA (m)	BANDA DE FRECUENCIA APROXIMADA (ciclos/s)
RAYOS GAMMA	$10^{-11}$	$3 \times 10^{23}$
RAYOS X	$5 \times 10^{-9}$ a $5 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{19}$ a $6 \times 10^{15}$
RAYOS ULTRAVIOLETA	0.005 a 0.35	$9 \times 10^{14}$ a $6 \times 10^{10}$
LUZ VISIBLE	0.35 a 0.75	$4 \times 10^{14}$ a $9 \times 10^{14}$
INFRARROJA	0.15 a 300	$10^{12}$ a $4 \times 10^{14}$
CORTA	$1 \times 10^2$ a $1 \times 10^8$	$3 \times 10^6$ a $3 \times 10^{17}$
ONDAS DE RADIO	$1 \times 10^8$	$3 \times 10^6$

Existe radiación para diferentes longitudes de onda, con bandas de longitud de onda, con nombres especiales dados, el más común de ellos es "luz" ó radiación visible, la radiación que tiene longitud de onda de 0.25 a 100  $\mu\text{m}$  (micras) aproximadamente es la infrarroja, y las ondas mayores de 100  $\mu\text{m}$  son llamadas ondas de radio, las radiaciones con longitud de onda más corta que la luz visible son: Ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

TEMA II. RELACIONES GEOMETRICAS PARA ENCONTRAR  
EL ANGULO DE INCLINACION EN UNA SUPERFICIE  
PLANA PARA TENER MAXIMO APROVECHAMIENTO  
DE LA RADIACION SOLAR

## 2.1 INTRODUCCION

Una forma de aprovechar la energia solar mediante la conversión en energia eléctrica seria cubrir las necesidades mínimas de energia eléctrica para una casa-habitación.

Durante el proceso de conversión de la energia solar en energia eléctrica, los colectores solares se encontrarán fijos o tendrán un movimiento limitado a un grado de libertad. En consecuencia estos colectores no estarán dirigidos continuamente al disco solar.

Por lo tanto, el poder calcular la orientación y la inclinación más apropiada de los colectores y la separación entre éstos, para evitar la proyección de sombras, nos llevan a la necesidad de conocer de manera precisa el movimiento del sol y la dirección de la radiación directa sobre un plano dado en cualquier instante.

## 2.2 ANGULOS SOLARES

Si nos situamos en algún lugar de la tierra y observamos al sol, notaremos que el sol sigue una trayectoria circular a través del firmamento, alcanzando su punto más alto al medio día.

Esta trayectoria circular aparente se mueve hacia puntos más altos en el firmamento a medida que el invierno transcurre y llega el verano. (figura 2.1).

El amanecer acontece más temprano, y el atardecer más tarde, durante el verano.

De lo anterior podemos asegurar que para un observador desde algún punto de la tierra, ésta se mantiene estática y que quién se mueve es el sol. (Sabemos que esto es sólo aparente, pues la tierra es quién se mueve respecto a el sol con un movimiento de rotación y otro de traslación, debido a esto notamos al sol a través del año y en transcurso del día en diferente posición del firmamento).

Si observamos el movimiento (aparente) del sol durante un año, éste describirá una semiesfera, una bóveda celeste, y la posición de él en la bóveda dependerá de la hora, el día, el año y el lugar donde se encuentre el observador.

Dado que los movimientos de la tierra y el sol son relativos entre si, y en base a las observaciones ya señaladas, en el análisis que seguiremos se supondrá que la tierra está fija en el espacio, que el sol describe un movimiento virtual alrededor de ésta y que el origen del sistema de coordenadas se localiza en el lugar de interés sobre la tierra.

Desde éste punto de vista (modelo del sistema solar tolemeico), el movimiento está restringido a dos grados de libertad en la esfera celeste. En consecuencia su posición en el firmamento queda descrito mediante dos variables angulares: la altura solar ( $\gamma$ ) y el azimut solar ( $\alpha$ ).

ALTURA SOLAR  $\gamma$  : Define el ángulo que la visual al sol forma con la horizontal.

AZIMUT SOLAR  $\alpha$  : Define el ángulo que la proyección de los rayos del sol con la horizontal forma con respecto al sur verdadero.

Estas medidas angulares se muestran en la figura 2.2.

El cálculo preciso de estas variables depende fundamentalmente de tres parámetros:

1.- La latitud del lugar  $\phi$  : Es ángulo que determina el lugar de interés sobre la tierra, con respecto al Ecuador. Este ángulo es positivo cuando se mide hacia el norte y negativo cuando es hacia el sur. (figura 2.2.).

2.- La declinación  $\delta$  : Define la posición angular del sol al mediodía solar, es decir, en el momento en que el sol se encuentra más alto en el firmamento con respecto al plano del Ecuador. (Es el ángulo que forma la normal de un plano horizontal con el haz de luz incidente en el plano al mediodía solar).

La declinación la podemos determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } (360 (284 + n)/365) \quad (2.1)$$

donde: n es el día en cuestión y toma valores de 1 a 365  
 por ejemplo para el 10. de febrero corresponde  
 n=32.

n toma valores de 1 a 365.  
 n = 32 corresponde al 10. de Febrero.  
 n = 360 corresponde al 26 de Diciembre.

Los valores que toma la declinación en el año se ilustran  
 en la Tabla 2.1 y en la fig. 2.3.

3.- El ángulo horario  $\omega$ : Es igual a 0 al medio-  
 día solar y adquiere 15 grados de longitud por cada hora,  
 siendo positivo en las mañanas y negativo en las tardes.  
 La medida angular para diferentes horas, sus valores se  
 expresan en la tabla 2.2 y se ilustran en la figura 2.4

TABLA 2.2 ANGULO HORARIO

ANGULO HORARIO ( $\omega$ ) (grados)	HORA DEL DIA
+ 45°	9 [h]
+ 30°	10 [h]
+ 15°	11 [h]
0°	12 [h]
- 15°	13 [h]
- 30°	14 [h]
- 45°	15 [h]

Una vez determinadas las variables  $\phi$ ,  $\delta$  y  $\omega$ , la  
 $\alpha$ , y  $\lambda$  se pueden calcular por medio de las siguientes -  
 relaciones trigonométricas:

$$\text{sen } \alpha = \text{cos } \phi \text{ cos } \delta \text{ cos } \omega + \text{sen } \phi \text{ sen } \delta \quad (2.2)$$

$$\text{sen } \lambda = \text{cos } \delta \text{ sen } \omega / \text{cos } \alpha \quad (2.3)$$

Haciendo uso de estas ecuaciones se puede  
 calcular la duración del día, es decir el número de horas  
 de asoleamiento diario:

Haciendo  $\alpha = 0$  en la ecuación (2.2) y despejando a

$$\omega = \text{cos}^{-1} ( - \text{tan } \phi \text{ tan } \delta ) \quad (2.4)$$

Donde el número de horas de asoleamiento diario  
 (T) será:  $T = (2/15) \omega$

Por lo tanto:

$$T = (2/15) (\cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta)) \text{ (horas)}. \quad (2.5)$$

En la figura 2.5 se ilustra la duración del día durante el año para tres diferentes latitudes de 17, 19 y 27 grados.

Cabe apuntar que el tiempo solar difiere del tiempo oficial que marca un reloj exacto. ambos están relacionados por la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo solar} = \text{Tiempo oficial} + E_o + 4 (l_r - l_l) \quad (2.6)$$

Donde  $E_o$  es una corrección de tiempo debido a los movimientos que presenta la tierra.

$l_r$  es la longitud del meridiano de referencia horaria.

$l_l$  es la longitud del meridiano en cuestión.

$l_r$  y  $l_l$  en grados oeste.

El comportamiento durante el año se ilustra en la figura 2.6.

### 2.3 RADIACION DIRECTA SOBRE UN PLANO INCLINADO.

Si consideramos un plano inclinado, un ángulo  $S$  con respecto a un plano horizontal y que la proyección horizontal de su normal forma un ángulo azimutal con respecto al sur verdadero. (fig. 2.7)

En estas circunstancias el ángulo de incidencia de la radiación directa queda definido como el ángulo entre la normal de la superficie y el haz de radiación:

La relación entre  $\theta$ ,  $\phi$ ,  $\delta$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$  y  $\delta'$  está dada por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta' \sin \phi \cos S - \sin \delta' \cos \phi \sin S \cos \omega \\ & + \cos \delta' \cos \phi \cos S \cos \omega + \\ & + \cos \delta' \sin \phi \sin S \cos \delta' \cos \omega \\ & + \cos \delta' \sin S \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.7)$$

Consideramos tres casos particulares de interés:

a) Superficie horizontal. En este caso  $S = 0$  en la ecuación (2.7).

$$\cos \theta = \sin \delta' \sin \phi + \cos \delta' \cos \phi \cos \omega \quad (2.8)$$

b) Superficie inclinada hacia el sur. Se observa que el ángulo  $\Theta$  es idéntico al ángulo azimutal, para una superficie horizontal en que la latitud es igual a  $(S-\phi)$ , en consecuencia en la ecuación (2.7):

$$\cos \Theta = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} (S-\phi) + \cos \delta \cos (S-\phi) \cos \omega \quad (2.9)$$

c) Superficie vertical orientada hacia el sur. En este caso  $S = 90^\circ$  y  $\omega = 0^\circ$  entonces en la ecuación (2.7).

$$\cos \Theta = -\operatorname{sen} \delta \cos \phi + \cos \delta \operatorname{sen} \phi \cos \omega \quad (2.10)$$

Considerando todo lo expresado anteriormente y conociendo las características del movimiento de la tierra, concluimos que para obtener el mayor aprovechamiento de radiación solar en un plano fijo o con un grado de libertad, éste deberá estar inclinado hacia el sur, un cierto ángulo que dependerá de la latitud del lugar y del día, del año en cuestión.

Por lo tanto, el caso particular que nos interesa de los tres antes mencionados es el b) y para encontrar el ángulo óptimo de inclinación del plano haremos la siguiente consideración:

Que al medio día coincidan el haz de iluminación y la normal al plano.

Entonces:  $\Theta = 0$  y  $\omega = 0$  en la ecuación (2.9)

$$1 = \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} (\phi - S) + \cos \delta \cos (\phi - S) \quad (2.11)$$

Y por medio de identidades trigonométricas, la inclinación óptima de un plano fijo para obtener radiación directa (máximo aprovechamiento de la radiación solar) estará dada por:

$$S = \phi - \delta \quad (2.12)$$

En la figura 2.8 [1] se ilustra el ángulo de inclinación para obtener radiación directa durante todo el año para las siguientes cuatro diferentes latitudes, mencionadas en la tabla 2.3

[1] Fuente: Elaboración propia

TABLA 2.3 LATITUDES ANALIZADAS

LATITUD	
0	Ecuador
17	Sur de la República Mexicana
19	Distrito Federal
26	Norte de la República Mexicana

Si consideramos que el plano para el que se ha calculado el ángulo de inclinación para aprovechar la radiación solar en forma directa, en un panel solar, es importante considerar que si vamos a instalar más de uno en una superficie plana (por ejemplo una azotea) qué separación debemos guardar para evitar sombras entre ellos.

La separación de paneles solares para evitar sombras si se colocaran en una superficie horizontal tendrá las indicaciones que se indican de la tabla 2.4. Para diferentes latitudes se ilustra en la figura 2.9.

TABLA 2.4 SEPARACION ENTRE PANELES.

LATITUD	TAMAÑO DEL PANEL	SEPARACION ENTRE CENTROIDES
0	100%	108%
17	100%	129%
19	100%	138%
26	100%	155%

Se toma el tamaño del panel como 100%

FIG.2.1 MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL

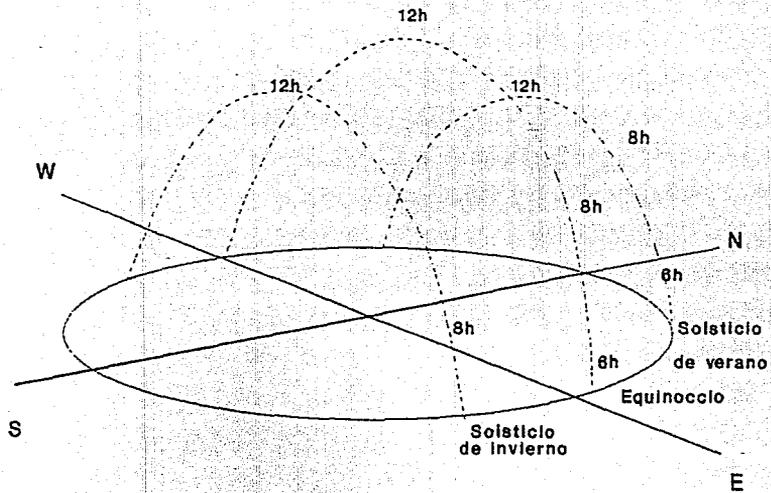
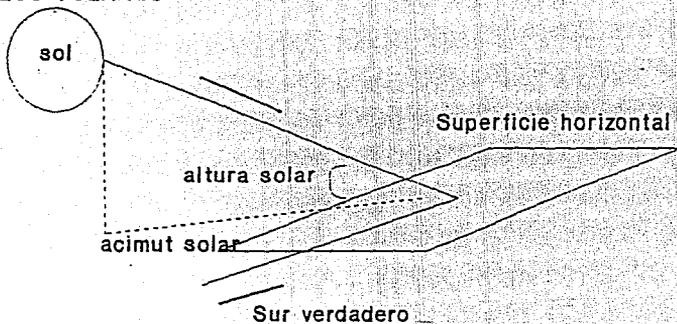
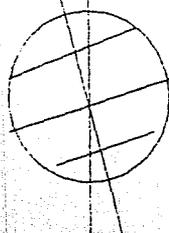


FIG. 2.2 ANGULOS SOLARES



LATITUD

Eje de rotación Perpendicular al plano de la orbita de la tierra



Latitud positiva

Ecuador (latitud 0 grados)

Latitud negativa

Fig 2.3 DECLINACION SOLAR

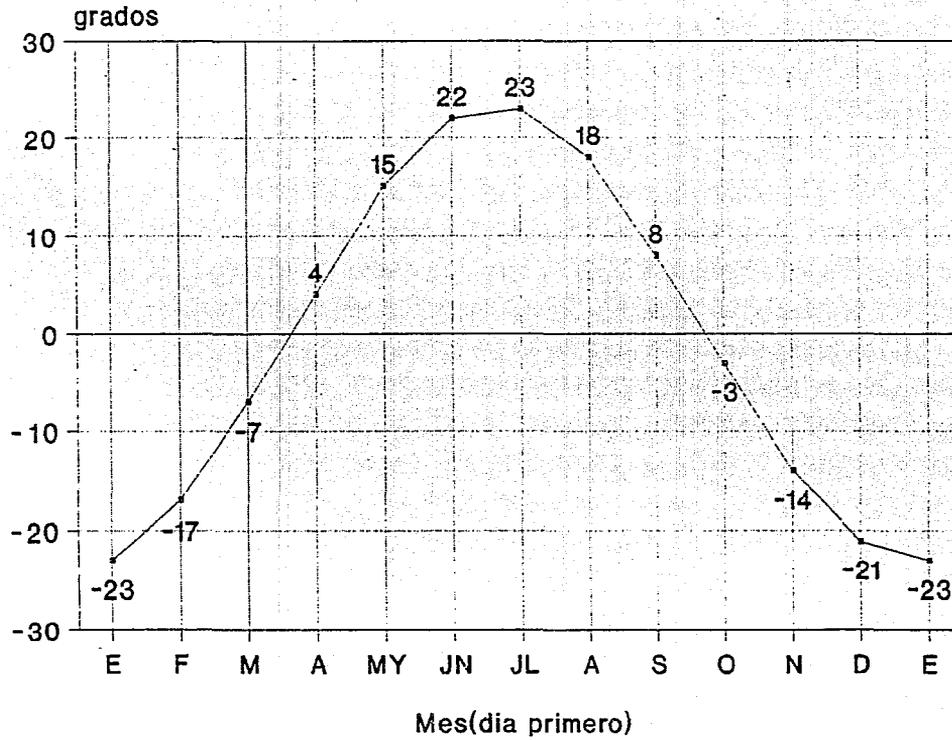


FIG. 2.4 ANGULO HORARIO

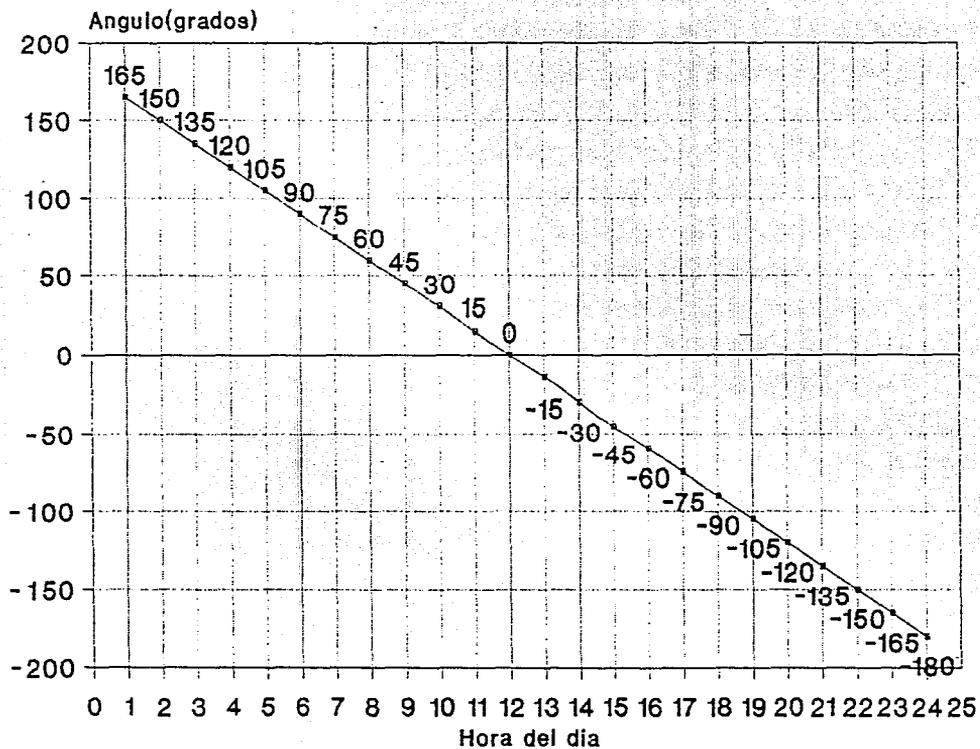


FIG. 2.5 ECUACION DEL TIEMPO

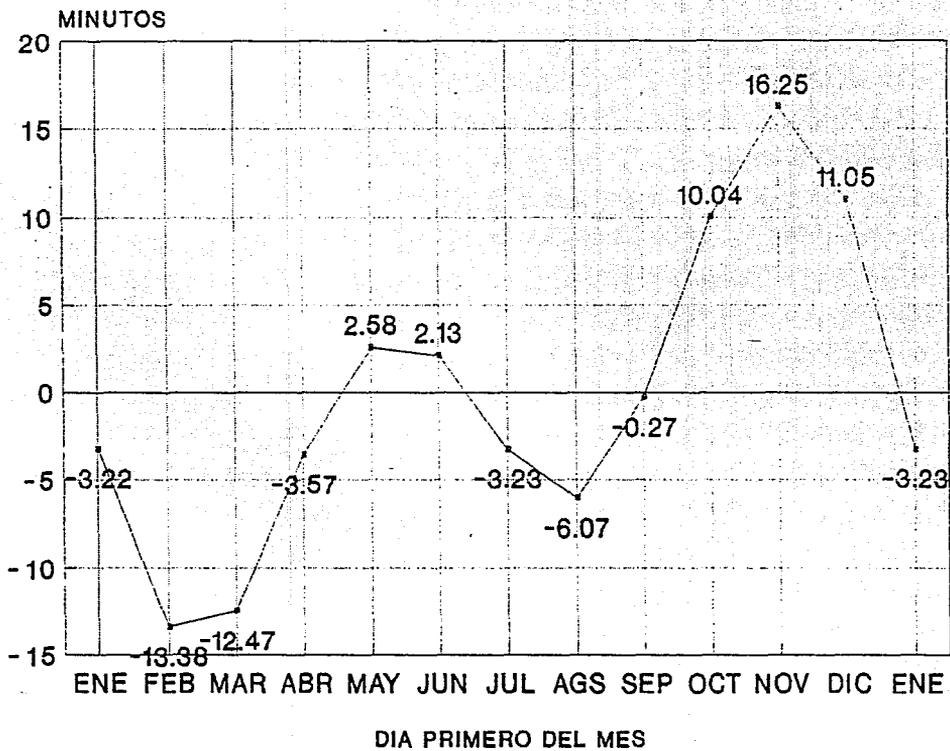
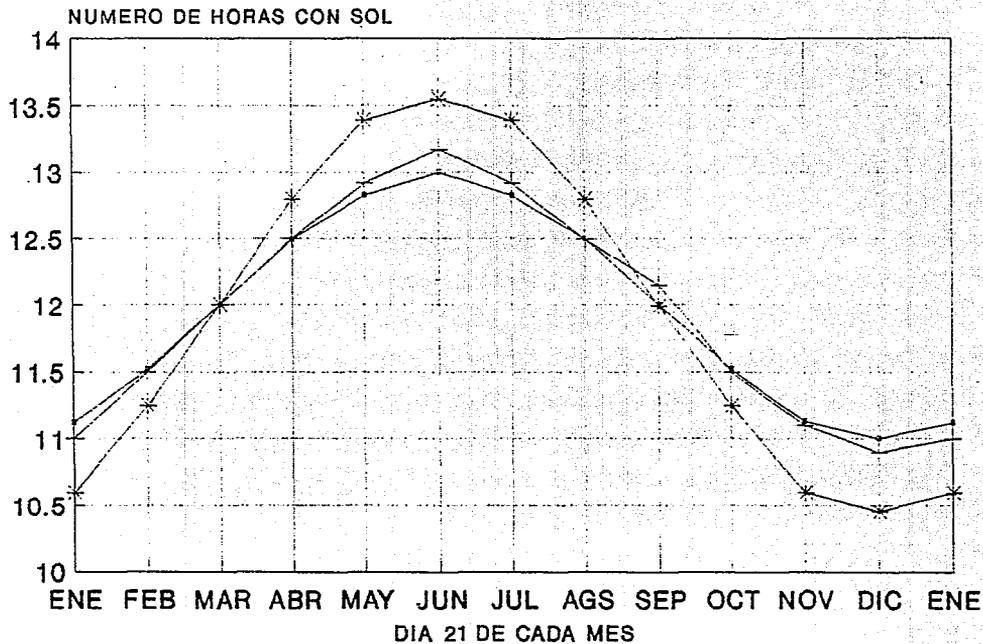


FIG. 2.6 ASOLEAMIENTO DIARIO



—•— LATITUD 17  
SUR DE LA  
REP.MEX

—+— LATITUD 19  
MORELOS

-\*- LATITUD 26  
NORTE DE LA  
REP.MEXICANA

FIG. 2.7 RADIACION DIRECTA SOBRE UN PLANO INCLINADO

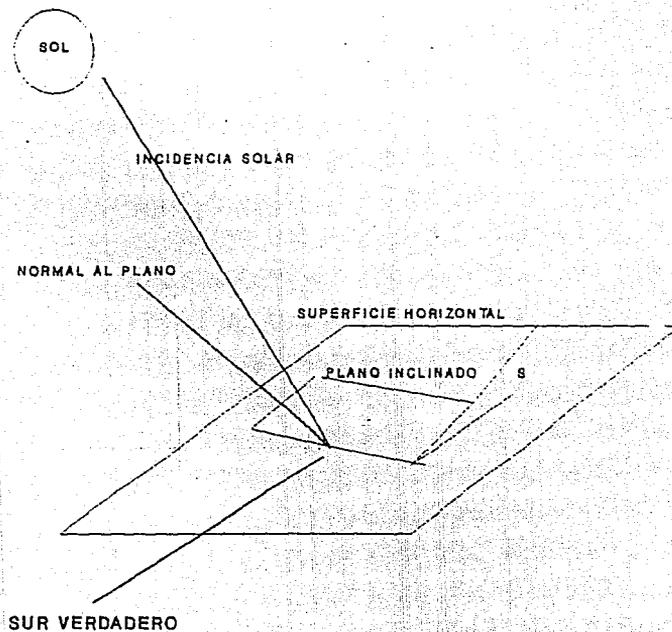


FIG. 2.8 ANGULO DE INCLINACION EN UN PLANO PARA OBTENER  
RADIACION DIRECTA DURANTE TODO EL AÑO

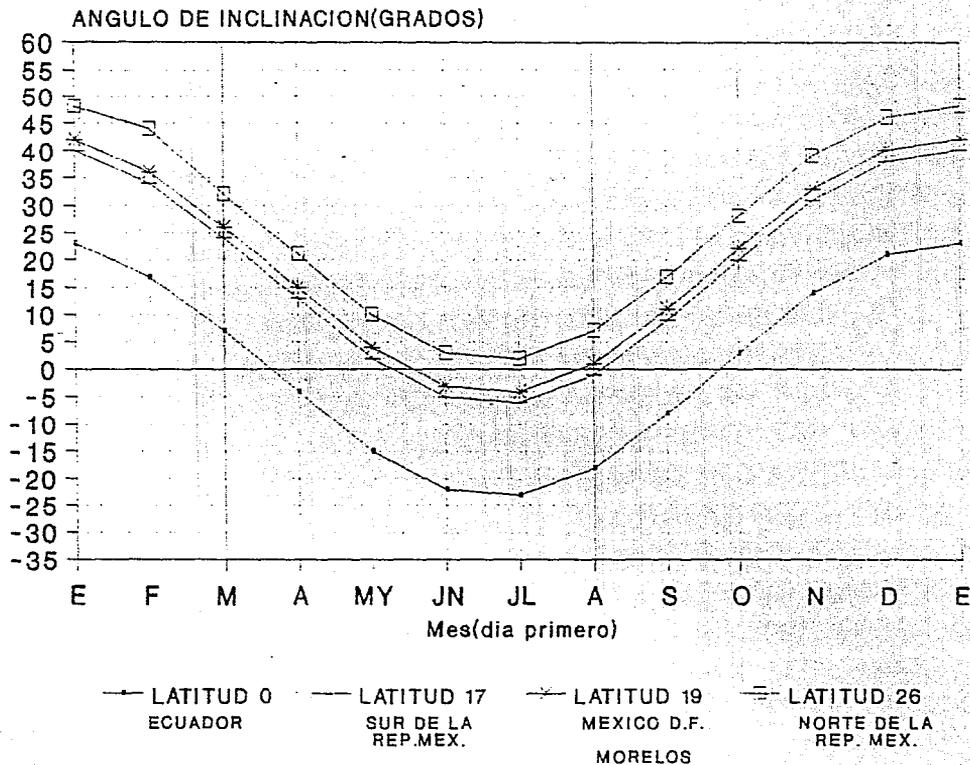
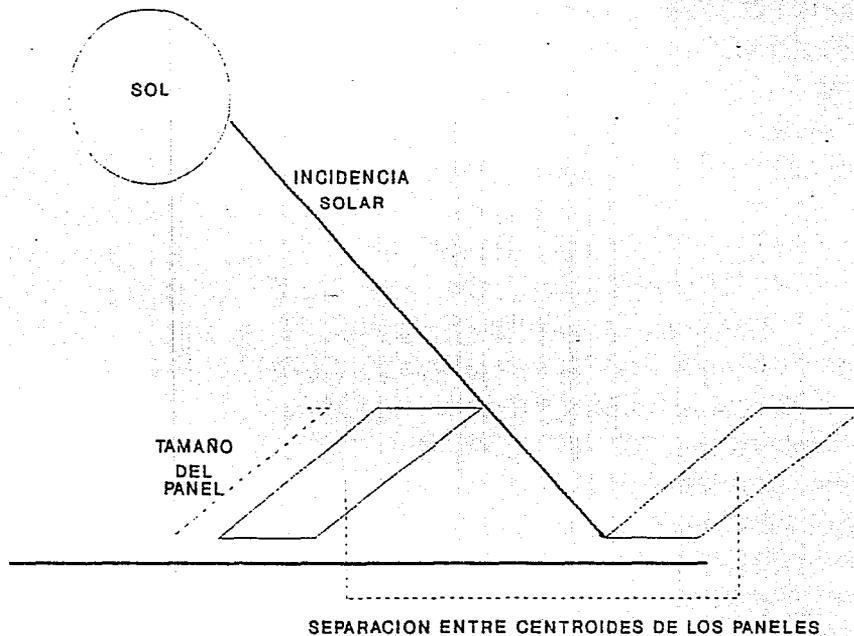


FIG. 2.9 SEPARACION ENTRE PANELES PARA EVITAR SOMBRAS





## TEMA III ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR

### 3.1 INTRODUCCION

La emisión de radiación solar se describe mediante un espectro de intensidad radiante que establece la proporción en que participan las diferentes longitudes de onda de las que está compuesta la radiación.

La mayor parte de los fotones emitidos por el Sol tienen una longitud de onda comprendida entre 0.3 y 3  $\mu\text{m}$  aunque solamente las que van desde 0.4 y 0.7  $\mu\text{m}$  son susceptibles de ser captadas por el ojo humano, formando lo que se conoce como "luz visible".

La luz "no visible" emitida por el sol, esto es, la radiación con longitud de onda menor que 0.4  $\mu\text{m}$  o mayor que 0.7  $\mu\text{m}$ , transporta también una considerable energía, que es preciso tener en cuenta.

Por otra parte, no toda la radiación solar interceptada por nuestro planeta llega hasta su superficie, debido a que la capa atmosférica supone un obstáculo al libre paso de la radiación mediante diversos efectos, entre los que cabe destacar la reflexión de una parte superior de las nubes y la absorción parcial por las diferentes moléculas del aire atmosférico. Este último fenómeno hace que la intensidad que llega a la superficie, aún en días despejados y con atmósfera muy limpia, sea como máximo de unos 1110  $[\text{W}/\text{m}^2]$ , aunque en la práctica rara vez se miden valores superiores a los 1000  $[\text{W}/\text{m}^2]$ .

También es preciso tener en cuenta que, a pesar de que los rayos solares viajen en línea recta, al llegar a las capas atmosféricas los fotones y chocar con las moléculas y el polvo en suspensión, sufren difusiones y dispersiones que se traducen en cambios bruscos de dirección. Aunque esta luz difundida finalmente llega también a la superficie, al haber cambiado muchas veces de dirección a medida que ha atravesado la atmósfera, lo hace, no como si procediese directamente del disco solar, sino de toda la bóveda celeste. Esta radiación es conocida con el nombre de difusa, en contraposición con la radiación directa, que es aquella que alcanza la superficie manteniendo la línea recta desde el disco solar. La suma de las radiaciones directa y difusa es la radiación total, que es la que nos interesa a efectos

energéticos. La radiación difusa hace que un cuerpo siempre esté recibiendo una cierta cantidad de energía por todas sus partes, incluso por las que no recibe la luz del sol directamente.

Aunque en un día despejado la radiación directa es mucho mayor que la difusa, ésta última será, evidentemente, la única forma posible de radiación en los días cubiertos, filtrándose más o menos homogéneamente por toda la bóveda celeste a través de la capa nebulosa. La radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que se recibe a lo largo del año. En cuanto a su distribución energética, hay que tener en cuenta que casi un 40% de la radiación que alcanza la superficie lo hace, no en forma de luz visible sino como radiación infrarroja.

Para medir la irradiación total que una superficie recibe en un determinado número de días (o meses) se emplean unos aparatos llamados piranómetros, los cuales detectan la intensidad de la radiación en cada instante y, acoplados a un ordenador, acumulan estos datos durante todo el tiempo que duran las medidas.

Un piranómetro colocado sobre una superficie perfectamente horizontal, libre de obstáculos a su alrededor que pudieran arrojar sombras sobre él, recibe la radiación total (directa más difusa) de toda la bóveda celeste, permitiendo evaluar la energía disponible en la zona en que se ubica y así, efectuar una primera estimación de la viabilidad de un sistema solar que pudiera aprovechar dicha energía. (Fig. 3.1).

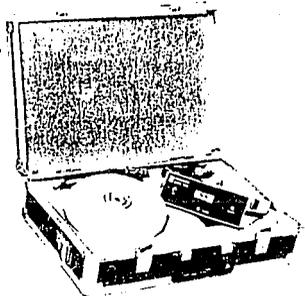


FIG. 3.1 EQUIPO MEDIDOR DE RADIACION SOLAR

Por último, cabe citar la radiación de albedo, que es la reflejada por los cuerpos situados alrededor de la superficie sobre la que nos interesa evaluar la radiación, y hay que añadirla a la directa y difusa que dicha superficie recibe. El albedo de los cuerpos es tanto mayor cuanto más claro sea el color de los mismos.

La influencia del albedo del entorno sobre la radiación incidente en un colector solar suele ser despreciable, y tan sólo en casos de ubicaciones muy particulares, como por ejemplo cuando existen paredes de color claro detrás de los colectores, puede suponer una pequeña ganancia adicional de energía.

### 3.2 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR.

La rapidez con que la energía solar incide sobre una superficie de área unitaria, colocada normalmente al sol en las capas más alejadas de la atmósfera de la tierra, se llama constante solar y es aproximadamente  $1.37 \text{ [KW/m}^2\text{]}$ . Sin embargo, es sustancialmente menor de  $1.37 \text{ [KW/m}^2\text{]}$  debido a que parte de la radiación es absorbida y dispersada al pasar a través de una capa de 90 millas de espesor de aire, vapor de agua, dióxido de carbono y polvo que envuelve a la tierra.

La cantidad de radiación solar sobre la tierra, depende de la posición geográfica, hora del día, época, del año, estado del tiempo e inclinación de la superficie.

La determinación del ángulo entre la dirección del haz de energía solar, la normal a la superficie, requiere un conocimiento de la posición del sol en el cielo, relativa a un observador en la superficie. La posición del sol depende por lo menos de dos movimientos simultáneos de la tierra, debido a que la tierra gira en el plano elíptico una vez cada 365.25 días alrededor del eje elíptico del sol y gira al mismo tiempo como giroscopo alrededor de su eje celeste que está inclinado a 23.5 grados con respecto al eje elíptico.

Hasta aquí se tiene una idea clara y precisa sobre la naturaleza de la radiación solar, los efectos de la atmósfera terrestre sobre esta, 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 fotovoltaica, se hace necesario conocer la magnitud de la radiación solar directa y difusa que llega a un lugar dado sobre la tierra.

En algunos países desarrollados existe información histórica experimental horaria, diaria y mensual acerca de la magnitud de la radiación solar en distintos sitios. Sin embargo, en países subdesarrollados o en vías de desarrollo, generalmente sólo se cuenta con estimaciones mensuales y de promedio para ello, existen técnicas para producir la magnitud de la radiación global haciendo uso de datos meteorológicos afines.

### 3.3 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR EN UN DIA EN UN METRO CUADRADO (H).

Existen distintos instrumentos para medir la radiación solar. Todos ellos la convierten a otra forma de energía dando como medida una lectura proporcional a la intensidad de la radiación.

Se han estimado un promedio de datos típicos de radiación solar acumulativo durante el día. (Tabla 3.1)

TABLA 3.1 RADIACION SOLAR ACUMULADA

HORA	ENERGIA (W-h/m <sup>2</sup> )	HORA	ENERGIA (W-h/m <sup>2</sup> )
1:00	0	14:00	4561
2:00	0	15:00	5479
3:00	0	16:00	6247
4:00	0	17:00	6819
5:00	0	18:00	7181
6:00	0	19:00	7331
7:00	29	20:00	7242
8:00	136	21:00	7342
9:00	359	22:00	7342
10:00	669	23:00	7342
11:00	873	24:00	7342
12:00	2580		

También se ha estimado la radiación promedio sobre una superficie horizontal en condiciones de cielo despejado, para diferentes latitudes. (Tabla 3.2)

TABLA 3.2 RADIACION PROMEDIO, H. [KJ/m<sup>2</sup>] SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL ENTRE DIFERENTES LATITUDES

LATITUD	0°	12°	24°
ENERO	25500	22000	17500
FEBRERO	26500	24000	19000
MARZO	27600	26000	24000
ABRIL	27600	27000	26100
MAYO	26500	27700	27800
JUNIO	25100	27800	29100
JULIO	25100	27600	28000
AGOSTO	26100	27500	27000
SEPT.	27600	26000	25000
OCT.	26000	24900	22500
NOV.	25500	23200	17000
DIC.	25000	22000	16900

Por otra parte, existen mapas de radiación mensual promedio para todo el mundo basadas en mediciones hechas durante un año. También se presentan los datos de radiación global mensual y anual para la República Mexicana. Así mismo se presentan mapas de la República Mexicana de radiación global diaria promedio en cada mes. (Ver figs. 3.2 a 3.14). Y se han considerado días promedios en cada mes de radiación global en base a mediciones durante todo el mes. (Tabla 3.3)

TABLA 3.3 DIAS DEL AÑO CONSIDERADOS PROMEDIO PARA CADA MES

MES	DIAS DEL AÑO	FECHA
ENERO	17	ENERO 17
FEBRERO	47	FEB. 16
MARZO	75	MARZO 16
ABRIL	105	ABRIL 15
MAYO	135	MAYO 15
JUNIO	162	JUNIO 11
JÚLIO	198	JULIO 17
AGOSTO	228	AGO. 16
SEPTIEMBRE	258	SEP. 15
OCTUBRE	288	OCT. 15
NOVIEMBRE	318	NOV. 14
DICIEMBRE	344	DIC. 10

Para la República Mexicana se observa en los mapas de líneas de radiación de energía solar, que la Península de Baja California, la costa Occidental y la Península de Yucatán, son las zonas más favorecidas con la radiación solar.

De una extensión territorial total de aproximadamente 2.000.000 [Km] casi 40% del país recibe de 20.93 [MJ/m] al día.

Para nuestro caso: el estado de Morelos se presenta una tabla (3.4) de datos de radiación solar extraídos de los mapas de radiación solar en la República Mexicana, ilustrados en las figuras 3.2 a 3.14.

TABLA 3.4 RADIACION SOBRE UNA SUPERFICIE HORIZONTAL DE UN METRO CUADRADO DE AREA  
LATITUD 19 GRADOS ESTADO MORELOS

MES	DIA DEL AÑO	MAXIMO NUMERO DE HORAS DE SOL	RADIACION GLOBAL DIARIA PROMEDIO
ENE.	17	11.5 HORAS	17.45 [MJ]
FEB	47	12	17.99
MAR	75	12.4	19.25
ABR	105	12.9	18.08
MAY	135	13.1	20.93
JUN	162	12.9	20.09
JUL	198	12.9	21.01
AGO	228	12.5	17.34
SEP	258	12	16.24
OCT	288	11.2	15.9
NOV	318	10.8	14.65
DIC	344	10.5	14.65

### 3.4 COEFICIENTE DE CORRECCION POR INCLINACION EN LOS PANELES (K).

A menudo es necesario conocer la radiación sobre una superficie inclinada cuando solamente se conoce la radiación que incide sobre un plano horizontal.

La radiación total que incide sobre una superficie está compuesta por:

RADIACION DIRECTA: Representa aproximadamente el 70% de la radiación global.

RADIACION DIFUSA: Representa aproximadamente el 30% de la radiación global.

RADIACION REFLEJADA DEL SUELO SOBRE UNA SUPERFICIE: Prácticamente es despreciable.

Si la superficie se encuentra inclinada hacia el sur, la relación de la radiación directa sobre un plano horizontal al mediodía será según la figura 3.15:

$$K = \frac{\sin \delta \sin (\phi - \delta) + \cos \delta \cos (\phi - \delta) \cos \omega}{\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega} \quad (1.7)$$

Los valores de K para todo el año en latitud  $19^\circ$  se resumen en la tabla 3.5.

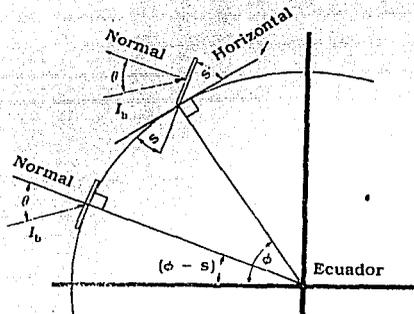


FIG. 3.15 INCIDENCIA DE RADIACION DIRECTA EN UNA SUPERFICIE HORIZONTAL Y EN UNA INCLINADA,  $I_b$  REPRESENTA LA INCIDENCIA DE LA RADIACION SOLAR.

De la ecuación (3.1) se calculó el factor K para una latitud de  $19^\circ$  con valores de (declinación solar) los días considerados "promedio del mes" y con una inclinación en la superficie de  $\theta$  a 85 grados.

Los resultados se resumen en la tabla 3.5.

Debido a que la radiación global que incide en

una superficie, está compuesta de radiación directa y difusa principalmente y que los equipos que miden radiación, miden radiación global, la tabla 3.6 sólo estará referida al 70% de la radiación global, puesto que el 70% de la radiación solar es la radiación directa y el 30% de la radiación global es debido a radiación difusa, por lo tanto el coeficiente de la radiación global sobre un plano inclinado será:

$$K = (K \text{ directa}) (.7) + .3 \quad (3.2)$$

Lo anterior, se ilustra en la tabla 3.6.

TABLA 3.5 COEFICIENTE PARA RADIACION DIRECTA EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

S	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC
-5												
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.07	1.03	1.02	1.09	0.99	0.99	0.99	1.03	1.02	1.01	0.84	1.07
10	1.14	1.09	1.04	1.01	0.98	0.97	0.98	1	1.03	1.07	0.88	1.14
15	1.19	1.12	1.06	1	0.96	0.94	0.95	0.98	1.04	1.1	0.92	1.2
20	1.24	1.15	1.06	0.99	0.93	0.91	0.92	0.96	1.03	1.12	1.2	1.25
25	1.28	1.17	1.06	0.97	0.9	0.87	0.89	0.94	1.02	1.13	1.22	1.29
30	1.31	1.19	1.04	0.94	0.86	0.83	0.84	0.9	1	1.13	1.24	1.32
35	1.33	1.17	1.02	0.9	0.81	0.77	0.79	0.86	0.98	1.12	1.25	1.34
40	1.34	1.16	1	0.86	0.77	0.72	0.74	0.82	0.95	1.12	1.26	1.35
45	1.34	1.14	0.93	0.81	0.7	0.65	0.68	0.76	0.9	1.08	1.24	1.35
50	1.33	1.12	0.92	0.76	0.6	0.58	0.61	0.71	0.86	1.05	1.22	1.32
55	1.31	1.08	0.87	0.67	0.57	0.51	0.54	0.64	0.8	1.01	1.19	1.32
60	1.27	1.04	0.81	0.63	0.5	0.43	0.46	0.57	0.74	0.96	1.1	1.27
65	1.23	0.98	0.75	0.56	0.42	0.35	0.39	0.5	0.68	0.9	1.08	1.24
70	1.18	0.92	0.68	0.49	0.34	0.27	0.3	0.42	0.61	0.83	1.06	1.2
75	1.12	0.86	0.61	0.41	0.25	0.19	0.22	0.34	0.53	0.75	0.99	1.14
80	1.06	0.8	0.53	0.32	0.17	0.1	0.13	0.25	0.45	0.7	0.92	1

TABLA 3.6 COEFICIENTE PARA RADIACION GLOBAL EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

S	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC
-5												
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.04	1.02	1.01	0.99	0.99	0.99	0.99	1.02	1.01	1.00	0.88	1.04
10	1.09	1.06	1.02	1.00	0.98	0.97	0.98	1	1.02	1.04	0.91	1.09
15	1.13	1.08	1.04	1	0.97	0.95	0.96	0.98	1.02	1.07	0.94	1.14
20	1.16	1.10	1.04	0.99	0.95	0.93	0.94	0.97	1.02	1.08	1.14	1.16
25	1.19	1.11	1.04	0.97	0.93	0.90	0.92	0.95	1.01	1.09	1.15	1.20
30	1.21	1.13	1.02	0.95	0.90	0.88	0.88	0.93	1	1.09	1.16	1.22
35	1.23	1.11	1.01	0.93	0.86	0.83	0.85	0.90	0.98	1.08	1.17	1.23
40	1.23	1.11	1	0.90	0.83	0.80	0.81	0.87	0.96	1.08	1.18	1.24
45	1.23	1.09	0.95	0.86	0.76	0.75	0.77	0.83	0.93	1.05	1.16	1.24
50	1.23	1.08	0.94	0.83	0.72	0.70	0.72	0.79	0.90	1.03	1.15	1.22
55	1.21	1.05	0.90	0.76	0.69	0.65	0.67	0.74	0.86	1.00	1.13	1.22
60	1.18	1.02	0.86	0.74	0.65	0.60	0.62	0.69	0.81	0.97	1.07	1.18
65	1.16	0.98	0.82	0.69	0.59	0.54	0.57	0.65	0.77	0.93	1.05	1.16
70	1.12	0.94	0.77	0.64	0.53	0.48	0.51	0.59	0.72	0.88	1.04	1.14
75	1.08	0.90	0.72	0.58	0.47	0.43	0.45	0.53	0.67	0.82	0.99	1.09
80	1.04	0.86	0.67	0.52	0.41	0.37	0.39	0.47	0.61	0.79	0.94	1

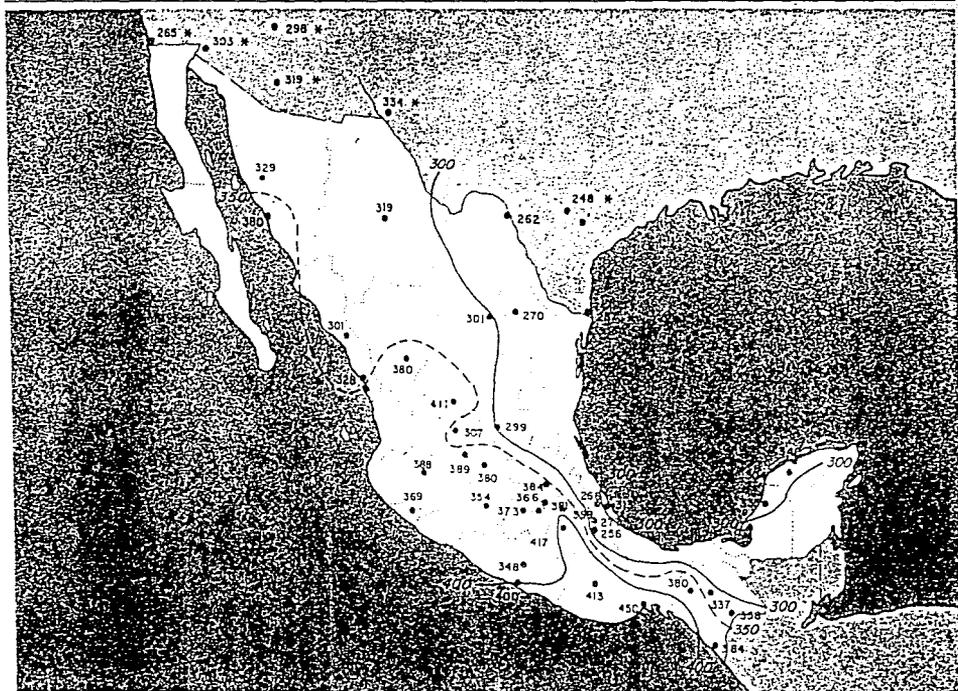


FIGURA 3. 2 Radiación global diaria promedio en el mes de enero (cal/cm<sup>2</sup>·día).

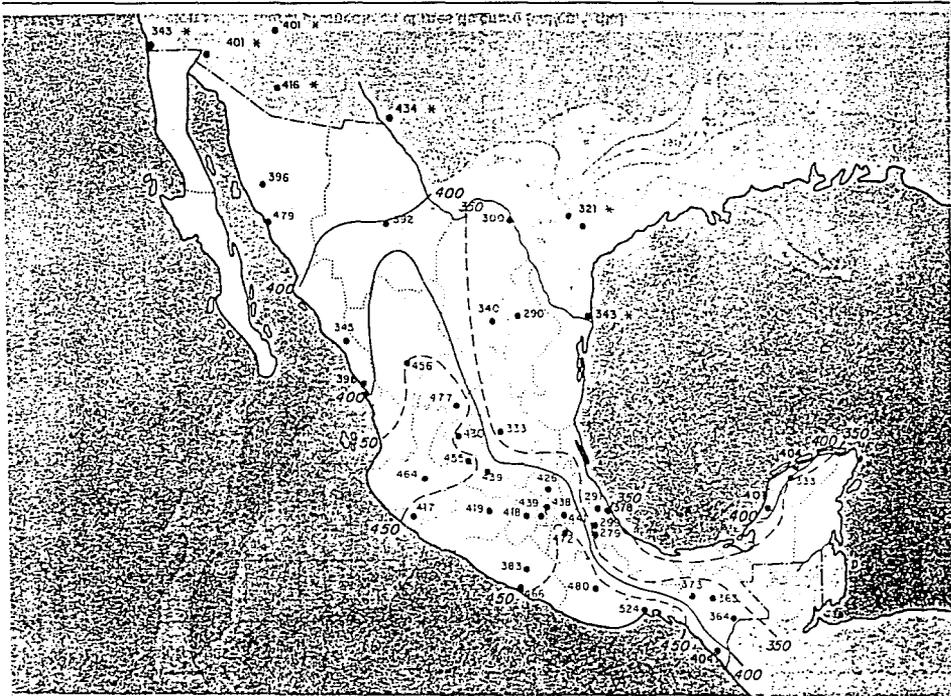


FIGURA 3.3 Radiación global diaria promedio en el mes de febrero (cal/cm<sup>2</sup>·día).



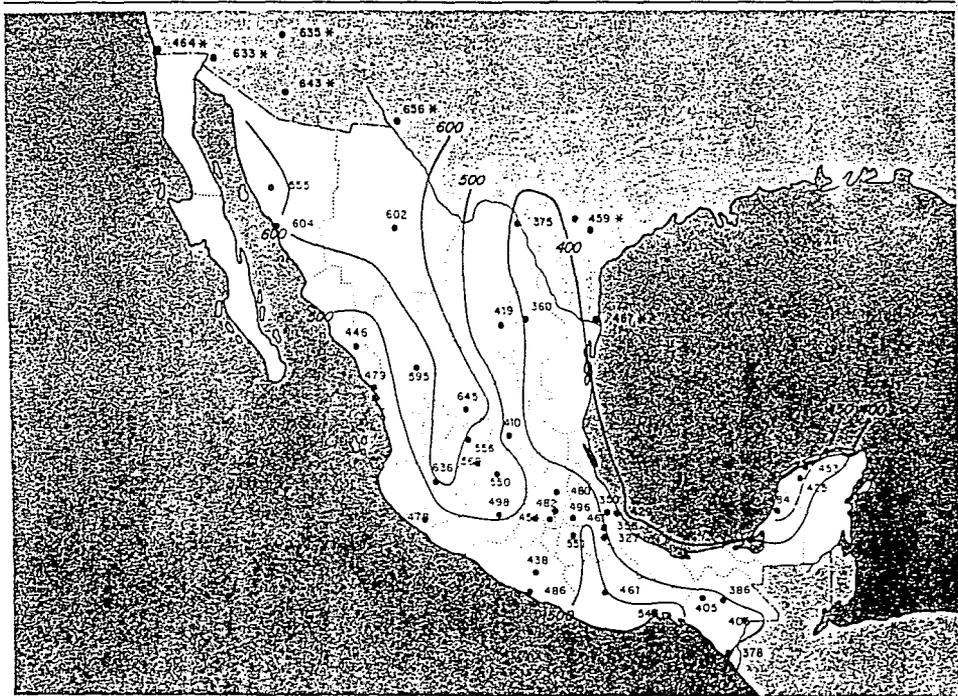


FIGURA 3. 5 Radiación global diaria promedio en el mes de abril (cal/cm²·día).





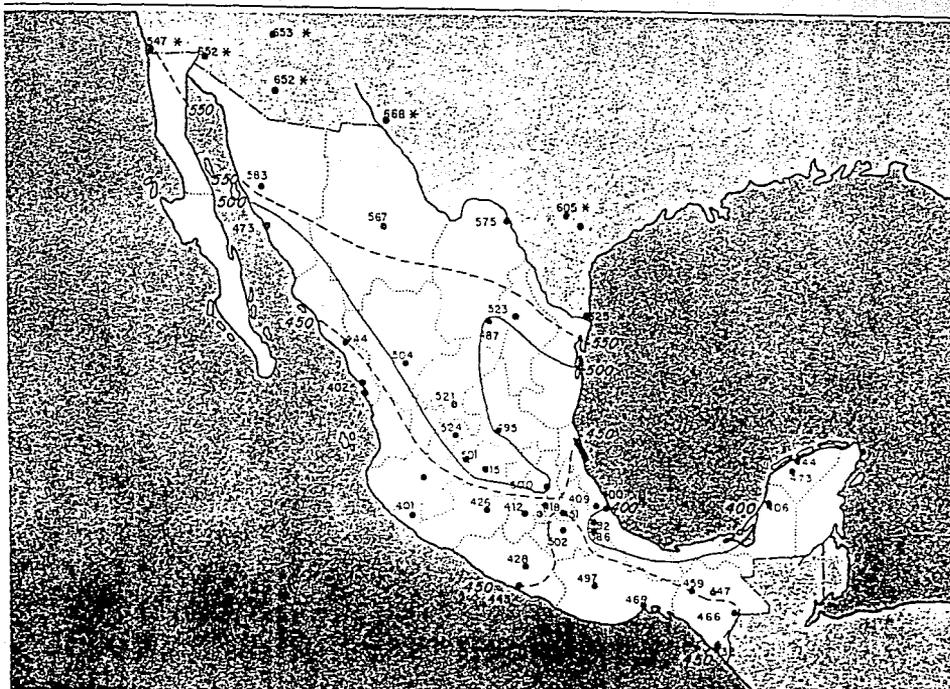


FIGURA 3.3 Radiación global diaria promedio en el mes de julio ( $\text{cal/cm}^2\text{-día}$ ).



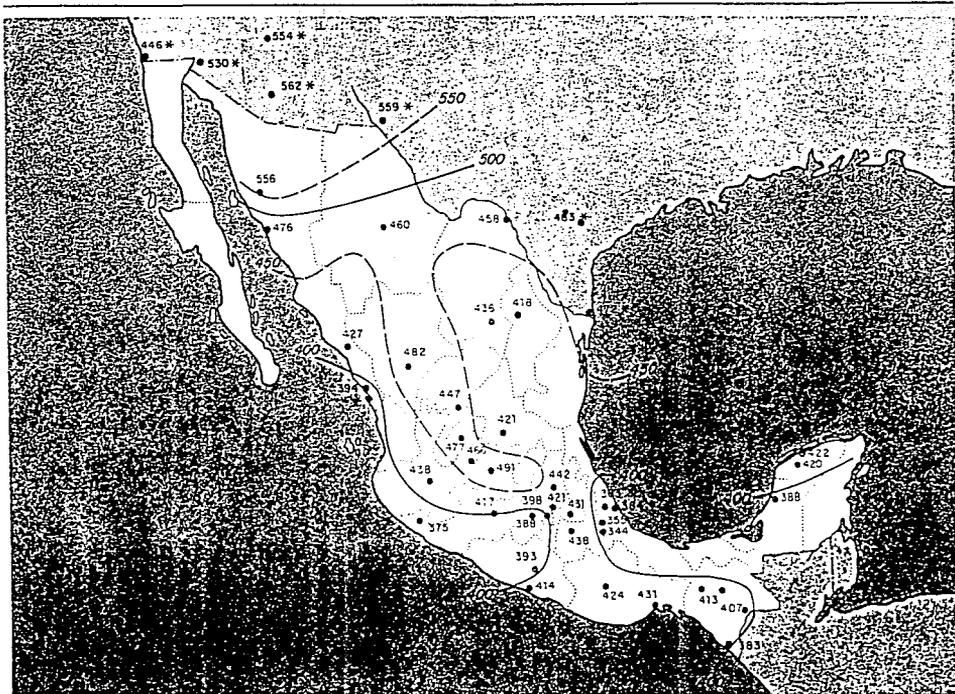


FIGURA 3.10 Radiación global diaria promedio en el mes de septiembre (cal/cm<sup>2</sup> · día).

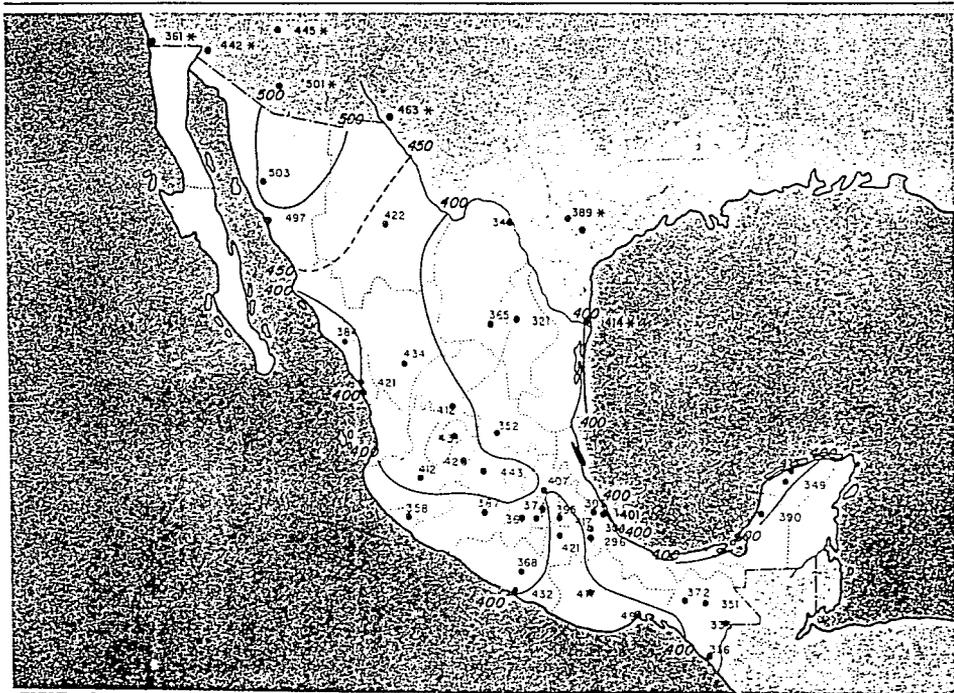


FIGURA 3.11 Radiación global diaria promedio en el mes de octubre (cal/cm<sup>2</sup>·día).





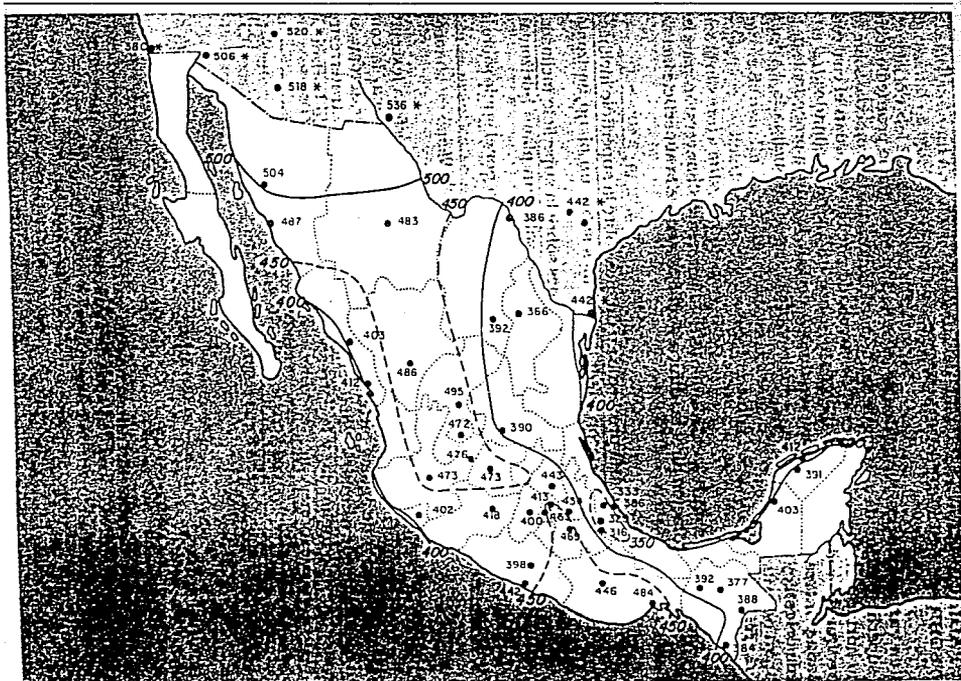


FIGURA 3.14 Radiación global diaria promedio en el año (cal/cm<sup>2</sup>·día).

## TEMA IV SISTEMAS DE CONVERSION

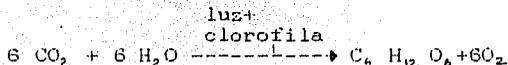
El flujo de radiación solar que llega a la tierra es la fuente primaria principal (y casi la única) de todas las formas de energía conocidas, asociadas a los procesos vitales.

### 4.1 PROCESOS NATURALES.

Casi el 30% de la radiación que llega a nuestro planeta es devuelta al espacio por reflexión. Un 47% se convierte en calor, al ser absorbida por la atmósfera, el suelo y los mares. Un 23% se invierte en la evaporación del agua de los océanos, lagos y ríos, así como en el ciclo hidrológico completo. El 0.2% es responsable de los movimientos de circulación atmosférica y oceánica. Solamente el 0.02% de la energía radiante incidente se utiliza en la producción de materia viviente, al ser capturada por las hojas verdes de las plantas. Este es el único proceso natural, aparte de otros procesos fotoquímicos de menor cuantía, que utiliza la radiación directamente, sin necesidad de convertirla previamente en energía térmica, como es frecuente en los demás procesos. Teniendo en cuenta la importancia de este proceso directo, merece la pena hacer una breve descripción el mismo.

Las plantas verdes, gracias al pigmento llamado clorofila, son capaces de utilizar los fotones de luz comprendidos entre unos determinados límites en cuanto a su longitud de onda (solamente un 25% aproximadamente del espectro solar es adecuado para este fin) para efectuar reacciones de síntesis de hidratos de carbono partiendo de  $\text{CO}_2$  atmosférico y del agua, produciendo también oxígeno.

La clorofila actúa como mediadora, absorbiendo la luz y activando una reacción fotoquímica que globalmente, se puede escribir así:



La energía solar queda almacenada en los hidratos de carbono formados, los cuales liberarán su energía al descomponerse, cuando la hoja se destruye. De esta forma se establece un equilibrio energético, mediante el cual

la planta devuelve con el tiempo toda la energía que ha absorbido. No obstante, puede ocurrir que esta descomposición no se llegue a producir por completo, al no haber oxígeno suficiente, como así ocurre cuando las plantas quedan enterradas.

En los últimos cientos de millones de años se ha ido acumulando bajo las capas de materiales terrosos materia orgánica con energía conservada, sufriendo lentos procesos químicos y dando origen a los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). El hombre ha logrado extraer de ellos la energía almacenada que, millones de años atrás, había sido absorbida del sol.

Hay que considerar, sin embargo, que este "capital energético" acumulado día a día durante muchos millones de años, no va a durar mucho si se sigue consumiendo con el creciente ritmo de los últimos años, consecuencia de las necesidades, cada vez mayores, de una sociedad altamente industrializada.

Los animales al alimentarse de las plantas, utilizan la energía en ellas acumulada, mediante procesos metabólicos. Esta energía liberada se emplea en el trabajo mecánico desarrollado por los músculos, en la síntesis de proteínas y de otras sustancias constituyentes de los tejidos, y en la producción de calor.

Toda la energía que el cuerpo humano utiliza también tiene, pues, su origen primario en el sol.

#### 4.1.1 EL CLIMA.

La energía solar, bajo las diferentes formas en que se convierte, es la responsable de una serie de alteraciones de la atmósfera, algunas de ellas con carácter periódico, que condicionan los valores de las variables físicas características (presión, temperatura, humedad, etc.) de nuestro habitat natural. Así como por ejemplo, la energía térmica, producida en mayor cuantía en las zonas ecuatoriales y templadas del globo, mantiene la circulación atmosférica impulsando los vientos (energía eólica), formando tormentas y proyectando las lluvias y nieves que afectan de forma directa nuestra forma de vivir.

La esfericidad del planeta determina de por sí grandes diferencias de temperatura en las distintas

latitudes. Esto es debido al desigual ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie, lo que implica una intensidad de radiación también diferente. En condiciones favorables, de cielo claro y atmósfera limpia, en las horas centrales del día puede recibirse aproximadamente 1 [KW] de potencia por cada metro cuadrado de superficie horizontal.

TABLA 4.1 INTENSIDAD TOTAL SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL EN UN TÍPICO DÍA CLARO, PARA DIVERSAS ALTURAS SOLARES ( $\delta$ ).

$\delta$ (°)	I (W/m <sup>2</sup> )
10	107
20	294
30	473
40	635
50	773
60	885
70	969

Otros factores influyen en la climatología de las distintas zonas del globo, entre los que cabe citar la humedad atmosférica causada por la proximidad de grandes masas de agua, las extensas zonas de vegetación, las cadenas montañosas y el propio hombre, el cual a través de sus muchas realizaciones, es capaz de alterar el delicado equilibrio natural.

Puede haber fuertes variaciones climáticas locales, de forma que las condiciones varíen bastante en dos lugares situados a escasos kilómetros. Así, un pueblo en el fondo de un valle al abrigo de altas montañas puede tener un clima muy distinto que su vecino del otro lado de las mismas. Estos microclimas tienen suma importancia, ya que los datos y tablas de que se dispone únicamente se refieren a valores medios, generalmente medidos en las capitales de provincia, habiendo de modificarse de acuerdo con el lugar exacto donde haya de ser ubicada la instalación solar.

El factor más importante que influye en la cantidad de energía solar incidente en una localidad o zona determinada es la proporción de días nublados que se dan al año.

## 4.2 DIFERENTES TIPOS DE CONVERSION.

En la tabla 4.2 se observa en general los tipos de conversiones, de los cuales estudiaremos los siguientes:

- |                        |   |  |
|------------------------|---|--|
| CONVERSION TECNOLOGICA | : | 1. Conversión termica por colectores planos. (Efecto - Invernadero). |
|                        |   | 2. Conversión Fotoeléctrica.   |
|                        |   | 3. Conversión Termoelectrica.  |
| CONVERSION NATURAL     | : | 1. Conversión Fotoquímica.   |
|                        |   | 2. Conversión Fotobiológica.   |
|                        |   | 3. Fotosíntesis (Comentada anteriormente).                           |

## 4.3 CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO.

### 4.3.1 PROCESOS TECNOLOGICOS: CONVERSION UTIL DE LA ENERGIA SOLAR.

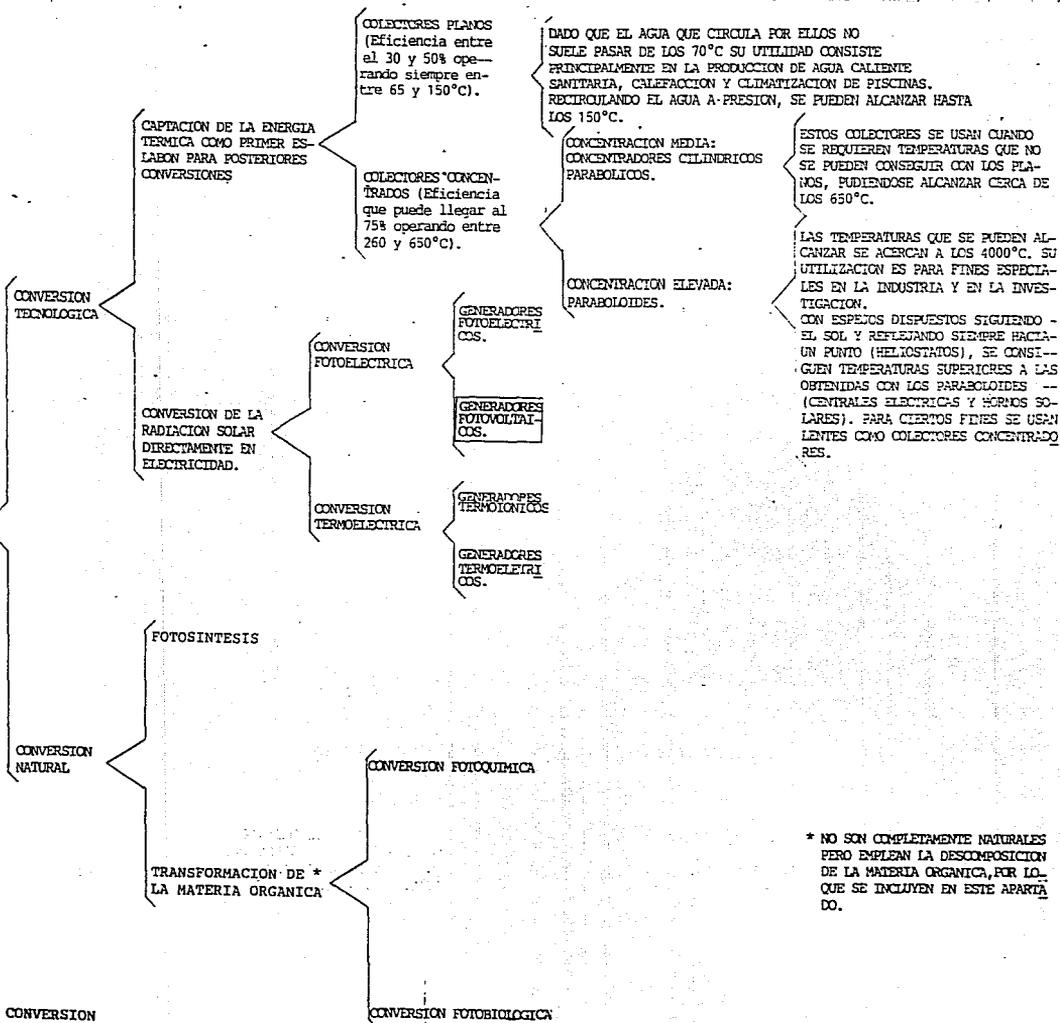
El objetivo es aprovechar al máximo los efectos físicos de la radiación, adecuando los dispositivos de captación de la misma a fin de obtener la energía en la forma que se precise para cada necesidad.

Diremos que la conversión es DIRECTA cuando ésta se realiza en una sola etapa, es decir, cuando se pasa en un solo proceso de la energía de radiación electromagnética que transporta la luz solar a la forma final de energía utilizable, e INDIRECTA cuando la forma final de energía proviene de la energía solar a través de dos o más procesos intermedios.

Por conversión directa la energía solar es capaz de transformarse en energía térmica o en energía eléctrica, procesos que tienen una gran importancia tecnológica.

Indirectamente, la energía solar puede producir energía útil a través de procesos intermedios, como el viento, cuya energía, llamada eólica, se puede utilizar para diversos fines. También podrían citarse varios procesos termoeléctricos y termodinámicos. En estos

FORMAS DE CAPTAR LA RADIACION SOLAR PARA SU POSTERIOR CONVERSION EN OTRAS FORMAS DE ENERGIA.



\* NO SON COMPLETAMENTE NATURALES PERO EMPLEAN LA DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA, POR LO QUE SE INCLUVEN EN ESTE APARTADO.

TABLA 4.2 TIPOS DE CONVERSION

últimos, la energía solar se convierte en energía térmica y ésta a su vez en cinética, normalmente de rotación, para producir finalmente energía eléctrica.

#### 1.- PROCESOS TERMICOS DIRECTOS:

La energía solar, al incidir sobre cualquier objeto, pasa de inmediato a la forma de energía térmica, forma ésta que surge en la mayoría de los procesos de conversión de un tipo de energía a otro y por esa razón es la más fácil de producir por medios tecnológicos.

Es un hecho conocido que la radiación solar calienta los cuerpos sobre los que incide (todos hemos sentido el calor de los rayos solares en nuestra epidermis). La cantidad de energía cedida por la radiación depende, además la intensidad incidente, de la capacidad de absorción del cuerpo en cuestión. Así, un cuerpo con una superficie altamente reflectante devolverá la mayor parte de la radiación que reciba y, por lo tanto, no se calentará demasiado al exponerlo al sol. Por el contrario, los cuerpos poco reflectantes aprovecharán casi toda la energía radiante que les llegue, convirtiéndola en térmica y calentándose apreciablemente.

Los cuerpos oscuros o negros presentan dicho aspecto porque su superficie tiene una composición adecuada para absorber casi todas las longitudes de onda del espectro de luz visible. Precisamente nuestro ojo los ve oscuros por que es muy escasa la luz reflejada que puede llegar a la retina. Los cuerpos blancos reflejan la luz en todas o casi todas las regiones del espectro visible. Si se exponen al sol dos cuerpos iguales, uno pintado de negro y otro de blanco, el primero de ellos se calentará apreciablemente más rápido.

El captador de energía solar más simple posible es un cuerpo pintado de negro mate y con una conductividad térmica alta (por ejemplo un metal), para que la energía térmica que continuamente se produzca en su superficie pueda propagarse con facilidad a la zona que nos interesa. Normalmente basta una red de tubos por donde circula un fluido encargado de recoger a su vez esta energía térmica.

Puede optimizarse la eficacia de cualquier captador mediante diversas técnicas basadas en efectos físicos, entre los que destaca el efecto invernadero, el cual evita que la energía térmica vuelva a escaparse del captador, y que es aprovechado en la mayor parte de los

colectores térmicos que existen.

Algunos sistemas utilizan la concentración de los rayos solares mediante espejos curvos o lentes para elevar considerablemente la intensidad de la radiación incidente sobre la superficie absorbidora y por tanto, logran alcanzar temperaturas muy altas, a veces necesarias para procesos específicos. Estos sistemas de concentración implican mayor complejidad tecnológica y su uso está restringido a aplicaciones especiales.

#### 1a) EFECTO INVERNADERO.

La radiación electromagnética, al incidir sobre un cuerpo, puede ser total o parcialmente absorbida. Otra parte puede reflejarse, y una tercera atravesar el cuerpo en cuestión.

La proporción relativa en que se producen los tres efectos anteriores depende de la naturaleza del cuerpo, del estado de la superficie, del espesor atravesado, de la longitud de onda de la radiación y del ángulo de incidencia del rayo con respecto a la superficie del cuerpo.

La energía contenida en la parte de la radiación que es absorbida hace que el cuerpo se caliente y emita a su vez radiación, cuya longitud de onda predominante dependerá de la temperatura de éste. Llamamos cuerpo transparente al que deja pasar a través la radiación electromagnética.

Algunos cuerpos son transparentes sólo para ciertas zonas del espectro electromagnético, pero resultan opacos para otras. El vidrio, por ejemplo, es transparente entre 0.3 y 3  $\mu\text{m}$ , resultando opaco para una mayor longitud de onda.

La mayor parte del espectro de la radiación solar está comprendido entre 0.3 y 3.4  $\mu\text{m}$ , por lo que la luz solar atraviesa el vidrio sin mayor problema (una pequeña parte es reflejada en su superficie y otra absorbida en su interior en mayor o menor grado, según el espesor).

En un típico c.p.p. <sup>D)</sup> cuya cubierta sea de vidrio, el absorbedor, que es la parte del colector, generalmente metálica, en donde se efectúa la conversión de energía electromagnética en térmica, está situado bajo la cubierta y a unos pocos centímetros de distancia de

ésta.

Después de atravesar el vidrio, la radiación llega a la superficie del absorbedor, el cual se calienta y emite a su vez radiación con una longitud de onda más o menos comprendida entre 4.5 y 7.2  $\mu\text{m}$ , para la cual el vidrio es opaco.

Así, la radiación emitida por el absorbedor y devuelta hacia el vidrio de la cubierta es reflejada en un pequeño porcentaje por la superficie interior de dicho vidrio, pero el resto es absorbida, no consiguiendo escapar al exterior. Ahora es el propio vidrio el que se calienta y comienza también a emitir radiación. Aproximadamente la mitad de esta radiación se emite hacia el exterior, perdiéndose, pero la otra mitad vuelve hacia el interior y contribuye así a calentar aún más la superficie del absorbedor. Es este último fenómeno lo que se conoce como Efecto Invernadero. (fig. 4.1.)

Ciertos plásticos tienen propiedades análogas a las del vidrio y pueden igualmente ser utilizados como cubiertas de los colectores.

Aparte de producir el efecto invernadero, la cubierta transparente modifica las transferencias térmicas por convección entre el absorbedor y el ambiente exterior, reduciéndolas considerablemente, lo que es muy positivo.

---

(2)c.p.p.: Colector de placa plana. Es el encargado de captar la radiación solar y convertir su energía en energía calorífica. Este colector es el más adecuado para aprovechar la radiación solar para calentar agua. Presenta un aspecto de rectángulo plano cuando se le observa desde una cierta distancia, siendo en realidad un paralelepípedo rectangular. Normalmente una de sus caras está constituida por una cubierta transparente o translúcida de vidrio o plástico, aunque en algunos modelos dicha cubierta no existe.

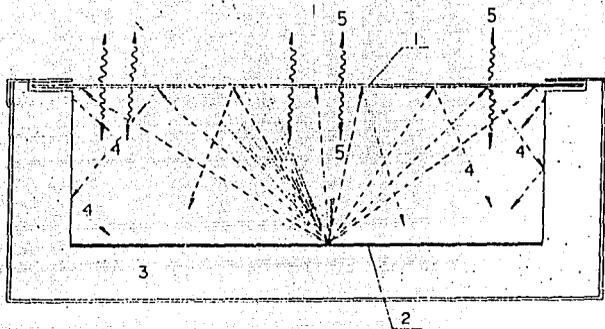


FIG. 4.1 ILUSTRACION DEL EFECTO INVERNADERO EN UN CORTE TRANSVERSAL DE UN COLECTOR TEORICO. PARA UNA MAYOR CLARIDAD LA ESCALA ESTA DISTORSIONADA Y NO CORRESPONDERIA A LA FIGURA DE UN COLECTOR REAL. 1 CUBIERTA TRANSPARENTE. 2 PLACA ABSORBEDORA. 3 AISLAMIENTO. 4 RADIACION REFLEJADA EN EL INTERIOR DEL COLECTOR. 5 RADIACION EMITIDA POR LA CUBIERTA AL CALENTARSE.

Otro proceso térmico directo que podemos mencionar, el que se utiliza para la calefacción de habitaciones es el siguiente:

#### 1b) SISTEMAS DE CALEFACCION SOLAR.

Básicamente existen dos enfoques distintos para la calefacción solar en las habitaciones: activo y pasivo.

En general, los sistemas activos emplean sistemas auxiliares mecánicos para captar y transportar el calor. Estos sistemas, en general, emplean como elementos fundamentales: colectores planos o de concentración (normalmente situados sobre la cubierta de la habitación) y un equipo independiente de almacenamiento de calor (lecho de grava, depósito de agua o la combinación de ambos). El agua o el aire, bombeados a través del colector, absorben calor y lo transportan al depósito

térmico. Después, mediante un sistema mecánico de distribución, este calor se extrae del almacenamiento y se distribuye sólo por los distintos espacios de la habitación.

Por el contrario, los sistemas pasivos captan y transportan el calor mediante sistemas no mecánicos. La definición más corriente de un sistema pasivo de calefacción solar, o de refrigeración, es la de que es un sistema en el que los flujos térmicos de energía se transportan por medios naturales, como la radiación, la conducción y la convección natural. En esencia, la construcción de la habitación, total o parcialmente, es el sistema. No existen colectores independientes, equipos de almacenamiento ni elementos mecánicos. La diferencia más clara entre ambos sistemas consiste en que los pasivos funcionan con la energía aprovechable de su entorno inmediato y los sistemas activos utilizan, además, energía elaborada, como la electricidad, para alimentar ventiladores y bombas, sin los cuales el sistema no podría trabajar.

En resumen, un sistema pasivo es un sistema de calefacción solar que no utiliza fluidos en movimiento, sino que aprovecha un diseño arquitectónico óptimo.

1c) Como ejemplo de lo anterior tenemos EL SISTEMA DE ABSORCIÓN DIRECTA.

La absorción directa (acristalamiento al sur adicional) constituye el enfoque más sencillo para una calefacción solar. Un sistema por absorción directa consiste en una gran cantidad de cristal aislante adicionado a la fachada sur de la habitación utilizando póstigos o cortinas aislantes durante las noches.

La absorción directa actúa de acuerdo con el principio de que se absorbe más calor durante un día soleado del invierno a través de un acristalamiento aislante y situado verticalmente con una orientación hacia el sur del que se pierde a través del mismo tanto durante el día como durante la noche.

Esta idea consiste en instalar una gran cantidad de cristales orientados hacia el sur: permitir que los rayos del sol invernales sean absorbidos hacia el interior de la habitación; y aislar e impermeabilizar cuidadosamente para atrapar el calor en su interior.

Mediante la absorción directa, la habitación

actúa como colector solar. Durante el día los rayos del sol invernales atraviesan las ventanas orientadas hacia el sur. La energía solar que entra resulta absorbida por los muebles, muros, piso y techo. Cuando la energía solar es absorbida, se transforma en calor, calor solar. Este proceso, a su vez, calienta el aire de la habitación. Cuando se utiliza almacenamiento térmico, la luz solar incide directamente sobre el material de acumulación y lo calienta. Luego, el calor es cedido lentamente hacia la habitación a medida que se enfría el material acumulador.

La absorción directa es ideal en el caso de habitaciones empleadas durante el día o, con acumulación térmica, para las utilizadas tanto de día como de noche. Aquellos lugares que dispongan de poca luz solar pueden beneficiarse de la absorción directa, en contraposición con los termosifones o los colectores activos en los que se utilizan placas de absorción exteriores para la absorción del calor solar. Mediante el empleo, durante la noche de cortinas térmicas, la absorción directa puede resultar extremadamente efectiva, reduciendo el consumo auxiliar de combustible entre un 20 a un 50%.

## 2. PROCESOS DIRECTOS DE CONVERSION ELECTRICA.

La energía solar se puede aprovechar para su conversión en energía eléctrica de diversas formas. Hay procedimientos que transforman la energía radiante del sol en electricidad mediante el efecto fotovoltaico (células solares) o mediante previa transformación en calor (dispositivos termoeléctricos, termoiónicos).

Se van a describir distintos procedimientos para obtener energía eléctrica a partir de energía solar, sin pasar por la etapa intermedia correspondiente a la energía mecánica. Es decir, sin necesidad de mover una turbina y, por tanto, sin necesidad de obtener vapor de agua.

La conversión directa de la energía solar en energía eléctrica puede realizarse mediante:

- 2a) Generadores fotoeléctricos.
- 2b) Generadores fotovoltaicos.
- 2c) Generadores termoiónicos.
- 2d) Generadores termoeléctricos.

## 2a) GENERADORES FOTOELÉCTRICOS:

Se ha observado experimentalmente que determinados metales expulsan electrones cuando se iluminan. La expulsión de los electrones sólo tiene lugar cuando la luz, energía radiante, que incide sobre el metal, tiene una frecuencia mínima, llamada umbral. Por tanto, no toda la energía que procede del sol es eficaz a la hora de expulsar electrones de un metal.

No obstante el inconveniente señalado, al principio se pensó que el efecto fotoeléctrico podía ser aprovechado para transformar la energía solar en energía eléctrica. Actualmente, todas las experiencias realizadas en este sentido han quedado completamente oscurecidas por el éxito espectacular alcanzado por las células solares o generadores fotovoltaicos.

## 2b) GENERADORES FOTOVOLTAICOS.

Los generadores fotovoltaicos o células solares han desempeñado un papel muy importante en los viajes espaciales. En ellos se necesita energía eléctrica, y ésta se obtiene a partir de la energía solar. No es necesario ningún sistema de almacenamiento, por que el satélite está continuamente iluminado por el sol.

En medios norteamericanos se manifestó, en 1973, que para el año 2000 aproximadamente el 2% del consumo nacional de electricidad sería suministrado por células solares, y que para el año 2020 este consumo se elevaría a más del 25%. Puesto que la principal desventaja de las células solares es su elevado precio, el gobierno norteamericano está subsidiando un programa de desarrollo y de investigación tendente a conseguir que la energía eléctrica, obtenida por este procedimiento, llegue a ser verdaderamente competitiva.

Una célula solar funciona de una manera análoga a como funciona una central hidroeléctrica. En una central hidroeléctrica el agua cae desde un nivel elevado a otro más bajo, y en su caída mueve una turbina en la que se genera energía eléctrica. El desnivel entre los dos depósitos se establece gracias al calor del sol que evapora el agua; esta vuelve a la tierra en forma de lluvia y llena el depósito que se encuentra a nivel más elevado (presa) Fig. 4.2.

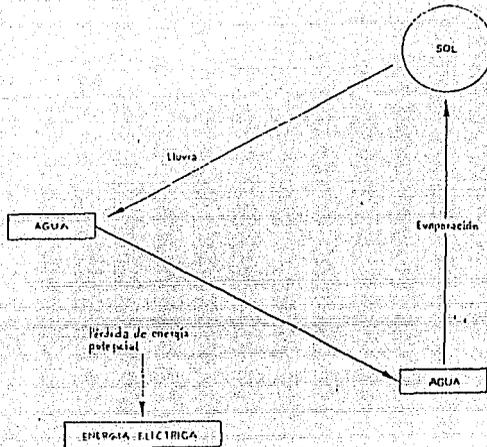


FIG. 4.2

En una célula solar (Fig. 4.3.) existen también dos "depósitos", en este caso, de electrones. De manera análoga a como surge una corriente de agua cuando se abren las compuertas de la presa, se establece una corriente eléctrica cuando se unen, mediante un conductor, los dos "depósitos de electrones". También en este caso es la energía solar la que, de una manera u otra, mantiene el "desnivel" entre los dos "depósitos".

Un semiconductor es un material que bajo ciertas circunstancias es capaz de crear una fuerza electromotriz. Bajo el nombre de semiconductores se conocen un conjunto de sustancias cuya resistividad está comprendida entre  $10^{-6}$  y  $10^8$  [Ω] y que poseen ciertas propiedades características.

Algunos semiconductores son elementos químicos puros, como por ejemplo el boro, el silicio y el selenio y otros son compuestos químicos, como el arseniuro de galio.

Existen dos tipos de semiconductores : los denominados de TIPO N y los de TIPO P. A los primeros se les puede forzar, mediante la adición de pequeñas cantidades de impurezas apropiadas, a tener un exceso de electrones en determinadas posiciones y a los segundos un defecto de ellos, o lo que es equivalente, un exceso de "huecos" (lugares vacíos dejados por los electrones al emigrar estos a otras posiciones).

Al ponerse en contacto un cuerpo cristalino semiconductor de TIPO N con otro TIPO P se crea una unión P-N, la cual posee unas propiedades especiales.

Tanto los electrones en exceso del semiconductor N como los huecos del P tienden a difundirse a través de la superficie común de separación, penetrando un poco al otro lado de dicha frontera.

Como cada semiconductor es globalmente un cuerpo eléctricamente neutro, esta difusión de electrones y huecos, debida a la diferente concentración de unos y otros en cada lado de la superficie, hará que el semiconductor N se cargue positivamente y el P negativamente, estableciéndose así una diferencia de potencial de algunas décimas de volts, la cual da lugar a un campo eléctrico que restablece el equilibrio, evitando que continúe el flujo de los portadores de carga.

Sin embargo; si incide luz sobre la zona de unión, los fotones de la misma liberarán electrones adicionales y al mismo tiempo dejarán huecos en su lugar. Estos pares electrón-hueco, por efecto del campo eléctrico, adquieren movimiento (energía) y pueden ser recogidos mediante un conductor; aparece una corriente eléctrica. Notemos que la energía eléctrica proviene, pues, de los fotones de la luz, por lo que la corriente cesa en cuanto ésta se suprime.

Elementos normalmente usados para la obtención de electricidad fotovoltaica son el silicio, el selenio y el galio, aunque también comienzan a utilizarse otros materiales diversos monocristalinos, policristalinos e incluso amorfos.

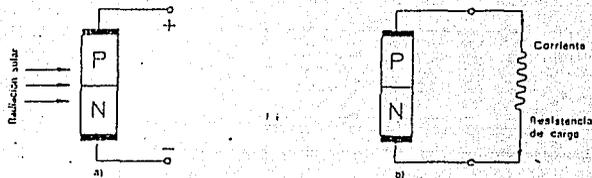


FIG. 4.3 a) EFECTO FOTOVOLTAICO. b) CONVERSION DIRECTA DE LA ENERGIA SOLAR EN ENERGIA ELECTRICA (CELULAS SOLARES):

En la práctica, la célula solar consta de una pequeña oblea de unos 20 [mm<sup>2</sup>] de área y 0.3 [mm] de espesor, dispuesta como se indica en la figura 4.4.

El contacto negativo está constituido por una estrecha franja metálica, colocada en un borde y con delgadas ramificaciones. El contacto positivo está formado por una delgada película metálica que cubre la parte posterior de la célula.

Cada célula solar produce de 0.40 a 0.45 [V] de diferencia de potencial. Un panel fotovoltaico solar consta de un determinado número de células solares, conectadas en serie, paralelo o serie paralelo, con el fin de obtener una mayor flexibilidad en las tensiones y corrientes deseadas. Todo el conjunto se cubre adecuadamente para protegerlo de las inclemencias del tiempo y se le dota de una especie de ventana en la parte anterior, para que por ella penetre la radiación solar.

Las baterías solares se emplean, generalmente, asociadas a baterías electroquímicas, que acumulan la energía que no se emplea y la envían a los circuitos de consumo, en los momentos en que la batería solar no recibe luz.

Dado que el rendimiento de las células solares depende del flujo solar que incide sobre ellas, se ha pensado acoplarlas a un dispositivo concentrador de la radiación solar. Sin embargo, es interesante realizar un estudio económico para cada caso particular, por que los concentradores de la energía solar, requieren dispositivos para asegurar que el eje del concentrador óptico esté dirigido hacia el sol.

En resumen, las células fotovoltaicas suministran un voltaje que es proporcional a la intensidad de la radiación incidente, aunque no todas las longitudes de onda de la misma son aprovechables. El rango de utilidad depende de la sustancia, variando para el silicio entre los 3000 y los 11000 [Å], con un máximo de eficiencia en torno a los 8000 [Å]. La ampliación de este tema la encontraremos en el apartado 4.4.

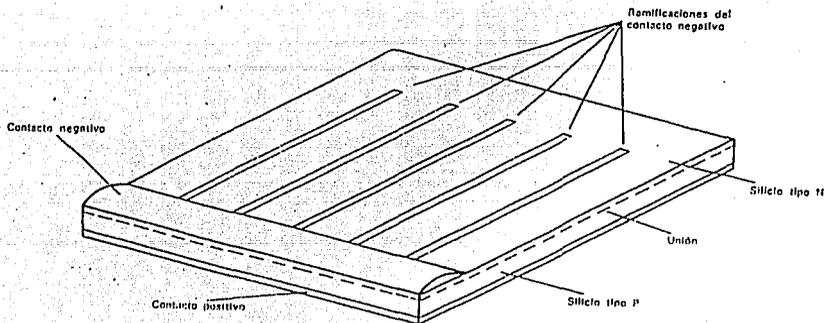


FIG. 4.4. ESQUEMA AMPLIADO DE UNA CELULA SOLAR DE SILICIO.

## 2c) GENERADORES TERMOIONICOS.

Los generadores termoiónicos se basan en el efecto termoiónico, descubierto por Edison, en 1883. Según él, los metales emiten electrones cuando se calientan. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es el número de electrones emitidos. El efecto termoiónico constituye el fundamento de las válvulas de vacío: diodos, triodos, etc., empleados en radio y televisión.

En los generadores termoiónicos se calienta una superficie capaz de emitir electrones a una temperatura muy alta, de 1500 [°C] o superior, y los electrones se "evaporan" en el vacío o en una atmósfera de iones positivos, como los iones de cesio. Se coloca una lámina receptora de metal frío con una separación de algunas centésimas de milímetro, recoge los electrones que recorren la pequeña separación y son conducidos a través de un conductor externo al electrodo que los emite.

No se consumen materiales, pero después de un periodo de largo uso, la superficie del electrodo emisor se deteriora.

Como la separación entre los dos electrodos tiene una conductividad técnica mala, este método de generar electricidad es prometedor pero tiene dos desventajas graves.

La temperatura ha de ser tan alta que hay que utilizar colectores focales con gran precisión óptica y la separación entre los electrodos es tan pequeña, que las diferencias de temperatura crean problemas de dilatación y contracción térmicas, que necesitan ser corregidos.

Las dificultades causadas por la corriente de electrones se solventan bien colocando los dos electrodos muy próximos en un tubo de vacío o introduciendo vapor de cesio.

El principio del generador termoiónico se muestra en la fig. 4.5

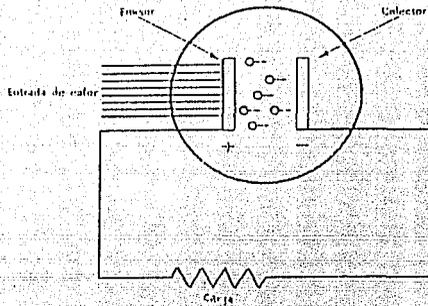


FIG. 4.5 PRINCIPIO DEL GENERADOR TERMOIÓNICICO

2d) GENERADORES TERMOELECTRICOS.

Los generadores termoelectricos funcionan de manera análoga a los generadores fotovoltaicos. La única diferencia reside en la manera en que se producen esos dos "depósitos a distinto nivel". Mientras que en las células solares es la luz solar la causante del fenómeno, en los generadores termoelectricos lo es el calor proporcionado por el sol (el equilibrio y la ausencia de diferencia de potencial tiene lugar cuando todo el conjunto se ilumina por igual o se mantiene a la misma temperatura).

En la figura 4.6 se muestra lo que sería un generador termoelectrico. Al calentar sólo un extremo de cristal semiconductor de TIPO N se establece una diferencia de potencial del signo indicado en la figura. Lo mismo sucede en el cristal semiconductor TIPO P, calentado localmente: la única diferencia reside en que la polaridad será opuesta. Los distintos cristales semiconductores pueden conectarse, como pilas en serie, uniendo sus extremos calientes con una varilla metálica.

Para alcanzar más elevadas eficacias de conversión, es decir, una mayor diferencia de potencial para una misma cantidad de energía solar, son necesarios materiales que sean muy malos conductores del calor y, al

mismo tiempo. Buenos conductores de la corriente eléctrica. Parece que da muy buenos resultados el telururo de plomo.

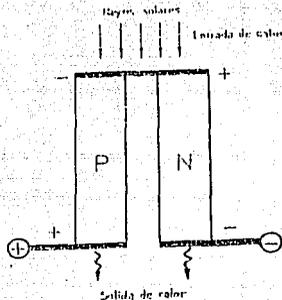


FIG. 4.6 GENERADOR TERMoeLECTRICO

### 3.- OTROS PROCEDIMIENTOS DE CONVERSION ELECTRICA.

Los sistemas termodinámicos, como su nombre indica, convierten la energía térmica en cinética (generalmente bajo la forma de un movimiento de rotación) para producir finalmente energía eléctrica. Esta doble conversión (térmica-mecánica-eléctrica), es también universalmente utilizada en todas las centrales térmicas de carbón o fuel, así como en las centrales nucleares.

La energía solar interviene como suministradora del calor necesario para producir vapor a presión, capaz de mover los álabes de una turbina, la cual a su vez transmite el movimiento a un generador eléctrico convencional. (Fig. 4.7).

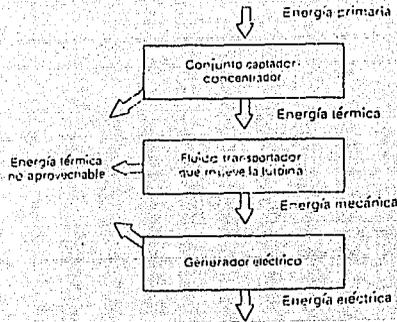


FIG. 4.7 ESQUEMA DEL PROCESO TERMODINAMICO SOLAR

Otro ejemplo de procedimiento dinámico indirecto de conversión de la energía solar en eléctrica, lo constituyen los generadores eólicos, ya que la energía del viento proviene de la diferencia de temperatura entre masas de aire, producida originariamente por la energía solar incidente sobre la atmósfera.

Estos aerogeneradores, cuya gama de potencias oscila generalmente entre 0.1 [KW] y 0.1 [MW], tienen la ventaja de funcionar también por la noche, siempre que exista un viento mínimo, por lo que pueden constituir un interesante complemento de las instalaciones fotovoltaicas.

#### 4.3.2 PROCESOS NATURALES: CONVERSION FOTOBIOLOGICA Y FOTOQUIMICA.

La materia orgánica constituye energía almacenada. Esta es, precisamente, la energía que se libera cuando se quema carbón, madera o petróleo y la energía que proporcionan los vegetales en la nutrición de los animales o el hombre. Por ello se estudia que tipo de plantas son capaces de absorber mayor cantidad de energía solar y en que condiciones ésta es máxima.

A continuación se van a resumir las diferentes formas, relacionadas con la función clorofílica y las

reacciones de fotosíntesis análogas, mediante las cuales el hombre intenta aprovechar la energía solar.

#### A) PLANTACIONES DE ENERGÍA.

Se denomina "plantaciones de energía" a las regiones destinadas al crecimiento de vegetales para su posterior uso como combustibles. En realidad, son bosques de plantas ya seleccionadas pensando en el fin perseguido: Obtener de ellas combustibles sólidos, líquidos y/o gaseosos.

Las plantas pueden transformarse en combustibles líquidos o gaseosos mediante distintos procesos químicos y biológicos. El principal factor que determina la conveniencia de un determinado proceso es la naturaleza física del material vegetal.

Los procesos biológicos son más adecuados cuando se trata de plantas recién cosechadas que tienen una elevada cantidad de agua. En contraste, los procesos químicos resultan más convenientes para materiales secos.

Por uno u otro procedimiento pueden obtenerse combustibles, tales como metano o alcohol.

Estos combustibles pueden ser almacenados, transportados y consumidos, como lo es actualmente la gasolina, o pueden emplearse para producir electricidad.

Sus principales ventajas son:

a) Permiten almacenar energía para ser usada cuando se necesite.

b) Son fuentes de energía renovables.

c) Se basan en una tecnología antigua y bien establecida. Su uso en gran escala ha sido dificultado por la gran cantidad de gas natural y petróleo de que antes se disponía.

d) Los combustibles obtenidos tienen un precio razonable.

e) Estas "plantaciones de energía" son ecológicamente inofensivas.

## B) CRECIMIENTO DE ALGAS.

Un medio ideal para el crecimiento de las algas se encuentra en los desechos, líquidos y semisólidos, de las viviendas, industrias y granjas.

Los desechos ó aguas negras tienen la ventaja de que contienen bacterias capaces de transformar la materia orgánica, que existe en las aguas negras, en sustancias que las algas necesitan para su alimento. A cambio, las algas desprenden oxígeno, elemento que necesitan las bacterias para desarrollarse.

Se trata de un proceso muy utilizado, y son muy baratos su establecimiento y su manutención. Las algas obtenidas se utilizan en algunos casos, para alimento para ganado, pues se ha demostrado que poseen un elevado índice de proteínas, grasas y vitaminas. (Fig. 4.8).

En otra línea de acción, las algas pueden quemarse para producir electricidad o descomponerse, en cámaras cerradas para producir metano.

Al principio, estas cámaras, debían ser calentadas con fuel o con el metano producido, y el proceso resultaba relativamente caro.

Sin embargo, utilizando cubiertas de plástico para estas cámaras y haciendo uso del efecto de invernadero, el calentamiento se consigue por el sol, y el sistema es bastante barato. El metano puede usarse para producir electricidad a precios competitivos.

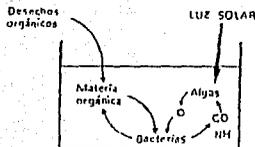


FIG. 4.8 COMBINACION ALGAS-BACTERIAS

### C) PRODUCCION DE HIDROGENO.

Otro combustible gaseoso que se ha pensado obtener utilizando la energía solar es el hidrógeno.

Las principales ventajas del hidrógeno como combustible son las siguientes: puede almacenarse para ser consumido en el momento oportuno, puede convertirse en energía eléctrica con facilidad y no produce ningún tipo de polución.

Atendiendo principalmente al punto de vista económico se han estudiado tres maneras distintas de obtener hidrógeno a partir de agua y energía solar. (Fig. 4.9)

En primer lugar (Fig. 4.9a), la energía solar puede convertirse en energía eléctrica, usando una célula solar. A continuación, ésta energía eléctrica, se utilizaría para obtener hidrógeno y oxígeno por electrolisis del agua.

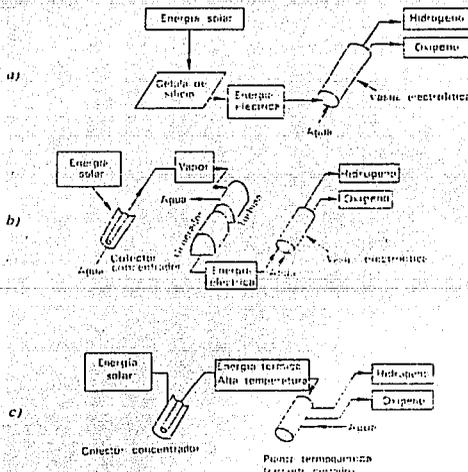


FIG. 4.9 TRES CAMINOS DIFERENTES PARA PRODUCIR HIDROGENO A PARTIR DE AGUA Y ENERGIA SOLAR.

Una segunda alternativa (Fig. 4.9b) puede ser obtener energía eléctrica mediante una central solar termodinámica, en lugar de hacerlo mediante una célula solar, y seguir produciendo hidrógeno y oxígeno por electrolisis del agua.

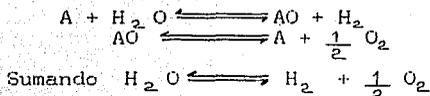
Por último, es posible descomponer el agua en sus componentes mediante la energía solar directamente, es decir, sin convertirla antes en energía eléctrica. (Fig. 4.9c).

La descomposición del agua mediante la energía solar directamente, es decir, sin tener que recurrir a la electrolisis, se puede realizar de diferentes maneras; todas ellas se pueden agrupar en estas dos categorías:

- a) Descomposición fotoquímica.
- b) Descomposición térmica.

En la descomposición fotoquímica se aprovecha la propiedad que tienen las radiaciones de una determinada frecuencia de descomponer el agua (La función clorofilica es un ejemplo de reacción fotocatalítica; el agua y el dióxido de carbono reaccionan para dar hidratos de carbono, gracias a la absorción por parte de la planta de radiaciones de determinada frecuencia.).

Por otra parte, el agua puede descomponerse térmicamente, es decir, por simple elevación de la temperatura. Esta elevación de la temperatura puede conseguirse captando la energía solar mediante dispositivos concentradores. En principio el procedimiento se adivinaba muy caro, pues la simple descomposición térmica del agua se necesitaban temperaturas superiores a los 2000 [°C]. Sin embargo, después se ha demostrado que es posible disociar el agua a temperaturas más bajas, mediante una serie de reacciones del tipo siguiente:



donde A es un catalizador y por tanto, no se consume en el proceso. Esta manera de obtener hidrógeno resulta muy atractiva, pues las únicas materias primas son agua y sol.

#### 4.4 CONVERSION ELECTRICA

##### 4.4.1. - ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA.

La electricidad fotovoltaica está basada en un principio conocido desde el comienzo del siglo, pero no fue sino hasta el año de 1954, cuando la Bell Telephone, en New Jersey logró desarrollar la primera célula con rendimiento razonable.

En la década de los setentas se obtuvieron excelentes rendimientos con células monocristalinas de Arsénico de Galio (Ga As). Se han hecho experimentos con células compuestas por dos capas: una de Sulfuro de Cadmio (SCd) y otra de Sulfuro de Cobre (SCu<sub>2</sub>), presentando como ventajas la utilización de muy poco material activo y un proceso de fabricación más sencillo.

Posteriormente comenzó la comercialización de células de Silicio monocristalino y más tarde aparecieron las compuestas por material policristalino, de fabricación más económica aunque de menor rendimiento pero de forma cuadrada.

El principio en el que se fundamenta este aprovechamiento de la radiación solar consiste, en convertir la energía que transportan los fotones incidentes sobre materiales semiconductores (convenientemente tratados), en electrones despedidos a través de un circuito eléctrico externo y realizar un trabajo determinado.

El material semiconductor más utilizado es el Silicio, (fig. 4.10) donde al introducirle un elemento químico contribuye significativamente a la alteración de sus propiedades atómicas manifestándose en un flujo favorable de electrones.

A dichos elementos químicos se les denomina DOPANTES y al proceso de incorporación DOPADO.

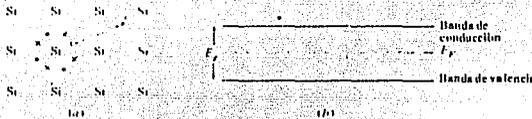
Un dopante adecuado para el Silicio es el Boro el cual tiene un electrón de enlace menos que el Silicio y por lo tanto, en esta unión queda un hueco en el lugar donde existiría el cuarto electrón de enlace para formar una estructura que se denomina semiconductor de TIPO P (positivo).

Por otro lado si el Silicio es dopado con Fósforo

(fig. 4.11), donde este elemento presenta cinco electrones en su órbita exterior y que en el enlace con el Silicio forman un grupo estable de ocho electrones y queda libre un electrón, a este semiconductor se le llama TIPO N (negativo).

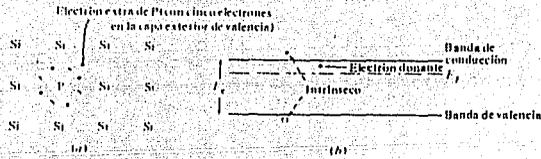
Los nombres de <<positivo>> y <<negativo>> hacen referencia a una carga aparente que queda libre en la red cristalina pero no a un estado electricamente descompensado.

Ahora bien, si ponemos en contacto estos materiales, (fig. 4.12) ocurriría algún movimiento de electrones a través de los huecos fluyendo en una sola dirección formando así una importante corriente. En estas condiciones si la radiación solar incide en los electrones del material semiconductor, algunos de ellos lograrán expulsarse fuera del semiconductor hacia un circuito externo, mientras que en la cara expuesta a la radiación solar vuelven a entrar en el semiconductor por los fotones incidentes. (fig. 4.13).



(a) Formación de un electrón de conducción y de un hueco electrónico en silicio puro (semiconductor intrínseco). Por medio de la adquisición de energía térmica, un electrón logra la suficiente energía para abandonar su posición de valencia. (b) El proceso indicado en (a) condujo a la presencia de un electrón en la banda de conducción y un hueco en la banda de valencia. El nivel de Fermi está en la mitad de las bandas (50% de ocupación).

FIG. 4.10 SILICIO PURO



(a) Estructura del silicio con un átomo de fósforo como material dopante, dando lugar a un electrón extra, formando así un semiconductor del tipo n (extrínseco). (b) El electrón del fósforo indicado en (a) se encuentra justamente debajo de la banda de conducción. El nivel de Fermi  $E_F$  es mayor que en la fig. 4.3.8 debido a la adición de un electrón por encima del antiguo nivel Fermi y no hay aumento en los huecos electrónicos que están debajo (indicado esquemáticamente).

FIG. 4.11 SILICIO DOPADO CON FOSFORO SEMICONDUCTOR TIPO N

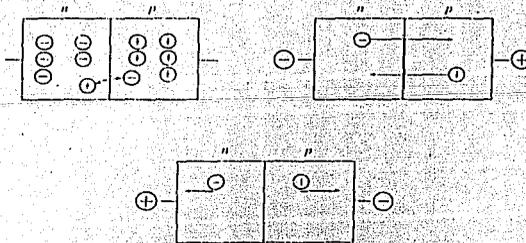


FIG. 4.12 CROQUIS SIMPLIFICADO DE LA ACCIÓN DE UNA UNIÓN P-N

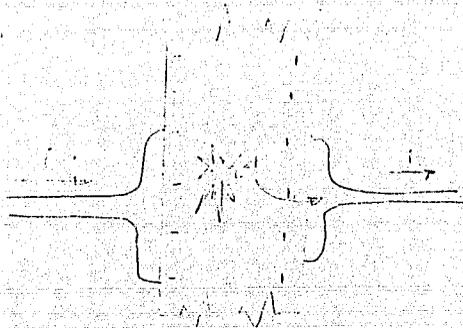


FIG. 4.13 LOS ELECTRONES SON FORZADOS HACIA EL CIRCUITO EXTERNO POR LOS FOTONES INCIDENTES

De esta manera es como se obtiene la unidad fundamental LA CELULA FOTOVOLTAICA. El tamaño de cada célula dependerá fundamentalmente del proceso de fabricación y su forma más común es cuadrada, redonda, o una derivada de estas dos geometrías.

Cada célula está interconectada en serie con las demás para que los electrones logren una diferencia de potencial, para que el circuito externo sea adecuado a efectos prácticos, normalmente 6, 12 y 24 [V].

Las células fotovoltaicas pueden clasificarse en varios grupos.

La primera célula construida industrialmente fué la de Silicio puro monocristalino, posteriormente fueron células policristalinas cuadradas. Las tecnologías más recientes en la fabricación de estos materiales han permitido que en algunas películas delgadas semiconductoras, que no solo permiten a los fotones transmitir su energía a los electrones, sino que también atraviesan la película haciendo a esta última semitransparente y con múltiples aplicaciones. (fig 4.14)

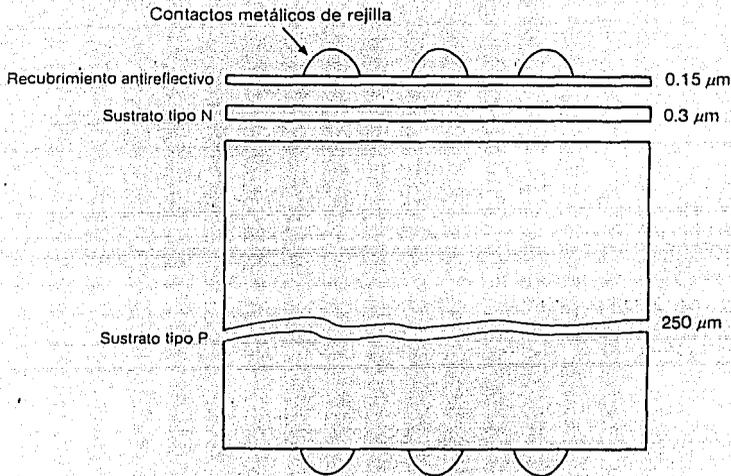


FIG. 4.14 PERFIL DE UNA CLASICA CELULA FOTOVOLTAICA

La célula de Silicio-Hidrógeno (TFS), que es utilizada principalmente en calculadoras, relojes y pequeños dispositivos solares es el tipo de película delgada que más se produce. De este tipo existen también de una combinación de semiconductores muy sofisticada como las de Cobre, Indio y Selenio ( $\text{CuInSe}_2$ ) llamada CIS, o incluso más sofisticadas como la combinación de la figura 4.15

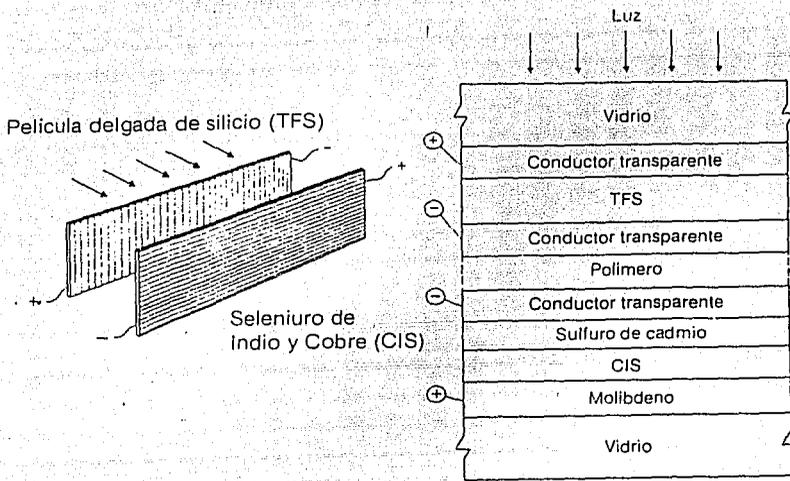


FIG. 4.15 COMBINACION DE DISPOSITIVOS DE DIFERENTE RESPUESTA ESPECTRAL. ESQUEMA DEL CONOCIDO COMO <<TANDEM TFS/CIS>>

#### 4.4.2 CARACTERISTICAS Y TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS.

Un panel solar deberá contener un número determinado de células (usualmente entre 30 y 40) conectadas en serie para producir tensiones de 6, 12 o 24 [V] según el caso o la aplicación. Dependiendo de su proceso o características, cada célula produce alrededor de medio volt y una potencia máxima de uno a dos watts.

El panel en si deberá ser la estructura de soporte de las células en un módulo resistente de las más duras condiciones de intemperie, que pueden variar desde un calor extremado hasta temperaturas de frío glacial, pasando por vientos huracanados, atmósferas húmedas, de alta salinidad, etc.

A pesar de las características que tiene un panel fotovoltaico existen diversas variantes en el mercado, a continuación vamos a describir un panel clásico.

Un panel clásico siempre tendrá una forma

rectangular, con áreas que van desde aproximadamente 0.1 [m<sup>2</sup>] hasta 0.15 [m<sup>2</sup>].

El grosor nunca es mayor a 3 [cm] y su peso va de escasamente 1 [kg] a 7 [kg].

En la fig. 4.16 podemos apreciar la sección de un panel fotovoltaico.

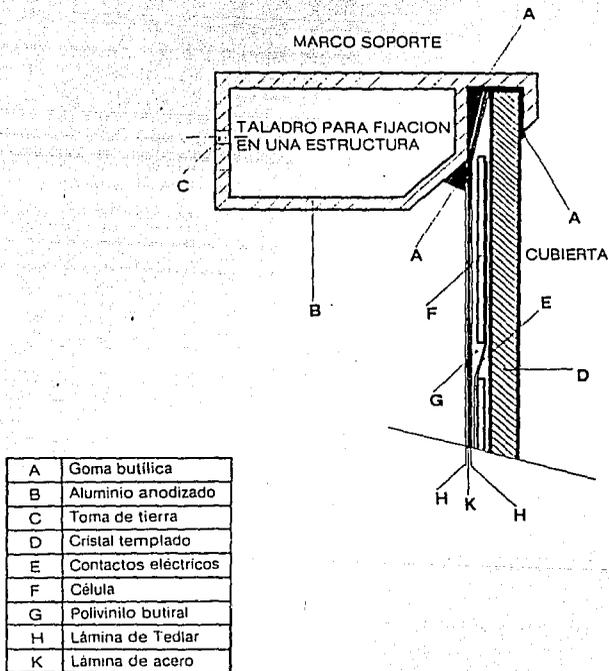


FIG. 4.16 SECCION DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

Por otro lado las características que presenta un panel frente a la radiación solar estará definida por los siguientes parámetros:

- CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO ( $I_{sc}$ ). Es la intensidad máxima de la corriente que se puede orientar de un panel bajo unas determinadas condiciones de radiación solar. Corresponde a medir, mediante un amperímetro la corriente entre bornes del panel 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 A CIRCUITO ABIERTO ( $V_{oc}$ ). Es la diferencia de potencial máximo, medido con Voltímetro, sin permitir que pase corriente alguna entre los bornes de un panel, es decir, en condiciones de circuito abierto.

- CORRIENTE ( $I$ ). A un determinado voltaje ( $V$ ). Las dos definiciones anteriores corresponden a casos extremos. En la práctica, lo usual es que un panel produzca una determinada corriente eléctrica que fluye a través de un circuito externo que une los bornes del mismo y que 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 intensidad tendrá un cierto valor comprendido entre 0 e  $I_{sc}$ , correspondiéndole un voltaje  $V$  que tomará un valor entre 0 y  $V_{oc}$ . Dado que la potencia es el producto de voltaje y la intensidad, ésta será máxima únicamente para un cierto par de valores  $I$ ,  $V$ , en principio desconocidos.

Entonces la potencia máxima de un panel estará determinada por los valores - - - -  
 $I_M$  y  $V_M$  tales que su producto sea máximo.

- EFICIENCIA TOTAL DEL PANEL. Es el cociente entre la potencia eléctrica producida por el panel y la radiación incidente sobre el mismo.

- FACTOR DE FORMA (FF). Es un concepto teórico útil para medir la forma de la curva definida por las variables  $i$  y  $V$ .

$$FF = P_M / (i_{sc} \times V_{oc}) = i_M \times V_M / (i_{sc} \times V_{oc})$$

Estos conceptos resultan más claros si observamos la siguiente figura, que representa la curva medida experimentalmente de un panel fotovoltaico sometido a unas condiciones de temperatura y radiación constante.

La curva característica del panel se obtiene variando la resistencia  $R$  externa desde cero hasta infinito, midiendo por pares los valores  $(i, V)$  o curva de intensidad-voltaje. (fig. 4.17).

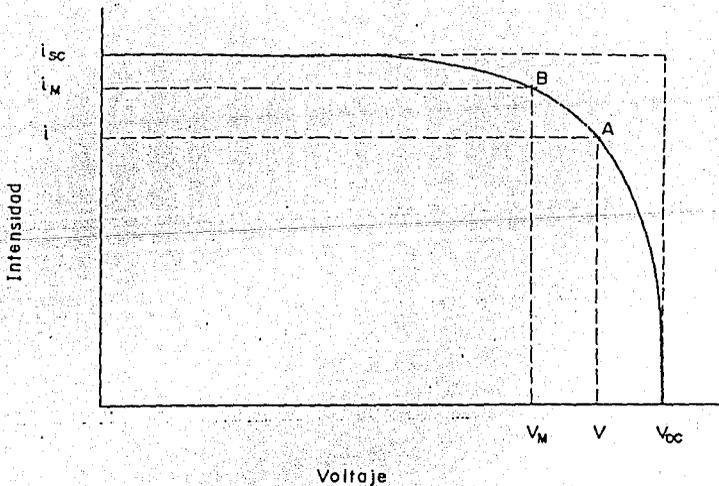


FIG. 4.17. CURVA  $i$ - $V$  DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

En la gráfica el punto A es un punto cualquiera representando el funcionamiento de un panel a un voltaje [V] y a una intensidad ( $I$ ). El área del rectángulo formado como vertical coincide con el punto A. corresponde a la potencia del panel.

El punto B es el punto de máxima potencia.

El factor de forma FF es el cociente del área del rectángulo definido por el punto B y el rectángulo exterior a la curva, cuyos lados son  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$ .

De acuerdo al número de células con que cuente cada panel se obtendrán voltajes estandarizados de 6, 12 o 24 [V].

La fig. 4.18 contiene la gráfica que muestra las curvas  $I$ - $V$  de siete diferentes modelos de paneles comerciales en las mismas condiciones: de temperatura  $T=25$  [°C] y con una intensidad de  $1000$  [ $W/m^2$ ].

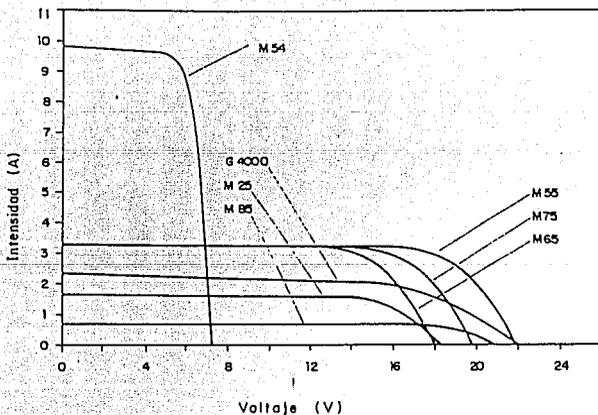


FIG. 4.18 CURVAS  $I$ - $V$  PARA DIFERENTES MODELOS DE PANELES. OBTENIDAS A  $25$  °C Y CON UNA INTENSIDAD DE  $1000$  [ $W/m^2$ ].

El estándar internacionalmente aceptado para medir respuestas de paneles fotovoltaicos es una intensidad radiante de  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ , que se conoce como una intensidad de "un sol" y una temperatura de célula de  $25 \text{ [}^\circ\text{C]}$ . Estas condiciones se simulan en el laboratorio de prueba y se simulan con focos eléctricos.

En condiciones reales de trabajo los paneles tienen un rendimiento que va de acuerdo con la radiación solar en el lugar y la temperatura de la célula en éste.

Se ha observado que a medida que la temperatura de la célula aumenta por encima de los  $25 \text{ [}^\circ\text{C]}$ , existen pérdidas en la potencia de aproximadamente  $0.5\%$  por cada grado de temperatura.

De lo anterior, una buena aproximación de la temperatura de trabajo de una célula en la mayoría de los casos es, suponiendo que la temperatura media de trabajo de la misma es  $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$  superior a la temperatura ambiente. Por este concepto el rendimiento del panel baja a un  $90\%$ .

Otra característica muy importante de los paneles es el acoplamiento e interconexión entre si mismos para dar un mayor voltaje o dependiendo el caso una mayor intensidad. Sabemos que una interconexión en serie nos da la suma de los voltajes de cada uno, y una conexión en paralelo nos proporciona un voltaje constante la suma de las intensidades. Veáanse las fig. 4.19, 4.20, 4.21 y 4.22.

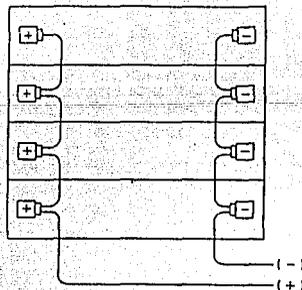


FIG. 4.19 CONEXION DE 4 PANELES EN PARALELO  
TENSION DE SALIDA: 12 V.

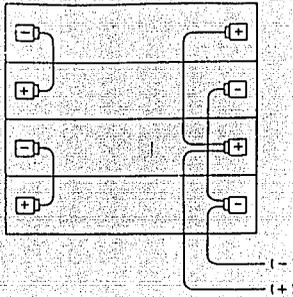


FIG. 4.20 CONEXION DE DOS GRUPOS EN PARALELO,  
CADA UNO FORMADO POR DOS PANELES EN SERIE.  
TENSION DE SALIDA: 34 V.

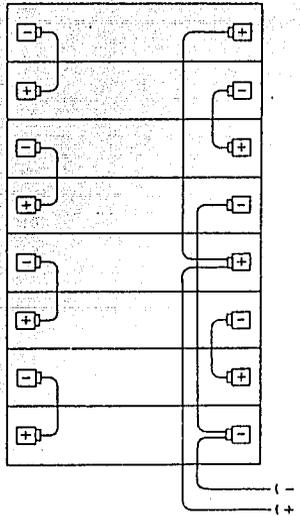


FIG. 4.21 CONEXION DE DOS GRUPOS EN PARALELO, CADA  
UNO DE ELLOS FORMADO POR 4 PANELES CONECTADOS EN  
SERIE. TENSION DE SALIDA: 48 V.

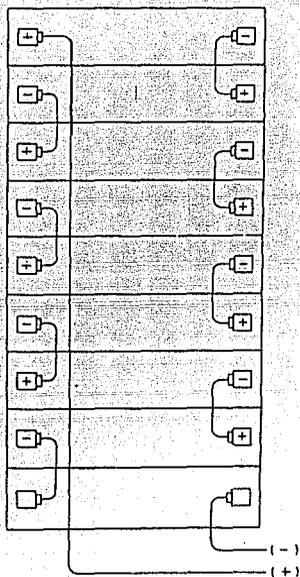


FIG. 4.23 CONEXION DE 9 PANELES EN SERIE.  
TENSION DE SALIDA: 120 V.

Debemos recordar que el bastidor que sujeta al panel también tiene gran importancia, puesto que además de servir como una estructura de soporte capaz de resistir en un caso extremo vientos huracanados de como mínimo 150 [Km/h], también cumple la misión de fijar la inclinación que tomarán los colectores (que se instalarán siempre mirando al sur) y que se recomienda sea la siguiente:

- 20° mayor que la latitud para instalaciones de función prioritaria en invierno como la de servicios eléctricos o albergues de montaña.
- 15° mayor que la latitud para instalaciones de funcionamiento mas o menos uni-

forme durante todo el año, como por ejemplo la de electrificación de vivienda, bombas de agua, repetidores de T.V., etc.

- Igual que la latitud para instalaciones de funcionamiento prioritario en primavera o verano, como la de campamentos.

La razón de aumentar un poco más la inclinación de los paneles fotovoltaicos con respecto a la de los colectores térmicos se debe a que se hace preciso intentar captar toda la energía posible en los meses mas desfavorables del año (Invierno), ya que en estos casos no se suele disponer, a diferencia de lo que ocurría en la utilización de la energía solar térmica, de ninguna otra fuente de energía auxiliar.

#### 4.4.3 COMPONENTES DE UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA.

##### A) ACUMULADORES.

En una instalación fotovoltaica es imprescindible el uso de acumuladores ya que como hemos visto los paneles solares sólo generan energía en los momentos en que incide sobre ellos la luz, pero a menudo dicha energía se requiere precisamente en los momentos en que no existe incidencia luminosa o ésta es demasiado débil.

Además el acumulador cumple también dos importantes misiones:

a) Suministrar una potencia instantánea, o durante breves momentos, superior a la que el campo de paneles podría generar aún en los momentos más favorables posibles. Tal es el caso de los arrancadores de motores, por ejemplo el de los frigoríficos, que requieren durante unos segundos de una potencia varias veces superior a la de su normal funcionamiento.

b) Mantener un nivel de tensión estable. Como hemos visto, la tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona un voltaje estable y constante (dentro de un cierto rango) independientemente de las condiciones de incidencia luminosa.

El acumulador ideal para una instalación fotovoltaica, no existe en la realidad, pues como veremos, aquellos que tienen por ejemplo, una

autodescarga muy baja (lo cual es deseable) no soportan descargas excesivas y los que admiten profundidades de descargas grandes resultan caros.

La elección es a menudo un compromiso entre la economía y la idoneidad, respetando por supuesto, el principio de procurar la calidad mínima necesaria que asegura la fiabilidad y larga vida de la instalación.

El acumulador fotovoltaico nunca va a estar sometido a intensidades de descarga grandes, por lo que su capacidad real superará incluso a la nominal especificada por el fabricante. Cuando hacemos alusión a la capacidad del acumulador, normalmente nos estamos refiriendo a un tiempo de descarga de 100 horas o más, pues de este orden de magnitud sería el tiempo de autonomía mínima que, como veremos más adelante, es exigible a la instalación.

Las baterías que se utilizan para aplicaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grupos: las de Níquel-Cadmio y las de Plomo-Acido.

Las baterías de Níquel-Cadmio son más caras pero ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia. Pueden soportar descargas de hasta 90% de su capacidad teórica recuperándose totalmente y aguantar temperaturas extremadamente bajas. Además, ocasionales cortocircuitos que dañarían a otras baterías, no son demasiado peligrosos para éstas, así como la eventual falta de agua que haría que la batería solo dejara temporalmente de funcionar hasta que se la añadiera. Tampoco produce gases corrosivos y su mantenimiento es mínimo.

La vida útil de las baterías Ni-Cd generalmente no es mayor que las de Plomo-Acido. Sin embargo, el alto precio de los acumuladores alcalinos hace que todavía se sigan utilizando preferentemente los de Plomo-Acido, por otra parte ya muy experimentados y fiables.

Las baterías estacionarias de Pb-Sb suelen suministrarse en celdas o elementos de polipropileno translúcido, cada uno de ellos con una tensión de un par de volts, uniéndose en serie 6 o 12 de éstos elementos para conseguir la tensión de 12 o 24 volts deseada.

Otro tipo de batería adecuada para pequeñas instalaciones es la de Pb-Ca (Plomo-Calcio) que presenta la ventaja de no necesitar mantenimiento y tener baja autodescarga, aunque al ser de "CICLO SUPERFICIAL" no

admite gran número de ciclos por debajo del 15% de la capacidad y en ningún caso aguanta profundidades de descarga superiores al 40%.

Las baterías de Pb-Ca se venden en estructura compacta tipo "MONOBLOCKS" (como las de automóvil) y su reducido tamaño permite un transporte cómodo, lo que unido a su precio relativamente moderado, hace que sean bastante utilizadas en pequeñas instalaciones.

#### A.1) CICLOS DE CARGA-DESCARGA EN LA BATERIA.

En una típica instalación fotovoltaica que suministra electricidad para una vivienda durante el día, los paneles generan la energía que se está consumiendo momentáneamente y la sobrante será la que absorba la batería, a menos que en este mismo momento esté en su plenitud de carga, en cuyo caso se disipará en forma de calor o se impedirá el paso mediante algún dispositivo automático.

Al atardecer y durante la noche, que suelen ser precisamente los momentos en los que, debido a necesitarse iluminación artificial, los consumos son mayores, la energía es extraída de la batería, disminuyendo el nivel de carga de ésta.

Así el ciclo se repite diariamente, siempre que la intensidad incidente sea suficiente (días claros o parcialmente nublados).

Cuando se producen dos o más días consecutivos cubiertos de nubes, con una escasa luminosidad, prácticamente todo el consumo se hace a expensas de la batería.

Terminado el período de condiciones meteorológicas desfavorables y volviendo a alcanzar unos valores suficientes, los paneles irán cargando la batería hasta su máxima capacidad, completando así un CICLO AUTONOMO.

En este caso se estima que la profundidad de descarga es entre el 5 y 10% de la capacidad total para una vivienda típica. Aún así cabe mencionar que ésta es muy superior a la que afecta a una batería de automóvil.

La profundidad de descarga admitida en una instalación en el período de autonomía dependerá fundamentalmente del tipo de batería siguiendo recomendaciones del fabricante.

Para las baterías de Ni-Cd y Pb-Sb no deberá superarse el 80%, reduciéndose al 40% si se trata de baterías especiales para uso fotovoltaico como la de Pb-Ca y sólo al 20% si se utiliza una batería de automóvil.

## A.2) COMPORTAMIENTO DE LA BATERIA EN UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA (I.F.).

El voltaje en los bornes de una batería dependerá de los siguientes factores:

### a) NIVEL DE CARGA.

En una batería, el voltaje baja a medida que se descarga y aumenta cuando se está cargando (para baterías de 12 a 13 [V] = cargada, 12 [V] o menor = descargada).

Una medida más exacta del nivel de carga en una batería se obtiene midiendo la densidad relativa del electrolito, por medio de un densímetro. La densidad relativa se aproxima a 1.3 para el caso de las baterías plenamente cargadas y a 1.05 cuando están totalmente descargadas. El voltaje interior límite es aquél en el cual una batería puede no recuperarse si se continúa descargando, usualmente este voltaje límite es aproximadamente 11 [V] para las baterías típicas de plomo.

### b) VELOCIDAD DE CARGA O DESCARGA.

Si una batería está recibiendo una cierta carga, la diferencia de potencial entre bornes es siempre superior a la que se tendría si desconectamos la corriente de carga, debido a la resistencia interna de la batería. Inversamente, si la batería está descargándose, hay una pequeña caída de potencial y hace que la tensión medida sea un poco inferior.

De esta manera, en cuanto sea mayor la carga o descarga será mayor la diferencia de tensión.

### c) TEMPERATURA DE LA BATERIA.

Al ser de naturaleza química las reacciones internas que se tienen en las baterías, la temperatura influirá decisivamente sobre las mismas. (ver figuras 4.23 y 4.24).

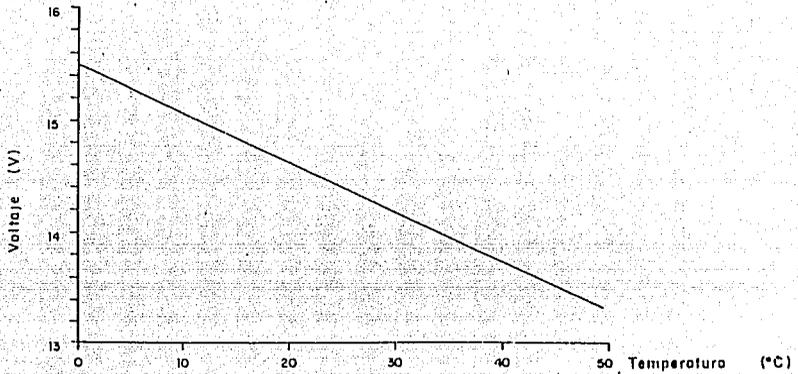


FIG. 4.23 VOLTAJE QUE HAY QUE APLICAR PARA CONSEGUIR UNA PLENA CARGA DE LA BATERIA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

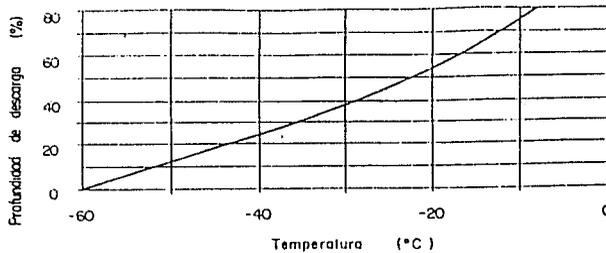


FIG. 4.24 PUNTO DE CONGELACION DE UNA BATERIA PLOMO-ACIDO EN FUNCION DE LA PROFUNDIDAD DE DESCARGA.

Un parametro decisivo para elegir un determinado modelo o evaluar la rentabilidad de una instalación es la vida útil de una batería. Esta se mide en ciclos Carga - Descarga más bien que en tiempo. En las instalaciones fotovoltaicas, según el caso, en ciclajes de periodicidad diaria como iluminación de viviendas.

Suponiendo una media de un ciclo por día y si el mantenimiento de la batería es correcto, y la profundidad de descarga es admisible, la vida útil mínima que debiera tener sería de unos 10 años. Por lo tanto usar baterías más económicas puede resultar más caro al tener que reemplazarlas cada pocos años.

Otro parámetro importante en la duración de la vida de un acumulador es la temperatura y la sobrecarga, por la gasificación del electrolito causando daños algunas veces irreversibles en las baterías.

Para protegerlas de temperaturas extremas, las baterías pueden introducirse en compartimentos que las protejan de la intemperie y mantengan a una temperatura adecuada de trabajo (alrededor de 25 [°C]).

En el caso de gasificación por sobrecarga podemos usar un REGULADOR DE CARGA elemento que estudiaremos enseguida.

Para hacer una buena elección del tipo y modelo de batería que se va a usar, se deberá exigir del fabricante información detallada de sus características. Las especificaciones técnicas que recomendamos deben facilitarse son:

- Tipo de batería y tensión nominal.  
dimensiones. peso. etc.
- Capacidad de descarga en 20, 50 y 100 horas, con sus correspondientes tensiones de corte.
- Rango de temperatura de funcionamiento.
- Profundidad máxima de descarga.
- Valor de la autodescarga.
- Ciclaje máximo diario permitido.
- Tiempo máximo de trabajo a un 50% de carga y con un ciclaje del 10%.
- Rendimiento de carga.
- Variación de la capacidad con la temperatura.

- Voltajes finales en función del régimen de descarga.
- Voltaje máximo de carga en función de la temperatura y del régimen de carga.
- Temperatura de congelación.
- Densidad en función del estado de carga.

Las baterías deben llevar grabadas de forma indeleble los indicadores + y - del polo positivo y negativo y además un rótulo que indique su tensión y tipo, así como su capacidad y fecha de inicio del período de garantía.

## B) REGULADORES.

En una instalación fotovoltaica hemos visto que, por una parte se desperdicia un poco de energía máxima obtenida teóricamente por el panel (alrededor del 10%), que se obtendría a tensiones algo mayores (14.5 [V] o más) que las que impone la batería. Por otro lado, cuando la batería está en plena carga y la incidencia solar sobre el panel es buena éste seguirá intentando <<inyectar>> energía a través de los bornes de la batería, produciendo una sobrecarga perjudicial incluso mortal para la batería.

El regulador de carga, evita en lo posible, por un lado, el desaprovechamiento de energía y por otro evita sobrecargas peligrosas. Además de controlar el flujo de corriente hacia la batería cuando ésta se encuentra a plena carga. A ésta corriente mínima se le denomina "DE FLOTACION" y siempre será la necesaria para compensar la auto descarga.

### B.1.) TIPOS DE REGULADORES.

Básicamente existen dos tipos de reguladores: Los de tipo PARALELO (o regulador shunt) y los de tipo SERIE.

El primero se utiliza tradicionalmente en pequeñas instalaciones aunque últimamente se han usado también los reguladores en serie.

Un regulador Shunt, al detectar un valor de tensión demasiado elevado, lo disipa en forma de calor a través de un dispositivo de baja resistencia mediante unas aletas metálicas. (fig. 4.25).

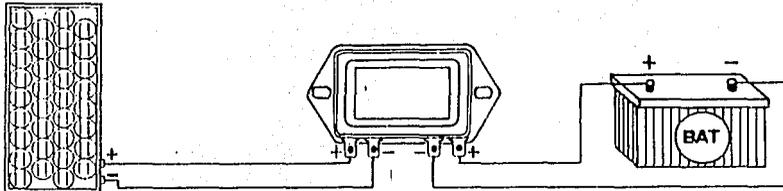


FIG. 4.25 CROQUIS DEL CONEXIONADO DE UN PEQUEÑO REGULADOR SHUNT. AL EFECTUAR EL MONTAJE HA DE COLECTARSE PRIMERO EL CIRCUITO DE LA BATERIA Y DESPUES EL DE PANELES. A FIN DE EVITAR EL PASO MOMENTANEO DE TODA LA INTENSIDAD POR EL CIRCUITO DE DISIPACION.

Los reguladores Serie, simplemente interrumpen el circuito cuando el voltaje alcanza un valor determinado. Estos aparatos se intercalan en serie (de ahí su nombre) y su resistencia es despreciable cuando permiten paso de corriente.

Al no existir disipación de calor, este tipo de reguladores puede ser de pequeñas dimensiones y son aptos para ser encerrados en compartimentos herméticos si esto fuera necesario. Al realizar la conexión de los bornes de batería hay que asegurarse bien de la polaridad de los conductores, pues una inversión de polaridad causa daños al equipo.

Otro elemento especialmente importante que suele incorporarse al regulador es un DIODO DE BLOQUEO, que permite el paso de la corriente en un solo sentido (del panel hacia la batería) y no en sentido contrario. Evitando así la descarga a través de los paneles.

### C) CONVERTIDORES.

Como su nombre lo indica, son dispositivos capaces de transformar las características de tensión y corriente eléctrica que reciben a una que resulte más apta para cubrir necesidades más específicas.

Existen dos clases de convertidores en general, los de CC-CC (DC-DC en inglés) que reciben corriente continua y transforman a corriente continua pero a un voltaje diferente, y los convertidores CC-CA (DC-AC en inglés) que transforman la corriente continua en corriente alterna.

Los convertidores CC-CA permiten transformar la corriente continua de 12 a 24 [V] en corriente alterna de 127 o 320 [V], como la que normalmente se utiliza en la red eléctrica convencional. Esto permite usar los aparatos electrodomésticos habituales. La inconveniencia del uso de éste dispositivo es la inevitable pérdida de energía.

Otra clasificación de los convertidores CC-CA es según la forma de la onda, se habla de convertidores de onda cuadrada, onda cuadrada modificada y de onda senoidal.

El convertidor más perfecto será el de tipo senoidal, aunque también es más caro, el más económico es el de onda cuadrada y es usado en iluminación y pequeños motores. (fig. 4.26).

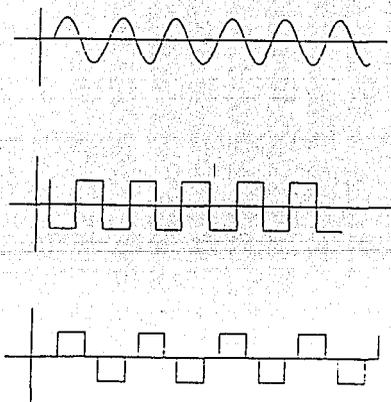


FIG. 4.26 ONDAS DE CORRIENTE ALTERNA PRODUCIDAS POR LOS DISTINTOS TIPOS DE CONVERTIDORES. LA DE LA GRAFICA SUPERIOR CORRESPONDE A UNA SINUSOIDAL PURA, LA DE ENMEDIO ES UNA TIPICA ONDA CUADRADA Y LA INFERIOR UNA ONDA CUADRADA MODIFICADA PARA QUE SE PAREZCA ALGO MAS A UNA SINUSOIDAL.

### C.1) NECESIDAD DE USO DEL CONVERTIDOR.

La decisión, requiere de un cuidadoso análisis de los factores que afectan a cada instalación en concreto.

Sin embargo, para una instalación de electrificación mínima de una pequeña vivienda (puntos de luz, televisor y algún pequeño aparato), es más rentable prescindir del convertidor y proyectar la instalación para funcionar con corriente continua ya que éste elemento es muy caro. Si con el tiempo el número de electrodomésticos aumenta, pueden conseguirse en el mercado de 12 o 24 [V].

En otros casos se aconseja el tendido de dos líneas de reparto independientes para el consumo. Una básica de corriente continua y una secundaria de alterna usando un convertidor, teniendo la ventaja de hacer uso o no del convertidor a voluntad y dependiendo de los aparatos que se utilicen.

Si se decide instalar un convertidor de onda cuadrada o de onda cuadrada modulada, es importante que el fabricante del convertidor garantice su aptitud para hacer funcionar sin problemas los aparatos previstos de consumo. (T.V., equipos de sonido, electrodomésticos, computadoras, etc.).

### D) OTROS ELEMENTOS.

Existen varios accesorios que son recomendables en aras de una mayor seguridad o control de la instalación y aumentar o garantizar la durabilidad de la instalación.

Una alarma y desconectador por bajo voltaje nos sirve para una circunstancia imprevista en donde la batería se descarga a niveles peligrosos, y que avise al usuario mediante una señal luminosa, acústica o de radio, o bien se desconecte la batería del consumo, hasta que ésta haya recuperado un nivel de carga mínimo.

En instalaciones medianas y grandes pueden instalarse varios desconectadores que afecten a diferentes equipos y que, siguiendo un orden prioritario, se vayan desconectando a medida que la batería entra en la zona peligrosa de profundidad de descarga.

Los PROGRAMADORES DE HORARIOS son equipos usados para programar un servicio a lo largo de las 24 horas del día.

Los DISPOSITIVOS DE CONTROL Y MEDIDA en la mayoría de los casos con un voltímetro y un amperímetro, con posibilidad de realizar medidas en el circuito primario (paneles-regulador) y en el secundario (batería-carga de consumo) será suficiente, aunque también pueden resultar útiles los CONTADORES DE AMPERES - HORA.

Los FUSIBLES Y ELEMENTOS DE PROTECCION, se utilizan para proteger los aparatos contra sobre-intensidades accidentales, cortocircuitos, etc.

## TEMA V PROYECTO CASA HABITACION DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los elementos constituyentes de la instalación deben guardar entre sí una proporción justa y equilibrada. De nada serviría sobre dimensionar el campo de paneles con el propósito de producir más energía si las baterías tienen escasa capacidad para almacenarla, pues se perdería la mayoría de ella. Un regulador de menor amperaje que el indicado o un simple conductor de sección insuficiente puede ser causa de deficiencia de la instalación, por lo que cada componente debe ser cuidadosamente calculado.

El usuario debe saber desde el primer momento, cuales van a ser las posibilidades y limitaciones del proyecto y haberlas asumido perfectamente.

Una instalación fotovoltaica no tiene ninguna limitación técnica en cuanto a la potencia eléctrica que puede producir: solamente motivos de economía y rentabilidad establecen una acotación al número de paneles y acumuladores a instalar. A veces dicho límite puede ser alterado por el propietario de la instalación bajo su propia responsabilidad pero siempre tomando la decisión después de haber sido perfectamente informado de las posibles opciones, sus costos, ventajas e inconvenientes.

El caso que nos concierne es la aplicación a un proyecto de Casa - Habitación considerando que la red de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), no ha sido tendida en el lugar donde se ubica dicha casa-Habitación.

Normalmente, al calcular producción y consumos se hace empleando unidades de energía, algunos métodos de cálculo se refieren a unidades de intensidad eléctrica (AMPERES CONSUMIDOS O AMPERES PRODUCIDOS), esto puede causar alguna confusión, razón por la cual nos avocaremos en el más comúnmente utilizado y que es el watt por hora [W-h ].

## 5.1 ESTUDIO DE LAS NECESIDADES A CUBRIR DEL USUARIO.

El primer paso es definir perfectamente los objetivos de una instalación, atendiendo a las necesidades reales de los futuros usuarios y sus requerimientos concretos. Para ello, al proyectar se debe recabar información de su utilización prevista, no solo inicialmente, sino durante los años futuros.

Desde el primer momento, puede darse al usuario la opción de efectuar una instalación modular, es decir una instalación tipo y a su vez prevista de tal forma que resulte sin inconvenientes de ir añadiendo paneles y acumuladores a medida que las necesidades de éste crezcan. Esto anteriormente descrito resulta algo más caro en costo, pero puede ser interesante siempre que el usuario pruebe esta posibilidad.

Todos los datos referentes a los consumos previstos deberán recopilarse y anotarse, a fin de proceder a una primera evaluación de los mismos, si no se conoce la potencia real de los aparatos, por ejemplo de la televisión o una secadora, es necesario investigar a través del proveedor y teniendo en cuenta que, una es la potencia teórica y la otra la consumida en la práctica, que es superior, debido a la pérdida por rendimiento. No hay que pensar que un tubo fluorescente de 20 [W] de potencia, va a consumir 20 [W] realmente, pues existirán pérdidas, en el tubo mismo, así como en los reactores (balastras). No se pueden establecer valores fijos para determinar las pérdidas por rendimientos, y a veces no quedará más remedio que estimarlas o englobarlas en un solo coeficiente corrector del consumo total, en su caso, lo ideal es que se pueda comprobar por sí mismo el consumo real de cada uno de los elementos que con más frecuencia se utilicen (lámparas, convertidores, reguladores, etc.), para que de ésta forma se tengan datos experimentalmente comprobados y por lo tanto muy fiables.

Una vez ya determinadas, teórica o prácticamente, las potencias consumidas por cada aparato o accesorio es necesario estimar y saber, esto es, en base de acuerdo con el usuario, los tiempos medios de utilización diarios, semanales, o mensuales de cada uno de ellos, y teniendo en cuenta también los posibles altibajos por causas diversas, ya sean periódicas o no, por ejemplo, las necesidades de una familia durante los fines de

semana que en los demás días, ya sea que la utilización de electricidad sea mayor o menor.

En los casos más simples, en los que el consumo es más o menos homogéneo a lo largo del año, pueden establecerse unos tiempos medios diarios, que se suponen constantes.

En un típico caso de iluminación de vivienda de uso doméstico, se debe de considerar una potencia y un tiempo promedio diario de consumos diarios.

TABLA 5.1 POTENCIAS Y TIEMPO PROMEDIO DIARIO

TIPO DE HABITACION	POTENCIA [W]	TIEMPO DE CONSUMO MEDIO AL DIA [HORAS]
CUARTO DE SALA	18	5 h.
COMEDOR	18	5 h.
DORMITORIO	18	1/2 h.
BAÑOS	9	1 h.
COCINA	18	2 h.

En cualquier caso, el consumo diario previsto no debe suponerse menor para 250 [W-h / día] ya que representa un valor mínimo.

TABLA 5.2. POTENCIA MEDIA DE ALGUNOS APARATOS DE CORRIENTE CONTINUA.

APARATOS	POTENCIA [W]
LAVADORA	275
PLANCHA	75
FIGORIFICO	75
SECADORA	100
RADIOGRABADORA	20
CONTACTOS	100

## 5.2 DATOS DE CONSUMO

Es necesario elaborar una tabla de consumos que contengan los siguientes datos:

DATOS DE IDENTIFICACION  
 SUPERFICIE UTIL DE LA VIVIENDA  
 NUMERO DE USUARIOS  
 MESES DE UTILIZACION  
 DIAS DE UTILIZACION AL AÑO  
 PERIODO DE UTILIZACION MAXIMO/MINIMO  
 CONSUMOS NO PERIODICOS  
 POTENCIA MAXIMA DE CONSUMO SIMULTANEO  
 NECESIDAD DE USO DE CONVERTIDOR (EN CASO DE SER NECESARIO)  
 TENSION DE CONSUMO ELEGIDA (12 O 24 V)  
 ENERGIA REQUERIDA  $E_T$

La hoja de datos de consumos representa el punto de partida para el cálculo de la instalación.

TABLA 5.3 CONSUMOS MEDIOS DIARIOS ESTIMADOS

	CANTIDAD	POTENCIA [W]	TIEMPO DE USO AL DIA [Hr]	CONSUMO [W-h]
SALA COMEDOR	2 puntos de luz 18 [W]	36	3	108
RECAMARAS	3 puntos de luz 18 [W]	54	3	162
COCINA	2 puntos de luz 18 [W]	36	3	108
BAÑO	1 punto de luz 9 [W]	9	3	27
PASILLO	3 puntos de luz 9 [W]	27	3	81
FACHADA	2 puntos de luz 9 [W]	18	3	54
TV COLOR	110 [W]	1101	4	440
RADIOGRABADORA	20 [W]	20	4	80
APARATOS VARIOS	5 contactos 100 [W]	500	1	500
LAVADORA	500 [W]			
(usandola 1.75 horas un día a la sem.)		500	0.25	125
PLANCHA	1000 [w]			
(usandola 1 hora un día a la semana)		1000	0.15	150
VIDECCASETERA DE	30 [W]			
(usandola 2.5 horas 5 días a la sem.)		30	1.8	54
POTENCIA TOTAL SIMULTANEA		2340		
		ENERGIA TOTAL TEORICA ( $E_T$ )		1889

### 5.3 MEMORIA Y CALCULO

#### 5.3.1 CALCULO DE LA CAPACIDAD Y DETERMINACION DEL ACUMULADOR.

Lo primero que se ha de determinar como paso previo al cálculo del acumulador de una instalación es el número máximo de N días de autonomía previstos para la misma. Dicho número debe ser asignado por el proyectista de acuerdo con las características climatológicas de la zona, al servicio que la instalación preste y las circunstancias particulares de cada usuario.

Teóricamente N representaría el máximo número de días consecutivos que pudieran producirse con condiciones absolutamente desfavorables (totalmente cubiertos). Durante este período los paneles no recogen prácticamente energía y todo el consumo se hace a expensas de la reserva de la batería, la cual disminuye rápidamente su nivel de carga. Si deseáramos cubrir eventuales largos períodos nublados que aunque con poca frecuencia, siempre se producen, los cálculos nos llevarían a proveer unas capacidades de baterías muy grandes, con un costo elevado, lo cual solamente puede tener justificación cuando se trate de instalaciones especialmente importantes en relación al servicio que presten (telecomunicaciones, instalaciones militares, etc.). En los casos normales, como por ejemplo la iluminación de viviendas, es preferible reducir algo el número N de días de autonomía, aún a costa de correr el riesgo de que alguna vez haya que recortar el consumo para evitar descargar la batería más de lo conveniente. Una vez fijado el número N de días de autonomía máxima, y supuesto también conocida la energía total teórica  $E_T$  - requerida en un periodo de 24 horas, obtenida a partir de las potencias y del tiempo medio de 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), procederemos a hallar la energía real necesaria  $E_r$  que, proveniente de los paneles, debe recibir el acumulador, del cual ya habremos decidido el tipo y características básicas y por tanto, conoceremos la profundidad de descarga máxima admisible.

La energía  $E_r$  equivaldrá exactamente a la energía que se necesita diariamente, teniendo en cuenta las diferentes pérdidas que existen teniendo que una

expresión razonablemente precisa de su valor es:

$$E_r = E_v / R \quad (5.1)$$

donde R es un factor global de rendimiento de la instalación que vale:

$$R = 1 - \left[ \frac{(1 - K_b - K_c - K_v) \times K_a \times N}{pd} \right] - K_b - K_c - K_v \quad (5.2)$$

donde:

$K_b$  = Coeficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador.

$K_a$  = Coeficiente de autodescarga.

$K_c$  = Coeficiente de pérdidas en el convertidor, si existe y afecta a toda la red de consumo. En el supuesto de que solo se utilizara 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.

$K_v$  = Coeficiente que agrupa otras pérdidas (rendimiento global de toda la red de consumo, pérdidas por efecto Joule, etc.).

pd = Profundidad de descarga máxima admisible.

N = Días de autonomía.

Vamos a analizar con más detalle cada uno de los anteriores coeficientes.

$K_b$  Indica la fracción de energía que la batería no devuelve con respecto a la absorbida procedente de los paneles, es decir a la que entra en la batería.

Dentro de la batería, durante los procesos químicos que tienen lugar, siempre existe una pequeña producción de energía calorífica. A falta de datos concretos, el coeficiente  $K_b$  puede tomarse igual a 0.05 para servicios en condiciones que no demanden descargas intensas (caso normal en instalaciones de energía solar) e igual a 0.1 en otros casos más desfavorables (acumuladores viejos, descargas más fuertes, temperaturas bajas, etc.).

$K_a$  Representa la fracción de energía de la batería que

se pierde diariamente por autodescarga. El fabricante debe especificar este dato, normalmente para un período de tres, seis o doce meses, bastando dividir el valor especificado por el número de días del período correspondiente. El valor por defecto que se suele asignar a  $K_a$ , a falta de más información es 0.005 (0.5% diario).

Otras veces dispondremos del gráfico de la auto descarga, habiendo de efectuar un simple cálculo. Así por ejemplo, si viéramos en un gráfico que, debido a la autodescarga, la capacidad de un determinado modelo de batería se reduce al 75% de la inicial una vez transcurridos seis meses, se tendrá:

$$(100 - 75) / 100 = 0.25 \text{ (en seis meses)}$$

$$K_a = 0.25/180 \text{ días} = 1.39 \times 10^{-3} \text{ por día}$$

Hay que tener en cuenta que la autodescarga depende, entre otros factores, de la temperatura, aumentando al aumentar ésta. Por ello, y dado que los valores estandarizados suelen venir referidos a una temperatura media (unos 20 o 25 [°C]) es preciso tener en cuenta que este factor puede alterarse en algunos casos.

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

- 2 x 10<sup>-3</sup> por día Para baterías de baja autodescarga, como las de Ni-Cd o las de Pb-Ca sin mantenimiento.
- 5 x 10<sup>-3</sup> por día Para baterías estacionarias de Pb normalmente utilizadas en energía solar.
- 12 x 10<sup>-3</sup> por día Para el resto de las baterías de alta autodescarga, incluidas las de arranque - utilizadas en los automóviles.

Si  $K_a$  la calculamos basándonos en los datos suministrados por el fabricante para una temperatura de 20 a 25 [°C], podemos estimar la autodescarga  $K_a'$  para cualquier otra temperatura T en [°C] en el intervalo desde -5 [°C] hasta 45 [°C], por medio de la siguiente expresión:

$$K_a' = (0.0014 T + 0.0021 T + 0.4) K_a$$

Esta corrección solamente es importante en los

casos de grandes capacidades y en que la temperatura media anual del lugar donde se encuentren los acumuladores sea menor de 15 [°C] o mayor de 25 [°C].

El rendimiento de los convertidores debe ser suministrado por el fabricante y suele oscilar entre un 75% y un 95%. A falta de otros datos, podemos tomar  $K_c = 0.2$  para los convertidores senoidales y  $K_c = 0.1$  para los de onda cuadrada. Para simplificar, suponemos que el consumo propio de los circuitos del convertidor está tomado en cuenta en  $K_c$ , aunque en el caso de grandes potencias es aconsejable desglosar el valor del consumo del propio convertidor y las pérdidas que origina.

El factor  $K_v$  agrupa cualquier otra pérdida no considerada anteriormente. Cada aparato eléctrico desprende algo de energía que se convierte en calor no deseable. Lo mismo sucede en los propios cables de conducción y en las diversas conexiones. Esto hace que la potencia real consumida siempre sea mayor que la calculada a partir de la potencia nominal o teórica que figura en la etiqueta de especificaciones técnicas del aparato. La relación es variable, siendo 0.15 un valor medio razonable para  $K_v$ , que puede reducirse a 0.05 si ya se han tenido en cuenta los rendimientos de cada aparato englobándolos en los datos de consumo.

Una vez calculados  $R$  y  $E_r$ , se halla el valor de la capacidad útil  $C_u$  que debe tener la batería, que será igual a la energía total  $E_r$  que es preciso producir diariamente multiplicada por el número  $N$  de días de autonomía, ya que la batería debe ser capaz de acumular toda la energía necesaria para dicho período.

$$C_u = E_r \times N \quad (5.3)$$

Si  $E_r$  se mide en Jules,  $C_u$  resultará también en Jules, aunque es costumbre medir  $E_r$  en [W-h] y expresar entonces la capacidad en [A-h] dividiendo simplemente  $C_u$  entre la tensión nominal de la batería normalmente de 12 ó 24 [V]. Por simplicidad, se usa indistintamente el mismo símbolo para designar la capacidad en [W-h] y [A-h].

La capacidad nominal  $C$  asignada por el fabricante será igual al cociente entre  $C_u$  y la profundidad máxima de descarga admisible  $pd$ .

$$C = C_u / pd \quad (5.4)$$

De nuevo, estas capacidades están referidas a unas condiciones estándares: midiéndose normalmente a una temperatura de 20 a 25 [°C], por lo que habrá de efectuar algunas correcciones, cuando procedan.

Para aplicaciones solares las descargas de las baterías son muy lentas, de modo que su capacidad real nunca va a ser inferior a las marcadas por el fabricante. Sin embargo, las bajas temperaturas pueden afectar negativamente a la capacidad real.

Si no se dispone de datos, puede estimarse la capacidad real  $C'$  a una temperatura de  $T$  en [°C] en función de la capacidad nominal a 20 o 25 [°C] usando la siguiente expresión:

$$K_T = 1 - \Delta T / 160$$

donde:  $\Delta T$  es el número de grados centígrados por debajo de los 20 [°C] en que como media, se supone va a trabajar la batería. Si multiplicamos este factor  $K_T$  por la capacidad nominal obtenemos la siguiente expresión:

$$C' = K_T \times C \quad (5.5)$$

En cuanto a la profundidad de descarga máxima admisible, se atenderán las recomendaciones del fabricante, teniendo en cuenta que los elementos de seguridad desconectarán la carga de consumo cuando la batería se acerque al nivel de consumo y también cuando se acerque al nivel de descarga máximo permitido.

En la práctica y para pequeñas instalaciones, no se suele efectuar corrección alguna por temperatura ni por régimen de descarga, pues ambos efectos se compensan aproximadamente entre sí, ya que la capacidad, al ser la descarga lenta, es algo mayor que la especificada por el fabricante (normalmente para un tiempo de 20 a 50 horas), aunque debido a la temperatura que la batería vaya a soportar, puede disminuir con respecto a su valor nominal.

Finalmente se elige la batería del catálogo de marcas escogido que más se aproxime al valor de  $C$  calculado, ya que no se fabrican baterías de cualquier capacidad, sino tan solo de unos valores determinados de la misma. En caso de que el valor de  $C$  calculado coincida mas o menos entre dos de los valores de catálogo, recomendamos elegir la batería de mayor capacidad para obtener un margen de seguridad. Sin embargo, si el valor

de C resultara tan sólo ligeramente superior a alguno del catálogo, puede elegirse en este mismo sin inconveniente alguno, pues la diferencia resulta despreciable en el contexto general del cálculo. 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.

### 5.3.2 CALCULO DE LA POTENCIA DE LOS PANELES.

El valor de  $E_r$  obtenido anteriormente es la energía que debe entrar a través de las terminales del acumulador, la cual tiene su origen en los paneles. Sin embargo, entre estos y la batería suele estar instalado un regulador que, como sabemos, disipa energía en forma de calor o bien corta el suministro durante ciertos períodos, por lo que la cantidad diaria  $E_p$  que deben producir los paneles debe ser siempre superior a  $E_r$ .

Es difícil evaluar con precisión las pérdidas del regulador, ya que éstas 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 en el regulador y no se convertirá en energía útil.

En las épocas del año más favorables las baterías se encuentran en estado de máxima carga durante buena parte del día y, por lo tanto, la energía sobrante que podrían teóricamente producir los paneles sería disipada en el regulador, elevando a más del 10% el valor del factor de pérdidas que hemos considerado. Sin embargo, como el período que nos interesa a efectos de dimensionado es el más desfavorable (invierno), en el que el estado de carga máxima se alcanzará pocas veces, el regulador no desaprovechará mucha energía y puede ser aceptable tomar un rendimiento del 90%.

Por tanto:

$$E_p = E_r / 0.9 \quad (5.6)$$

Con el fin de evaluar la energía que un panel puede producir diariamente en una determinada localidad resulta útil el concepto del número de horas de sol pico (H.S.F.) del lugar en cuestión y que no es otra cosa que

el valor de la energía  $H$  total incidente sobre una superficie horizontal de  $1 \text{ m}^2$ , es decir, el dado por la tabla 3.4 del Capítulo 3, pero expresado en [KW-h] en vez de en [MJ]. Como  $1 \text{ [KW-h]} = 3.6 \text{ [MJ]}$ , resulta claro que:

$$\text{H.S.P.} = 0.2778 \times H \times K \quad (5.7)$$

donde:

0.2778 es el inverso de 3.6, esto con el fin de transformar Mega Jules en Kilo Watt-hora.

$H$  = Energía total incidente sobre una superficie horizontal de  $1 \text{ [m}^2\text{]}$ .

$K$  = Coeficiente de corrección por inclinación de paneles.

El significado del nombre "horas de sol pico", esto es "horas de sol a una intensidad de  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ " es el siguiente:

Desde el amanecer hasta que se pone el sol, la intensidad que recibe un panel fotovoltaico horizontal varía continuamente. En un típico día 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  $H$ . 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, pero la pérdida de energía que este efecto supone es despreciable y no ha de ser considerada.

A efectos de cálculos energéticos sería lo mismo suponer que el panel está recibiendo una intensidad constante de  $1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$  durante un tiempo igual al número de H.S.P., puesto que, al coincidir dicho número de H.S.P. con el número de [KW-h] de energía incidente en todo el día, en ambos casos se llega al mismo valor de  $H$ .

La ventaja de utilizar este concepto de las H.S.P., que a primera vista puede parecer extraño, es que permite evaluar más rápidamente los rendimientos energéticos. Por otra parte, los experimentos de laboratorio y los ensayos de paneles fotovoltaicos suelen hacerse en condiciones de 1 sol pico de intensidad o sea  $1 \text{ [KW/m}^2\text{]}$  y los resultados se expresan siempre en función de dicha hipótesis. Así, la potencia nominal de un panel siempre se supone referida a una intensidad de 1 sol pico.

Resumiendo, si por ejemplo, en una localidad se

reciben en un mes determinado una media diaria de 12.7 [MJ] (3.53 [KW-h]), el resultado es el mismo que si incidiera una intensidad de 1 [KW] (1 sol pico) durante 3.53 horas, y se dice que el número de H.S.P. en ese mes es igual a 3.53.

Si los paneles estuvieran instalados horizontalmente, bastará consultar la tabla 3.2 del Capítulo 3 (referida únicamente al caso particular del presente proyecto) y hallar mediante la expresión (5.7) el número de H.S.P. del lugar considerado en el mes más desfavorable del período de consumo, para saber la energía diaria (teórica) que produciría cada panel de potencia nominal P, sin más que multiplicar dicho valor de P por el número de H.S.P. En el caso, como normalmente ocurre, que estén inclinados, dicha energía se verá afectada por el factor de corrección por inclinación (K) de la tabla 3.6 del mismo capítulo que ya conocemos.

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

$$\text{Número de Paneles} = \frac{E_p}{0.9 P \times (\text{H.S.P.})} \quad (5.8)$$

En el factor corrector 0.9 incluimos también las pequeñas pérdidas adicionales debidas, por ejemplo, a la posible suciedad de los paneles, pérdidas por reflexión en los momentos de incidencia muy oblicua, etc.

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

Como normalmente el resultado de la expresión (5.8) es un número decimal, recomendamos tomar el entero mayor inmediato.

### 5.3.3 ELEMENTOS ADICIONALES DE LA INSTALACION.

#### A) REGULADORES.

Para instalaciones fotovoltaicas de baja potencia y que no sufran grandes cambios de temperatura

ambiente, los reguladores tipo SHUNT suelen ser los más empleados, debido a su bajo costo.

Para sistemas de mayor potencia y situados en lugares en los que se puedan producir grandes variaciones de temperatura, los reguladores deberán tener un sensor de temperatura que corrija la tensión. En este caso deberá tenerse en cuenta que la tensión máxima de carga de la batería deberá estar por encima de la tensión de gasificación, para que se logre una mayor carga y se disminuya la estratificación del electrolito. La tensión de reconexión se deberá elegir entre 2 [V] y 2.1 [V] por elemento, de forma que el relevador de conexión no desconecte excesivamente pero tampoco permita que la batería sufra ciclos profundos al abastecer al consumo, ya que disminuiría su vida de funcionamiento.

En general, la elección del sistema de regulación para una instalación fotovoltaica debe asegurar que el dispositivo seleccionado cubra como mínimo las siguientes funciones:

- Protección de la batería contra sobrecarga.
- Protección de la batería contra descargas excesivas mediante desconexión automática de la carga.
- Reconexión automática o manual.
- Sistema de alarma por baja carga de la batería.
- Desconectador manual de alarma, que se conecte automáticamente al subir de nuevo la carga de la batería por encima de un valor prefijado.

Además sería recomendable que lleve incorporado:

- Contador de Amperes-hora producidos por el campo de paneles.
- Contador de Amperes-hora consumidos por la carga.

Es muy conveniente que el regulador esté parado de tal forma que produzca la desconexión automática de la carga cuando la tensión en los bornes de la batería sea

la correspondiente al 70% de la profundidad máxima de descargas admisible y el aviso acústico al 50%. Además se debe cuidar que la tensión de reconexión sea superior a la tensión nominal de la 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.

En general se debe procurar que el número de reguladores sea el mínimo posible, y si es necesario más de uno, el número de éstos se obtendrá mediante la siguiente expresión:

$$N_r = N_{pp} \times I_p / I_r \quad (5.9)$$

donde:

$N_r$  = Número de reguladores.  
 $N_{pp}$  = Número de paneles en paralelo.  
 $I_p$  = Intensidad pico del panel seleccionado.  
 $I_r$  = Intensidad máxima que es capaz de disipar el regulador.

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

## B) DIMENSIONADO DEL CONVERTIDOR.

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

- Tensión nominal de entrada.
- Potencia nominal.
- Tensión de operación.
- Tensión nominal de salida.
- Eficiencia.

La tensión de entrada en un convertidor situado en una instalación fotovoltaica no va a ser siempre constante, por lo cual el aparato seleccionado debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas dentro de un rango de operación del orden de un 15%. El valor nominal es un valor de referencia dentro del intervalo de actuación, que sirve para identificar el tipo de convertidor.

En cualquier instalación el convertidor puede ser que actúe por encima de su potencia nominal durante un cierto intervalo de tiempo, como por ejemplo en la puesta en marcha de un motor, con lo cual estará sometido a una sobrecarga. Esta sobrecarga deberá poder ser como mínimo:

a) del orden de 160% de la potencia nominal durante un minuto;

b) del orden de un 140% durante tres minutos;

c) del orden de un 120% durante diez minutos.

La variación de la tensión de salida no deberá ser superior a un 5% de la tensión nominal de salida para convertidores de onda senoidal y un 10% para convertidores de onda cuadrada.

La frecuencia normal de actuación para la conexión de los aparatos del mercado nacional es de 60 Hz con una precisión de un 2%.

Todos los convertidores presentan un tanto por ciento de su potencia correspondiente a las frecuencias diferentes de la nominal, es decir de los 60 Hz. Este parámetro se denomina distorsión de armónicos y podemos aceptar un valor alrededor del 5% en todo el rango de potencias de salida para factores de potencia comprendidos entre 0.8 y 0.9 para convertidores de onda senoidal y de un 33% para convertidores de onda cuadrada.

La eficiencia del convertidor definida como relación entre la potencia que éste entrega a la utilización y la potencia que el convertidor extrae de los paneles o del sistema de acumulación, en función de la carga, tendrá como mínimo los valores representados en la tabla 5.4 para factores de potencia comprendidos entre 0.8 y 0.9.

TABLA 5.4 EFICIENCIA MINIMA EXIGIBLE A UN CONVERTIDOR EN FUNCION DEL VALOR PORCENTUAL DE LA POTENCIA DE CONSUMO

CARGA EN % DE POTENCIA NOMINAL	EFICIENCIA
10	60
20	70
30	75
40	80
40	85

La potencia de entrada del convertidor se calculará mediante la siguiente expresión:

$$P_e = \text{Potencia de salida} / \text{Eficiencia} \quad (5.10)$$

El convertidor seleccionado deberá incorporar un automatismo de desconexión por falta de carga y estará protegido contra:

- a) Cortocircuitos.
- b) Sobrecarga.
- c) Inversión de polaridad en alimentación.

La resistencia al cortocircuito del convertidor será tal, que se garantice su desconexión automática, y la sobrecarga admisible del convertidor asegurará el buen funcionamiento de la instalación.

La gama de convertidores que existe actualmente en el mercado es muy amplia, tanto en onda cuadrada como en onda senoidal y la decisión de utilizar uno u otro, se deberá tomar teniendo en cuenta que el convertidor seleccionado sea compatible en cuanto a potencia nominal, forma de onda y factor de distorsión, con los equipos a los que vaya a conectarse.

#### 5.4 MEMORIA DEL CALCULO.

Se considera conveniente manejar un voltaje de 110 [VCA] en toda la instalación mediante un inversor de corriente.

Los consumos medios diarios fueron estimados por el propio cliente:

5.4.1. CALCULO DE LA ENERGIA TOTAL TEORICA MEDIANTE LA SUMA DEL CONSUMO DE CADA APARATO USADO EN UN PERIODO DE 24 HORAS.

TABLA 5.5 SUMA DE CONSUMOS DE CADA APARATO

CANTIDAD	POTENCIA [W]	TIEMPO DE USO AL DIA [HR]	CONSUMO [W-h]
SALA-COMEDOR (2 PUNTOS DE LUZ 18 [W])	36	3	108
RECAMARAS (3 PUNTOS DE LUZ 18 [W])	54	3	162
COCINA (3 PUNTOS DE LUZ 18 [W])	36	3	108
BAÑO (1 PUNTO DE LUZ 9 [W])	9	3	27
PASILLO (3 PUNTOS DE LUZ 9 [W])	27	3	81
FACHADA (2 PUNTOS DE LUZ 9 [W])	18	3	54
T.V. COLOR 20"	110	4	440
RADIOGRABADORA	20	4	80
CONTACTOS APARATOS VARIOS (100 [W] CADA UNO)	500	1	500
LAVADORA (USO 1 3/4 UN DIA A LA SEMANA)	500	.25	125
PLANCHA (USO 1 HR. UN DIA A LA SEMANA)	1000	.15	150
VIDEOCASETERA (USO 2.5 HRS. 5 DIAS A LA SEMANA)	30	1.8	54
POTENCIA TOTAL SIMULTANEA	2340		=====
			ENERGIA TOTAL TEORICA $E_T = 1889$

Una vez obtenida la "Energia Total Teórica" procedemos a determinar la capacidad del acumulador.

5.4.2 CALCULO DE LA CAPACIDAD Y DETERMINACION DEL ACUMULADOR.

1. Determinar N (días de autonomía, o sea días consecutivos totalmente cubiertos).

Nota: Este dato depende de las condiciones climatológicas del lugar y de la decisión del usuario de correr el riesgo de quedarse sin energía.

Tomando en cuenta la nota anterior se determinó el valor de N de  $N = 4$ .

2. Obtener  $E_r$  = Energía real necesaria tomando en cuenta las diferentes pérdidas mediante la expresión (5.1):

$$E_r = E_T / R \quad [W-h]$$

donde:

$R$  es un factor global de rendimiento de una instalación y se calcula mediante la expresión (5.2):

$$R = 1 - \left[ \frac{(1 - K_b - K_c - K_v) \times K_a \times N}{p_d} \right] - K_b - K_c - K_v$$

$K_a = 0.005$  (valores proporcionados por el fabricante)  
 $K_b = 0.05$   
 $K_c = 0.2$   
 $K_v = 0.15$   
 $p_d = 0.8$

Sustituyendo valores:

$$R = 1 - \left[ \frac{(1 - K_b - K_c - K_v) \times K_a \times N}{p_d} \right] - K_b - K_c - K_v$$

$$R = 1 - \left[ \frac{(1 - 0.05 - 0.2 - 0.15) \times 0.005 \times 4}{0.8} \right] - 0.05 - 0.2 - 0.15$$

$$R = 1 - \left[ \frac{0.6 \times 0.02}{0.8} \right] - 0.4$$

$$R = 1 - \left[ \frac{0.012}{0.8} \right] - 0.4$$

$$R = 1 - 0.015 - 0.4$$

---


$$R = 0.585$$


---

A continuación pasamos a obtener  $E_r$  con la expresión (5.1):

$$E_r = E_T / R$$

$$E_r = 1889 / 0.585$$

$$E_r = 3229 \text{ [W-h]}$$

3. Calcular  $C_u$  (CAPACIDAD UTIL) de acuerdo con la expresión (5.3):

$$C_u = E_r \times N \text{ [W-h]}$$

$$C_u = 3229 \times 4 \text{ [W-h]}$$

$$C_u = 12916 \text{ [W-h]}$$

y como  $V=12$  [V] (VOLTAJE DE TRABAJO) para expresar en [A-h] tenemos:

$$C_u = 12916 / 12$$

$$C_u = 1076.34 \text{ [A-h]}$$

4. Obtener  $C$  (CAPACIDAD NOMINAL) utilizando la expresión (5.4):

$$C = C_u / p_d$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$C = 1076.34 / 0.8$$

$$C = 1345.425 \text{ [A-h]}$$

Los datos proporcionados por el fabricante pertenecen a acumuladores de 195 [A-h], entonces mediante la siguiente expresión :

$$\text{no. acum} = C / 195 \text{ [A-h]}$$

$$\text{no. acum} = 1345.425 / 195$$

$$\text{no. acum} = 6.89$$

y tomando el valor inmediatamente superior, el número de

acumuladores necesarios para la instalación serán:

-----  
7 acumuladores de 195 [A-h] de 12 [VCD] Modelo 27-C  
-----

### 5.4.3 CALCULO DEL NUMERO DE PANELES

DATOS:

LUGAR: ESTADO DE MORELOS

LATITUD: 19°

H = ENERGIA PARA EL MES MAS DESFAVORABLE EN LA LOCALIDAD EN CUESTION.

H = 14.65 [MJ] DIA PROM. (TABLA 3.4 CAPITULO 3)

K = COEFICIENTE DE CORRECCION POR INCLINACION DE LOS PANELES.

K = 1.24 (TABLA 3.6 CAPITULO 3)

1. Determinar el número de horas de sol pico según la expresión (5.7):

$$H.S.P. = 0.2778 \times k \times H [h]$$

Sustituyendo valores:

$$H.S.P. = 0.2778 \times 1.24 \times 14.65$$

-----  
$$H.S.P. = 5.0465 [h] \text{ al día}$$
  
-----

2. Calculo de la ENERGIA EN PANELES  $E_p$  según la expresión (5.6):

$$E_p = E_r / 0.9 \text{ (puesto que existe regulador)}$$

Sustituyendo :

$$E_p = 3229 / 0.9$$

-----  
$$E_p = 3587.77 [W-h]$$
  
-----

### 3. Cálculo del Número de Paneles.

Si la potencia nominal P de los paneles es de 60W (MSX-60), utilizando la expresión (5.8):

$$\text{No. de paneles} = E_p / (0.9 \times P \times \text{H.S.P.})$$

donde:

P es la potencia nominal de los paneles.

Sustituyendo:

$$\text{No. de paneles} = 3587.77 / (0.9 \times 60 \times 5.0465)$$

$$\text{No. de paneles} = 3587.77 / 272.511$$

$$\text{No. de paneles} = 13.16$$

---

$$\text{No. de paneles} = 14$$

---

Resumiendo:

Con los cálculos anteriores se determina:

---

7 ACUMULADORES DE 195 [A-h] DE 12 [VCD] MODELO 27-C MARCA LTH

14 PANELES MARCA SOLAREX MODELO MSX-60

---

NOTA: En el apéndice A se incluyen:

- Diagramas de instalaciones fotovoltaicas domésticas comunes.
- Perspectiva de casa-habitación considerada.
- Plano arquitectónico de planta instalación eléctrica.
- Hojas de datos técnicos, de los elementos de la instalación fotovoltaica.

## TEMA VI ANALISIS COMPARATIVO ECONOMICO

### 6.1 INTRODUCCION

En el caso de una instalación fotovoltaica resulta difícil cuantificar la rentabilidad de la instalación, puesto que el factor económico no es el principal factor para determinar su realización. Por ejemplo en el caso de señalizaciones marinas o en lugares remotos, donde no existe otra alternativa viable para producir energía eléctrica en forma segura y duradera.

Por otro lado si consideramos un típico hogar de clase media urbana, observaremos que puede consumir al mes varios [K.W.H.] de electricidad sin que parezca exagerado, mientras que en una vivienda alimentada exclusivamente por energía solar se debe reducir al máximo el consumo hasta en una décima parte.

Probablemente el valor de la energía eléctrica que un panel de tipo medio es capaz de generar durante la totalidad de su vida útil (20 ó 25 años) no llegue siquiera a compensar su propio costo, si se valora dicha energía al precio de tarifa de las compañías eléctricas.

No obstante, una instalación fotovoltaica es, en la mayoría de los casos, totalmente viable y altamente aconsejable en los lugares donde la red eléctrica se encuentra a más de tres kilómetros de distancia, de tal suerte que es una alternativa prioritaria el dotar de iluminación a viviendas de millones de personas, principalmente en países en vías de desarrollo.

Además desde el punto de vista ecológico una instalación fotovoltaica tiene muchas más ventajas que cualquier otra alternativa, siendo incalculable el beneficio para la humanidad. El impacto en la disminución de la contaminación sobre el medio ambiente, se ve reflejado en una mejor calidad de vida en cuestiones de salud para la sociedad.

Por otro lado existen instalaciones autónomas de generación de electricidad que pueden resultar necesarias por dos razones.

El primer caso es en aquellas instalaciones que no pueden depender de una alimentación sujeta a posibles averías, cortes de suministro, etc.

Por otro lado existen lugares donde como en nuestro ejemplo la red general de distribución se encuentra muy alejada, donde se tiene la opción de solicitar el tendido de una nueva línea de distribución desde el punto más cercano de la red general.

Dado que el costo del tendido debe ser asumido por el solicitante de la línea incluyendo el uso de todos los equipos de transformación necesarios, la mano de obra, el transporte, la cuestión quedará definida en función de la longitud de la línea de tendido.

Teniendo en cuenta el costo actual del tendido de nuevas líneas y la distancia a la red general se puede ejecutar un estudio de viabilidad entre la instalación fotovoltaica y ésta.

Evidentemente, la ventaja que presenta una línea de distribución es que el consumo y la potencia pueden ser tan altos como se desee y permite el uso de cualquier aparato que funcione con electricidad el tiempo deseado, ya que una vez realizado el gasto inicial del tendido de la línea y la acometida, el gasto del consumo adicional no se eleva demasiado.

Ahora una instalación fotovoltaica presenta algunas ventajas frente a otros sistemas, en síntesis, son:

- Pocas posibilidades de averías y un mínimo de mantenimiento, ya que carece de partes móviles.
- No hay que preocuparse del suministro de combustible (ni pagar su costo).
- Ausencia total de contaminación y ruidos molestos.
- Resistencia a condiciones atmosféricas duras.
- Instalación relativamente simple.
- Posibilidad de ir aumentando la potencia instalada a voluntad.

En la práctica, el método de cálculo para tomar la decisión de una instalación fotovoltaica frente a la alternativa de efectuar un tendido de red, consiste en cuantificar la inversión necesaria en uno y otro caso y considerando una vida útil de 20 años para efectuar un estudio de factibilidad económico.

## 6.2 ANALISIS ECONOMICO DEL SISTEMA.

A continuación se reproducen los datos globales de inversión inicial y costos de reposición para el sistema fotovoltaico para una casa - habitación\*. Y el presupuesto hecho por la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.)

El desglose de los costos está en el análisis de precios unitarios detallada. (fecha de realización Abril de 1993).

-----			
1) SISTEMA DE ENERGIA SOLAR PROPUESTO.			
CANT.	UNID.	CONCEPTO	MODELO P. UNIT.
14	pzas	Panel fotovoltaico, 60 [W] 12 [VCD] nominal.	SOLAREX MSX-60 N\$ 1,601.92
2	"	Controlador de recarga solar, 30 [A] 12 [VCD]	ACUMEX CTI-30LVD 286.72
7	"	Lamp. fluorescente compacta 18 [W], 220 [VCD]	OSRAM DULUX D/E 74.32
6	"	Lamp. fluorescente compacta 9 [W], 110 [VCD]	OSRAM DULUX S 33.26
2	"	Inversor de voltaje 1300 [W] continuos 600 [W] de pico de arranque, 12 [VCD] nom. 12 [VCD] de entrada y 115 [VCA] de salida.	POWER STAR UPG-1300 30.72
4	"	Soporte metálico de acero gal- vanizado con acabado epóxico con capacidad para contener 4 paneles fotovoltaicos.	ACUMEX SM-4 128.00
7	"	Acumulador hibrido 195 [A-H] régimen 20 [H] 12 [VCD] nomi- nales.	LTH 27-C 302.31
1	"	Accesorios necesarios para la instalación de casa-habitación.	2,500.00
1	"	Transportación de materiales y equipo.	3,000.00
1	"	Instalación, prueba y puesta en marcha	4,500.00
			=====
DIAS DE AUTONOMIA 4			
MONTO TOTAL DE LA PUESTA.			N\$36,409.73
-----			

\* SITUADA EN EL ESTADO DE MORELOS Y CONSIDERANDO 4 DIAS DE AUTONOMIA.

2) PRESUPUESTO REALIZADO POR C.F.E.

COSTO DE MATERIAL E INFRAESTRUCTURA DE UNA INSTALACION ELECTRICA PARA ZONAS DONDE NO EXISTE EL FLUIDO ELECTRICO.

Consideremos una linea de distribución de la fuente de 13.8 [KV] a la instalación por alimentar a 10 [Km.] de distancia.

OBRA A EJECUTAR: Se instalará un transformador de 10 [KVA] 13.8 [KV] 220-127 [V] a partir de las líneas de distribución de 13.8 [KV] y de ahí se llevará hasta el punto de utilización.

Material y equipo requerido para la línea de distribución de la fuente de 13.8 [KV] a la instalación por alimentar a 10 [Km].

CANT.	UNIDAD	CONCEPTO	COSTO UNIT.
1	pza	Proyecto eléctrico en alta tensión.	N\$ 3,000.00
1	"	Juego de cuchillas fusible ut3sf.	343.30
1	"	Transformador de 10 [KVA]. 13200 V - 240 V/2F-3H-60Hz MONOFASICO.	2,021.52
1	"	Interruptor de 2 x 30 [Amp.]	70.00
127	"	Postes de madera.	44,111.07
20000	[ml]	Cable calibre No. 6. TWH.	39,903.80
257	pza	Aisladores de porcelana vidriada d=77 mm.	767.29
127	"	Crucetas.	6,537.98
254	"	Amarres.	101.60
SUBTOTAL			N\$ 96,856.56
Material y equipo eléctrico para la instalación en la casa - habitación.			
Costo por mano de obra de la instalación eléctrica del transformador, colocación de postes y tendido de los alimentadores.			N\$ 356,546.68
Costo de mano de obra de la instalación residencial en sistema de baja tensión, 127 [V].			N\$ 2,400.00
TOTAL C.F.E.			N\$ 455,803.20

Dado que la vida útil del sistema fotovoltaico se considera en 20 años, algunos de los componentes se tendrán que reemplazar puesto que su vida útil es más corta.

Consideraremos un período de comparación de 20 años.

Costo de reposición de componentes mayores de los componentes del sistema fotovoltaico.

### 6.3 COSTO DE REPOSICION A VALOR PRESENTE SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Los componentes que deben comprarse en el futuro para reposición deben traducirse a valor presente para que sean equiparables con la inversión inmediata. Esto debe reflejar que no es lo mismo invertir una cantidad en este año, que dentro de algunos años, pues en este lapso ese dinero rendirá intereses. Habría que considerar los rendimientos reales, o sea de contar al efecto la inflación. Para eso se usa la tasa de descuento real:

Tasa de descuento asumida 7%.

COSTOS TOTALES DE REPOSICION A VALOR PRESENTE PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO. N\$ 1,548.22

COMPONENTE	IMPORTE VAL. CORR.	CANT.	AÑO A RE-PONER.	IMPORTE TOTAL A V. CORR.	FACTOR CORREC-CION {1}	IMPORTE TOTAL A VALOR PRESENTE N\$.
CONTROLADOR	286.72	2	10o	573.44	.508	291.31
BAT. FOTOV.	302.31	7	15o	2116.17	.362	766.05
LAMP. 18w	74.32	7	10o	520.24	.508	264.28
LAMP. 9w	33.26	6	10o	200.16	.508	101.08
BALASTRAS						
p/pl	55.14	3	10o	165.42	.508	84.03
BALASTRAS sl	27.33	3	10o	81.64	.508	41.47
T O T A L						N\$ 1,548.22

{1} El factor de corrección se obtiene de aplicar la tasa de descuento a los costos que causarían las reposiciones del equipo al acabar su vida útil (n): Factor de Corrección  $(1-D)^n$ .

Para realizar la evaluación económica del proyecto, en particular para realizar la conveniencia de instalar un sistema fotovoltaico frente a una línea de servicio de energía realizada por C.F.E.

Haremos las siguientes consideraciones:

Tomaremos el costo total de la propuesta del sistema fotovoltaico considerando el equipo, instalación y puesta en marcha de el costo de reposición a valor presente, como una inversión inicial del equipo.

INVERSION INICIAL:  $\text{N}\$ 36,409.73 + \text{N}\$1548 = \text{N}\$37,957.73$

Para una sola casa. Como vamos a comparar nuestro proyecto con una línea de energía eléctrica (C.F.E.), la que puede alimentar varias casas, entonces nuestra inversión inicial será el costo que causarían varias casas con el equipo fotovoltaico menos, lo que cobra C.F.E. por el tendido de las líneas.

INVERSION INICIAL:  $\text{N}\$ 37,957.7 \times \text{No. casas} - \text{N}\$455,803.20$

Consideramos el costo de operación de cada casa:  $\text{N}\$ 20.00$

COSTO DE OPERACION:  $\text{N}\$ 20 \times \text{No. casas}$

INGRESO ANUAL:

Consideraremos un ingreso anual como la cantidad que causaría el consumo de [KWH] de las N casas durante un año según la C.F.E. (En promedio cobra  $\text{N}\$ .25$  el [KW-h]). Para obtener el consumo anual consideraremos la potencia de los paneles, el número de paneles y el número de casas.

RESUMIENDO ESTAS CONSIDERACIONES:

---

INVERSION INICIAL : [N\$]  $36.409.72 + N\$1.548$  x No.casas - N\$455,803.20  
INGRESO ANUAL : [N\$]  $0.25 \times 14 \times 60 \times 5 \times 365 \times \text{No.casas} \times (1/1000)$   
NUMERO DE PERIODOS: [años] 20  
COSTO DE OPERACION: [N\$]  $20 \times \text{No.casas}$   
TASA DE DESCUENTO : [%] 7

---

Donde:

0.25 [N\$] precio promedio [KWH] (C.F.E.)  
14 [pza] No. de paneles.  
60 [W] potencia de paneles.  
5 [h] horas de sol pico promedio anual.  
365 [dias] días en un año.  
1/1000 factor de corrección para [KW].

Al evaluar estos flujos para diferente número de casas, concluimos que de 1 a 13 casas es obvia la decisión; conviene instalar el sistema fotovoltaico, para 14, 15, 16 y 17 casas evaluando la diferencia que causaría la instalación del sistema respecto a la línea de la C.F.E. como una inversión y tomando como un ingreso anual el costo por el consumo de KW-H que causarían las casas obtenemos una tasa interna de recuperación (IIR) del 8%, 4.7%, 2.8% y 0.8% respectivamente, es decir, hasta este número de casas con estas características del sistema conviene instalarlo. De 18 casas en adelante se decide por el proyecto de C.F.E. según resultados en las tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5.

TABLA 6.1 COMPARACION DEL PROYECTO PARA 14 CASAS

COMPARACION ECONOMICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO CONTRA EL PROYECTO POR CEE

NUMERO DE CASAS	14	NUMERO DE PERIODOS	20
COSTO TOTAL	531498.2	COSTO DE OPERACION	280
INVERSION INICIAL	75699.02	TASA DE DESCUENTO	0.07
INGRESO ANUAL	5365.5	costo kW-H	0.25
		Incremento anual del precio del kW-H	0.05

AÑO	INGRESO NETO	COSTO OPERACION	UTILIDAD NETA	FLUJO EFECTIVO	TIR
1	5365.50	280.00	5085.50	-70919.52	0.087563
2	5633.78	280.00	5353.78	5353.78	
3	5915.46	280.00	5635.46	5635.46	
4	6211.24	280.00	5931.24	5931.24	
5	6521.80	280.00	6241.80	6241.80	
6	6847.89	280.00	6567.89	6567.89	
7	7190.28	280.00	6910.28	6910.28	
8	7549.80	280.00	7269.80	7269.80	
9	7927.29	280.00	7647.29	7647.29	
10	8323.65	280.00	8043.65	8043.65	
11	8739.83	280.00	8459.83	8459.83	
12	9176.83	280.00	8896.83	8896.83	
13	9635.67	280.00	9355.67	9355.67	
14	10117.45	280.00	9837.45	9837.45	
15	10623.32	280.00	10343.32	10343.32	
16	11154.49	280.00	10874.49	10874.49	
17	11712.21	280.00	11432.21	11432.21	
18	12297.82	280.00	12017.82	12017.82	
19	12912.72	280.00	12632.72	12632.72	
20	13558.35	280.00	13278.35	13278.35	

TABLA 4.2 COMPARACION DEL PROYECTO PARA 15 CASAS

COMPARACION ECONOMICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO CONTRA EL PROYECTO POR CFE.

NUMERO DE CASAS	15	NUMERO DE PERIODOS	20
COSTO TOTAL	569365.9	COSTO DE OPERACION	300
INVERSION INICIAL	113562.7	TASA DE DESCUENTO	0.07
INGRESO ANUAL	5748.75	costo kW-H	0.25
		incremento anual del precio del kW-H	0.05

ANO	INGRESO NETO	COSTO OPERACION	UTILIDAD NETA	FLUJO EFECTIVO	TIR
1	5748.75	300.00	5448.75	-108114.00	0.047553
2	6036.19	300.00	5736.19	5736.19	
3	6338.00	300.00	6038.00	6038.00	
4	6654.90	300.00	6354.90	6354.90	
5	6987.64	300.00	6687.64	6687.64	
6	7337.02	300.00	7037.02	7037.02	
7	7703.87	300.00	7403.87	7403.87	
8	8089.07	300.00	7789.07	7789.07	
9	8493.52	300.00	8193.52	8193.52	
10	8918.20	300.00	8618.20	8618.20	
11	9364.11	300.00	9064.11	9064.11	
12	9832.31	300.00	9532.31	9532.31	
13	10323.93	300.00	10023.93	10023.93	
14	10840.13	300.00	10540.13	10540.13	
15	11382.13	300.00	11082.13	11082.13	
16	11951.24	300.00	11651.24	11651.24	
17	12548.80	300.00	12248.80	12248.80	
18	13176.24	300.00	12876.24	12876.24	
19	13835.05	300.00	13535.05	13535.05	
20	14526.80	300.00	14226.80	14226.80	

TABLA 4.3 COMPARACION DEL PROYECTO PARA 16 CASAS

COMPARACION ECONOMICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO CONTRA EL PROYECTO POR CFE.

NUMERO DE CASAS	16	NUMERO DE PERIODOS	20
COSTO TOTAL	607323.6	COSTO DE OPERACION	320
INVERSION INICIAL	151520.4	TASA DE DESCUENTO	0.07
INGRESO ANUAL	6132	costo kW-H	0.25
		incremento anual del precio del kW-H	0.05

ARO	INGRESO NETO	COSTO OPERACION	UTILIDAD NETA	FLUJO EFECTIVO	
1	6132.00	320.00	5812.00	-145708.48	TIR 0.024376
2	6438.60	320.00	6118.60	6118.60	
3	6760.53	320.00	6440.53	6440.53	
4	7098.56	320.00	6778.56	6778.56	
5	7453.48	320.00	7133.48	7133.48	
6	7826.16	320.00	7506.16	7506.16	
7	8217.47	320.00	7897.47	7897.47	
8	8628.34	320.00	8308.34	8308.34	
9	9059.76	320.00	8739.76	8739.76	
10	9512.74	320.00	9192.74	9192.74	
11	9988.38	320.00	9668.38	9668.38	
12	10487.80	320.00	10167.80	10167.80	
13	11012.19	320.00	10692.19	10692.19	
14	11562.80	320.00	11242.80	11242.80	
15	12140.94	320.00	11820.94	11820.94	
16	12747.99	320.00	12427.99	12427.99	
17	13385.39	320.00	13065.39	13065.39	
18	14054.66	320.00	13734.66	13734.66	
19	14757.39	320.00	14437.39	14437.39	
20	15495.26	320.00	15175.26	15175.26	

TABLA 6.4 COMPARACION DEL PROYECTO PARA 17 CASAS

COMPARACION ECONOMICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO CONTRA EL PROYECTO POR CFE.

NUMERO DE CASAS	17	NUMERO DE PERIODOS	20
COSTO TOTAL	645281.4	COSTO DE OPERACION	340
INVERSION INICIAL	189478.2	TASA DE DESCUENTO	0.07
INGRESO ANUAL	6515.25	costo kW-H	0.25
		incremento anual del precio del kW-H	0.05

AÑO	INGRESO NETO	COSTO OPERACION	UTILIDAD NETA	FLUJO EFECTIVO	TIR
1	6515.25	340.00	6175.25	-183302.96	0.008785
2	6841.01	340.00	6501.01	6501.01	
3	7183.06	340.00	6843.06	6843.06	
4	7542.22	340.00	7202.22	7202.22	
5	7919.33	340.00	7579.33	7579.33	
6	8315.29	340.00	7975.29	7975.29	
7	8731.06	340.00	8391.06	8391.06	
8	9167.61	340.00	8827.61	8827.61	
9	9625.99	340.00	9285.99	9285.99	
10	10107.29	340.00	9767.29	9767.29	
11	10612.66	340.00	10272.66	10272.66	
12	11143.29	340.00	10803.29	10803.29	
13	11700.45	340.00	11360.45	11360.45	
14	12285.48	340.00	11945.48	11945.48	
15	12899.75	340.00	12559.75	12559.75	
16	13544.74	340.00	13204.74	13204.74	
17	14221.97	340.00	13881.97	13881.97	
18	14933.07	340.00	14593.07	14593.07	
19	15679.73	340.00	15339.73	15339.73	
20	16463.71	340.00	16123.71	16123.71	

TABLA 6.5 COMPARACION DEL PROYECTO PARA 18 CASAS

COMPARACION ECONOMICA DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO CONTRA EL PROYECTO POR CEE.

NUMERO DE CASAS	18	NUMERO DE PERIODOS	20
COSTO TOTAL	683239.1	COSTO DE OPERACION	360
INVERSTON INICIAL	227435.9	TASA DE DESCUENTO	0.07
INGRESO ANUAL	6898.5	costo kWh incremento anual del precio del kWh	0.25 0.05

AÑO	INGRESO NETO	COSTO OPERACION	UTILIDAD NETA	FLUJO EFECTIVO	TIR
1	6898.50	360.00	6538.50	-220897.44	-0.00260
2	7243.43	360.00	6883.43	6883.43	
3	7605.60	360.00	7245.60	7245.60	
4	7985.88	360.00	7625.88	7625.88	
5	8385.17	360.00	8025.17	8025.17	
6	8804.43	360.00	8444.43	8444.43	
7	9244.65	360.00	8884.65	8884.65	
8	9706.88	360.00	9346.88	9346.88	
9	10192.23	360.00	9832.23	9832.23	
10	10701.84	360.00	10341.84	10341.84	
11	11236.93	360.00	10876.93	10876.93	
12	11798.79	360.00	11438.79	11438.79	
13	12388.71	360.00	12028.71	12028.71	
14	13008.15	360.00	12648.15	12648.15	
15	13658.56	360.00	13298.56	13298.56	
16	14341.49	360.00	13981.49	13981.49	
17	15058.56	360.00	14698.56	14698.56	
18	15811.49	360.00	15451.49	15451.49	
19	16602.06	360.00	16242.06	16242.06	
20	17432.17	360.00	17072.17	17072.17	

**A P E N D I C E A**

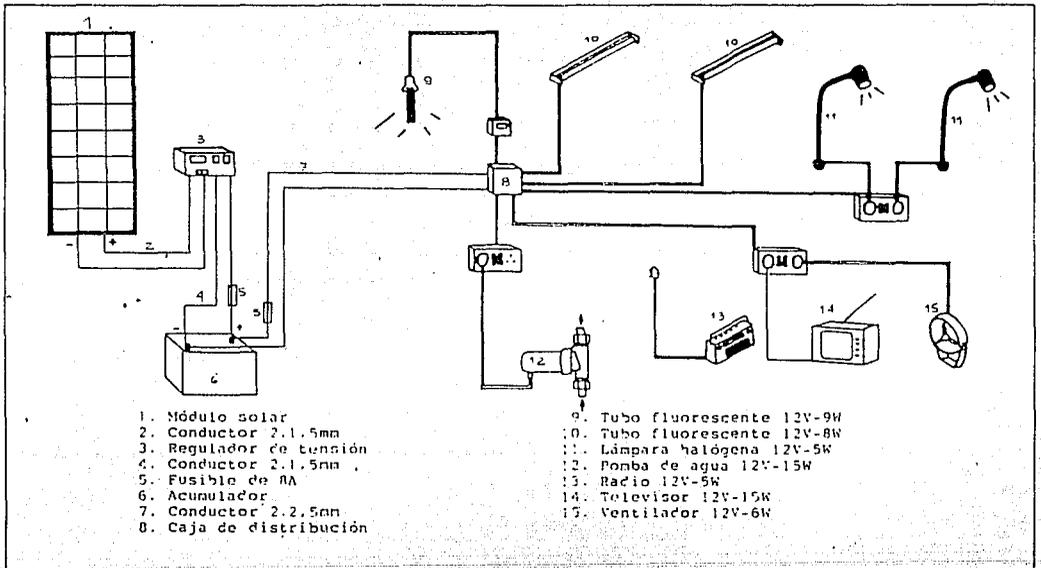


DIAGRAMA DE UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA  
DOMESTICA COMUN

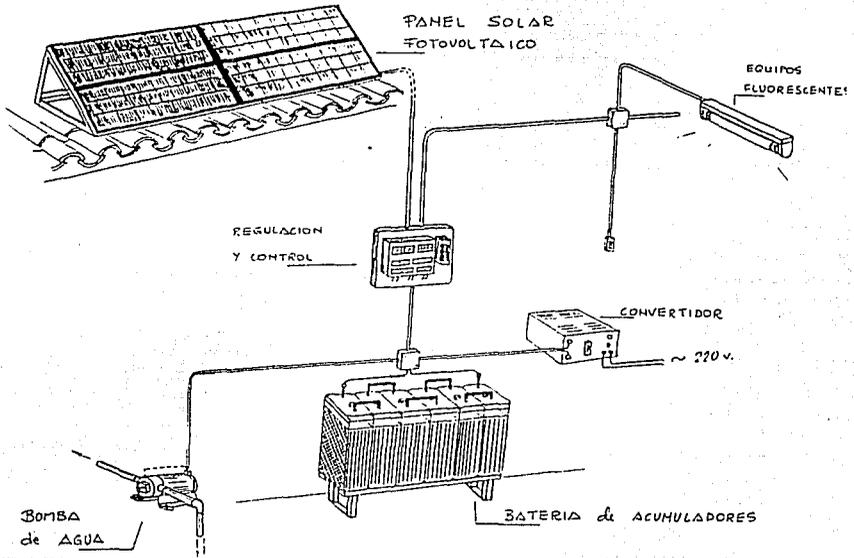
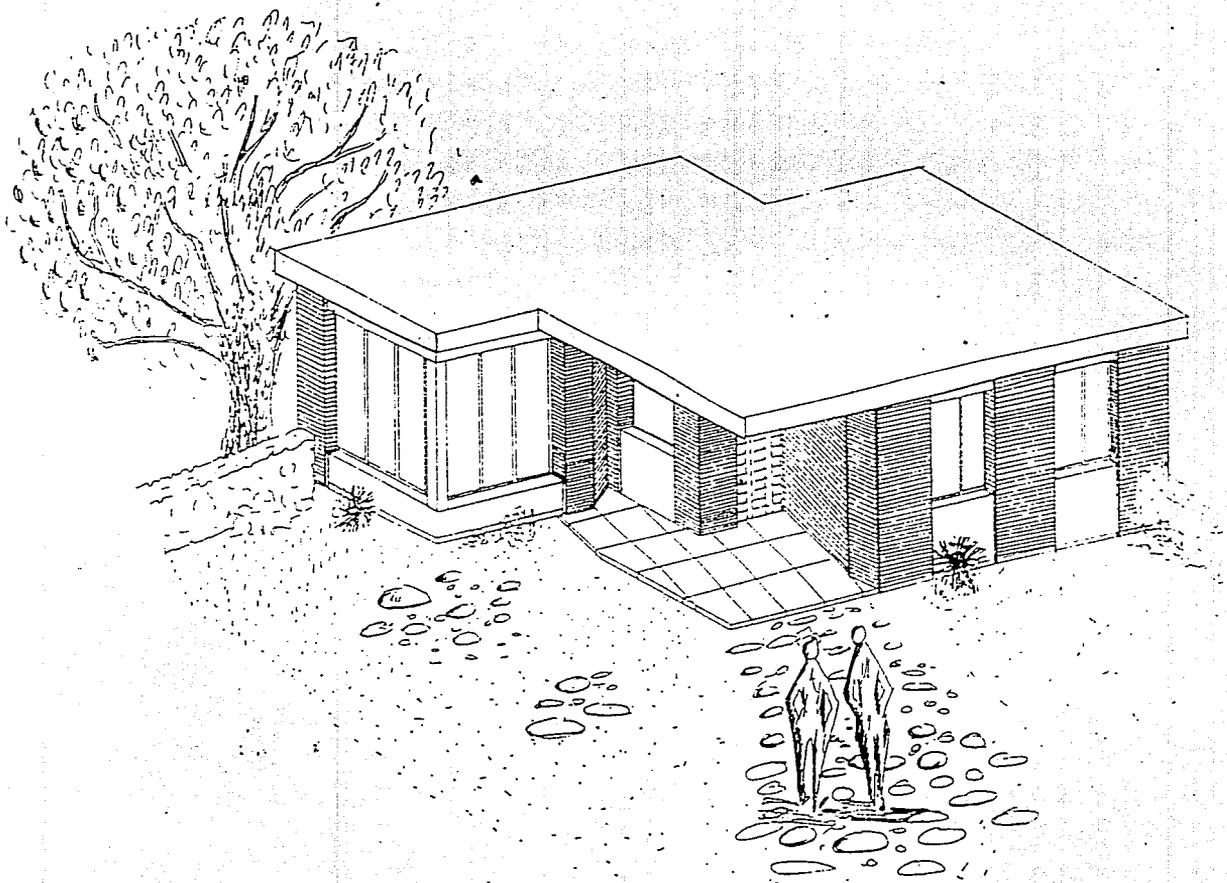
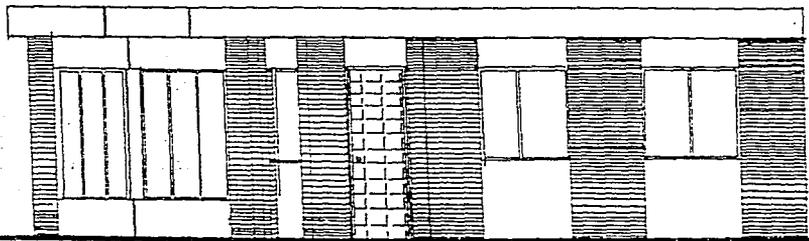
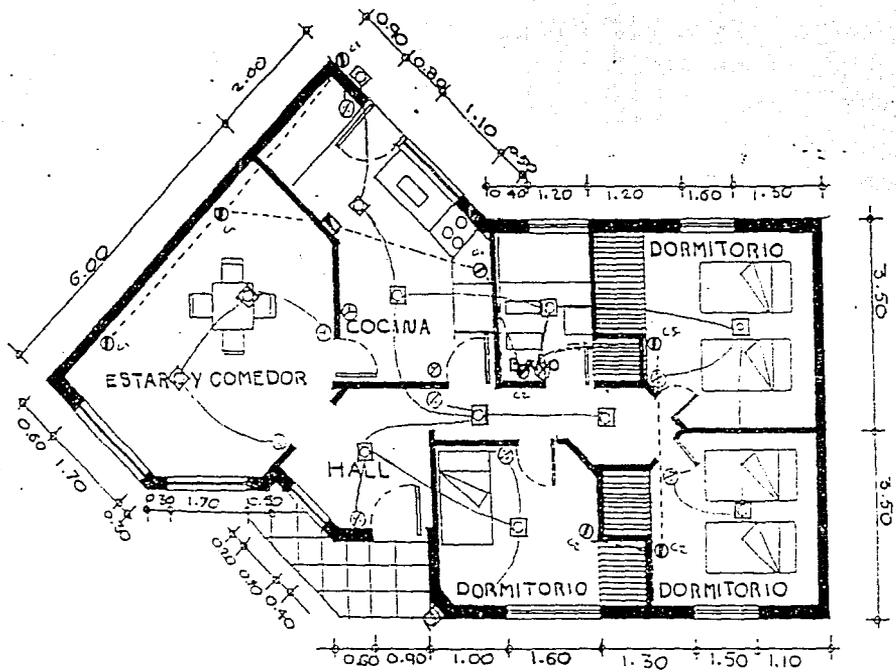


DIAGRAMA DE UNA INSTALACION FOTOVOLTAICA  
MOS'TRANDO UNA INTERCONEXION TYPICA

PERSPECTIVA DE LA CASA-HABITACION CONSIDERADA



PLANO ARQUITECTONICO DE PLANTA  
INSTALACION ELECTRICA



Esc 1:100  
Representación

**HOJAS DE DATOS TECNICOS DE LOS PRINCIPALES  
ELEMENTOS DE UNA INSTALACION FOTVOLTAICA**

**SOLAR POWER GENERATION MODULES**

# MSX HIGH-POWER MODULES

**TYPICAL APPLICATIONS:**

- Telecommunications
- Water pumping
- Residential
- Cathodic protection
- Utility
- Navigation



**STANDARD FEATURES**

- ▶ *Rugged, Durable Power Modules—Highest Power in the Industry.*
- ▶ *2 inch heavy extruded aluminum frame designed to withstand hurricane force loads*
- ▶ *Improved, Versatile NEMA-4 rated J-Box*
- ▶ *Ready to accept standard Solarex mounting hardware*

**OPTIONS**

- ▶ *Marine Environment J-Box*
- ▶ *Protective aluminum backplate*
- ▶ *Blocking or Bypass diodes*
- ▶ *Solarstate™ Voltage Regulator*
- ▶ *6-Volt Output*
- ▶ *Mounting Hardware Kits*

POWER SPECIFICATIONS	MSX-64	MSX-60	MSX-56	MSX-53	MSX-50	MSX-50cp
Typical Peak Power**	64w	60w	56w	53w	50w	50w
Guaranteed Min. Peak Power	62w	58w	54w	50w	47.5w	48w
Voltage@ Peak Power	17.5v	17.1v	16.8v	16.7v	15.0v	11.2 / 13.6v
Current @ Peak Power	3.66A	3.5A	3.35A	3.20A	3.33A	4.6A / 8.92A
Current @ Operating Voltage	3.94A	3.74A	3.52A	3.33A	3.50A	4.6A / 9.29A
Operating Voltage	15v	15v	15v	15v	13.5v	10v / 7.5v
PHYSICAL DESCRIPTION						
Length—in. (mm)	43.8 (1113)	43.8 (1113)	43.8 (1113)	43.8 (1113)	43.8 (1113)	43.8 (1113)
Width—in. (mm)	19.8 (502)	19.8 (502)	19.8 (502)	19.8 (502)	19.8 (502)	19.8 (502)
Depth—in. (mm)	1.97 (50)	1.97 (50)	1.97 (50)	1.97 (50)	1.97 (50)	1.97 (50)
Weight—lb. (kg)	15.9 (7.2)	15.9 (7.2)	15.9 (7.2)	15.9 (7.2)	15.9 (7.2)	15.9 (7.2)

\*\*Peak power is defined as the maximum amount of power available from the module under Standard Test Conditions (STC) which are:  
 - Illumination of 1kW/meter<sup>2</sup> (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5  
 - Cell Temperature of 25° C  
 See page 3 for detailed information.



## CONTROLADOR CTI-30LVD CTI-30TM



Los sistemas fotovoltaicos modernos requieren del uso de controladores de recarga para la alimentación de las baterías del sistema. Pensando en esta necesidad, se creó la serie de controladores de recarga solar CTI-30, los cuales optimizan su sistema fotovoltaico.

La función por la que fueron diseñados, es la de proteger su batería contra sobrecargas excesivas de voltaje proveniente de los módulos fotovoltaicos. Así mismo detectar la actividad solar, de tal manera que permita el flujo de energía en un solo sentido, de los módulos al acumulador, evitando el flujo inverso durante la noche, se elimina así el uso ineficiente del diodo de bloqueo.

Tomando en cuenta la eficiencia para el mejor aprovechamiento de la energía captada por los mismos sistemas fotovoltaicos, la serie CTI-30 cuenta con el más avanzado sistema de recarga, con un mínimo de consumo y realiza automáticamente las funciones de flotación e igualación en los acumuladores con el fin de prolongar la vida de éstos.

El uso de relevadores para controlar de una manera confiable el flujo de corriente hacia las baterías, las provee de una conexión directa con el mínimo de pérdidas resistivas asociadas al manejo de grandes cantidades de corriente. Encapsulado en un gabinete sellado herméticamente, permite operación en condiciones extremas de humedad, temperatura y polvo.

A continuación se describen las características, opciones y especificaciones de funcionamiento de la serie CTI-30 de controladores de recarga.

### OPCIONES:

La serie CTI-30 se puede pedir con distintas opciones de acuerdo a la aplicación deseada:

#### CTI-30LVD:

Este controlador es nuestro caballo de batalla, se aplica en la gran mayoría de los equipos fotovoltaicos medianos y pequeños. El equipo es capaz de controlar hasta 30 amps., tanto en 12 como en 24 volts y esto nos da la capacidad de un total de 18 módulos fotovoltaicos del modelo MSX-64 (de 64 watts). Además, como sus iniciales lo dicen tiene low voltage disconnect (desconexión en bajo voltaje) que nos permitirá tener una larga vida en nuestras baterías.

#### CTI-30TM:

Este controlador es idéntico en funciones y características al inmediato anterior descrito (CTI-30LVD), sin embargo, después de hacer las conexiones adecuadas notaremos que las cargas conectadas a este controlador no van a operar, y eso es debido a una función extra que llamamos TIMER (TM) y funciona de la siguiente manera: al oscurecer (a la caída de la noche), el mismo controlador encenderá las aplicaciones (cargas, lámparas, focos, etc.) por un tiempo previamente determinado por

el usuario, habiendo transcurrido este tiempo, las cargas se apagarán y así ocurrirá en los días siguientes. Este controlador es ideal para anuncios luminosos en carreteras, iluminación de seguridad para una entrada en una casa de campo, o en cualquier otra aplicación donde se requiera el encendido al oscurecer y en un lapso predeterminado.

#### CARACTERÍSTICAS EN RECARGA

Configurable automáticamente para 12 o 24 VDC.  
Capacidad de control hasta 30 amps.  
Protección contra polaridad invertida.  
Desconexión en alto voltaje.  
Desconexión nocturna y en los períodos sin sol.  
LED indicador de recarga de la batería.  
LED indicador de recarga de la batería.

#### CARACTERÍSTICAS A LA DESCARGA

Protege a la batería de descargas profundas.  
Extiende vida útil de batería.  
Protege a las cargas aplicadas.  
Reconexión automática de la carga cuando la batería alcanza un estado de carga adecuado.

#### FUSIBLES DE PROTECCION

Protección contra transitorios de la batería a la entrada del controlador.  
Protección contra sobrecargas del controlador a la carga.

#### ESPECIFICACIONES

Los parámetros de funcionamiento para la serie de controladores de recarga CTI-30 se enlistan a continuación, para cada una de las opciones.

#### CONTROLADOR BASICO

Corriente máxima de recarga:	30 amps.
Voltaje máximo de operación:	32 volts.
Voltaje mínimo de operación:	10.2 volts.
Rango de temperatura:	-10 a 60°C.
Punto de desconexión por alto voltaje:	14.2 volts.
Corriente máxima a la carga:	30 Amps.
Punto de desconexión por bajo voltaje:	11.5 volts
Punto de reconexión de carga:	13.25 volts.
Consumo de corriente en standby:	15 mA
Consumo de corriente en operación:	80 mA

#### CONTROLADOR -30TM

Punto de activado de carga:	1.0 volts.
Punto de desconexión de carga:	8 volts
Rango de ajuste de tiempo:	1hra - 10 hrs.

#### MODO DE PROGRAMACION DEL -30TM

Si se desea ajustar el tiempo de duración de la carga activa, se deberá ajustar el potenciómetro de control del reloj (Botón localizado en la parte posterior del controlador CTI-30TM). Esto se puede hacer cuando el LED del reloj está encendido, tomando

## ACUMULADORES MEXICANOS, S.A DE C.V.



## CONTROLADOR CTI-30LVD CTI-30TM



en cuenta el periodo (tiempo que dura el LED encendido o apagado) P en segundos.

En la parte trasera del controlador existe un pequeño potenciómetro que al ser girado CON CUIDADO notaremos que el valor de P cambiará y así se logrará el ajuste al gusto del usuario.

Para calcular el valor de P adecuado, determine el número de horas que desea tener la carga activa, lláme a éstas T, calcule:

$$T \times 3.5 = P$$

T=Número de horas deseadas de carga activa (en el reloj).  
P=Tiempo en segundos al que flachea el LED

Si usted ajusta el reloj durante el día, debe desconectar la terminal positiva (+) del panel solar, simulando de esta forma la puesta del sol.

**EJEMPLO:** Se desea tener una carga activada durante 5 horas (esto es T=5) desde el oscurecer, la operación queda de la siguiente manera:

$$T(5) \times 3.5 = P(17.5)$$

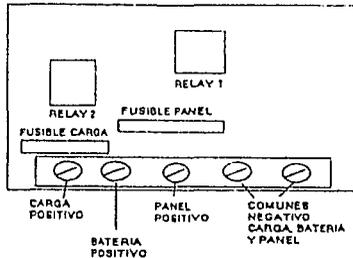
Entonces el potenciómetro del reloj se debe ajustar a que el flacheo del LED sea a intervalos de 17.5 segundos. Esto garantiza que la carga se activará al oscurecer y se desactivará después de cinco horas.

### PROCEDIMIENTO PARA INTERCONEXIONES

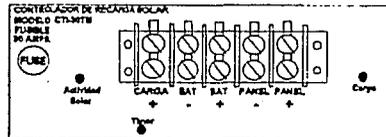
La conexión del controlador al resto del sistema deberá hacerse de acuerdo a la siguiente secuencia, que consta de tres pasos fundamentales para garantizar el óptimo funcionamiento del mismo.

- 1.- Identifique las terminales positiva y negativa de la batería en el block de terminales del controlador y conecte en éstas las líneas procedentes del banco de baterías.
- 2.- Identifique las terminales positiva y negativa del panel en el block de terminales del controlador y conecte en éstas las líneas procedentes del arreglo de módulos.
- 3.- Identifique la terminal positiva de la carga y tome la terminal negativa de la batería, para hacer las conexiones a la o las cargas aplicadas al sistema.

#### CONFIGURACION DEL CONTROLADOR CTI-30LVD



#### CONFIGURACION DEL CONTROLADOR CTI-30TM



#### SECUENCIA DE INTERCONEXIONES:

- PRIMERO: CONECTE EL BANCO DE BATERIAS A LAS TERMINALES DEL CONTROLADOR, ASEGURÁNDOSE DE LA POLARIDAD EN LAS TERMINALES.
- SEGUNDO: CONECTE EL ARREGLO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS, EN LAS TERMINALES DEL CONTROLADOR PREPARADAS PARA ESTE FIN.
- POR ULTIMO: CONECTE LAS LINEAS DE LA CARGA, UTILIZANDO LA TERMINAL POSITIVA PREPARADA PARA ESTE FIN Y LA TERMINAL NEGATIVA DE LA BATERIA, VERIFICANDO A COINCIDENCIA LA POLARIDAD DE LAS LINEAS.

## ACUMULADORES MEXICANOS, S.A DE C.V.



## L T H ENERGIA SOLAR

Series Mejoradas: UPG 400, 700, 1300



**E**nergía para la gente en el camino. Ahora podrá tener la energía eléctrica en C.A. que necesita de su batería. La serie UPG convierte 12 volts C.D. a 115 volts C.A.

Energía a su alcance. Aquí le mostramos algunos de los usos populares, adicionales que se están descubriendo cada día.

Es ideal para usarse en autos, camionetas, buses, casas de campo o donde quiera que necesite energía eléctrica en C.A.

Este inversor está disponible en capacidades de 400, 700 y 1300 watts y son fáciles de incrementar para más potencia.

Ahora usted puede tener en su Van un estudio móvil, con el UPG400; usar una secadora de pelo en su bote, con el UPG700; u operar un horno de microondas grande en su casa de campo, con el UPG1300.

Energía cuando usted la necesita. la serie UPG de inversores, operan con las baterías de un carro, camioneta, casa móvil, o bote y producen 115 volts C.A.. Los inversores trabajan con el motor encendido o apagado, utilizando la energía almacenada en el acumulador del vehículo.

Estos pueden montarse en cualquier parte, son pequeños y compactos y pesan menos de tres kilogramos. De hecho, el UPG hace el trabajo de un generador pero a una fracción del tamaño, peso y costo.

**UPG400**

- Televisores y Videocassetes
- Computadores.
- Teléfonos portátiles o Fax.
- Licuadoras y pequeños aparatos electrodomésticos
- Afeitadora eléctrica.
- Risadores de pelo.
- Herramientas eléctricas.

**UPG700**

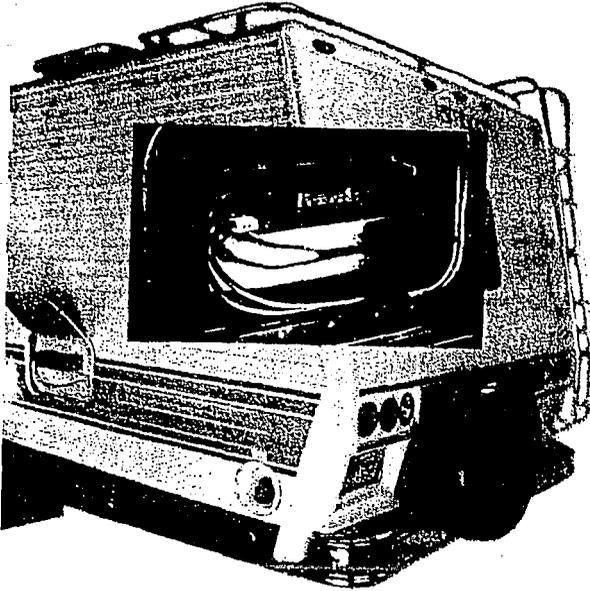
- Horno de Microondas de 600 watts.
- Aspiradoras.
- Secadoras de pelo.

**UPG1300**

- Horno de Microondas grande.
- Herramientas eléctricas.
- Cualquier aplicación de 1500 watts.

Todas estas unidades son capaces de arrancar motores de inducción y usted puede ver la variedad de usos, es interminable.

Para una mayor información en las series UPG u otros productos; por favor póngase en contacto con su distribuidor más cercano.



**PowerSurf**

**ACUMULADORES MEXICANOS, S.A DE C.V.**

# L T H ENERGIA SOLAR

Serie Mejoradas: UPG 400, 700, 1300

Cada uno de los UPG400, UPG700, y UPG1300 Invierte 12 volts C.D. a 115 volts C.A. Los tres modelos, cuyo uso en cada caso es promediado en términos de su capacidad de potencia continua real RMS. Le mostramos las características, son comunes para todos los casos.

## ESPECIFICACIONES

Voltaje de entrada: 10.5 a 16.5 volts C.D.

Voltaje de Salida: 115 Volts C.A. real RMS. +5%

Frecuencia de Salida: 60 Hz +-1 Hz, onda senoidal modificada.

Corriente en reposo: 80 millamperes en C.D. con la salida de 115 volts C.A. en "ON" máximo, como aplicaciones de arranque instantáneo.

Alarma en batería baja: Alarma audible por debajo de 10.9 volts en la entrada. Desconexión abajo de 10.5 volts. Reestablecido manual mediante ciclado del interruptor de energía, o automáticamente cuando la batería es recargada por sobre los 13 volts C.D..

Desconexión por sobre voltaje: 16.8 volts +-2% reestablecido automático.

Protección en sobre temperatura: Reducción proporcional de potencia.

Protección en sobre carga: Doble modo limitador, permite la operación en régimen alto de potencia del Inversor. Una moderada sobrecarga disminuye el voltaje de salida; una severa causa desconexión, se reestablece ciclando el interruptor de energía.

Control remoto: Un enchufe para conectores se encuentra empotrado para una interrupción remota usando un cable resistente, a la salida de C.A..

Indicador: Un pequeño LED energizado, color verde, muestra el estado actual de su salida en C.A..

Fusibles: Fusibles reemplazables en la entrada y salida.

Eficiencia: Más del 90% a régimen medio de potencia.

Dimensiones: 3.15" X 3.3" X 11" (12" incluyendo la Base para montar)

Peso: Menos de cinco libras, o de dos y medio Kilogramos.

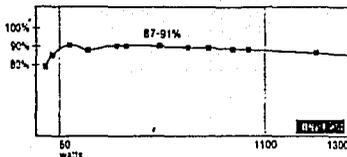
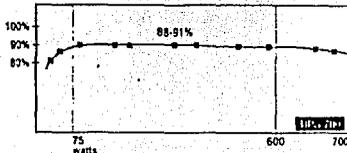
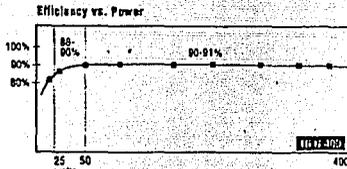
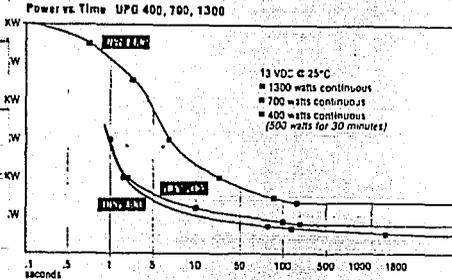
Garantía: Dos y medio años.

MODELO	UPG400	UPG700	UPG1300
Capacidad continua	400 watts	700 watts	1300 watts
Potencia de pico	3000 watts	3000 watts	6000 watts
Precio	600 USD	750 USD	1,200 USD

El UPG400 es apropiado para sistemas de computación, herramientas y pequeñas aplicaciones. Es excepcional la capacidad de sobre tensión; puede arrancar y operar motores de 1/4 de HP.

El UPG700 puede operar un horno de microondas de 500 watts, una aspiradora (mediana), o una pequeña cafetera. Es preferido para aplicaciones con herramientas eléctricas que requieren grandes cargas por largos periodos de tiempo.

El UPG1300 puede operar un horno de microondas de gran tamaño y cualquier aplicación que requiera 1500 watts; o para la transmisión de una sierra circular.



## CONCLUSIONES Y RESULTADOS

### CONCLUSIONES

En un esfuerzo por reforzar las razones para el uso de la energía solar fotovoltaica, se creó la idea de desarrollar el presente trabajo de tesis.

Las razones principales se resumen a continuación:

1.- CONSERVAR LAS FUENTES NATURALES IRREMPLAZABLES, TALES COMO CARBON O PETROLEO, PARA PROPOSITOS MAS UTILES QUE EL DE LA COMEUBSION. (SE DEBE RECORDAR QUE PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA ALMACENADA EN ESTOS COMBUSTIBLES. SE PROCEDE A SU COMBUSTION Y EL CALOR OBTENIDO SE EMPLEA PARA CALEFACCION, MOVER MOTORES, AUTOMOVILES, OBTENER ENERGIA ELECTRICA, ETC., CUANDO POR OTRA PARTE, ESTAS SUSTANCIAS PUEDEN SERVIR PARA OBTENER PRODUCTOS ALTAMENTE INTERESANTES).

2.- REDUCIR LA POLUCION ATMOSFERICA Y TERMICA QUE TAN SERIOS EFECTOS ESTA PRODUCIENDO AL MEDIO AMBIENTE.

3.- CONVERTIR ZONAS MAS O MENOS DESERTICAS EN AREAS ALTAMENTE PRODUCTIVAS. EN LAS QUE LA ENERGIA SOLAR SE CONVIERTA EN ENERGIA ELECTRICA.

4.- APRENDER A UTILIZAR LA FUENTE ENERGETICA MAS ABUNDANTE E INEXTINGUIBLE Y ASI COMENZAR A CREAR UNA EDUCACION SOLAR.

Por otro lado, en la República Mexicana, con una extensión de casi dos millones de kilómetros cuadrados y con una ubicación privilegiada dentro del globo terráqueo, casi el 40% del país, recibe más de 21 [MJ/m<sup>2</sup>] al día, esto es gozamos de una adecuada radiación solar para el diseño de instalaciones fotovoltaicas. Para el mayor aprovechamiento de esta radiación, es necesario

conocer con precisión el movimiento aparente del sol con respecto a la Tierra, y la cantidad de radiación recibida a lo largo del año, haciendo notar que es diferente en cada mes y en cada lugar, esto es, para calcular la orientación e inclinación óptima de los paneles solares. Debido a que la estimación de la radiación solar se base en datos estadísticos de radiación incidente en superficies planas y horizontales de un metro cuadrado, debemos lograr que la incidencia de la radiación solar se encuentre en dirección normal al panel el mayor tiempo posible y así obtener un mejor aprovechamiento.

Por lo anterior, nosotros proponemos la creación de una Educación Solar aunada a una Educación Ecológica y así, estar concientes de la gran utilidad y de la fuente de energía, inextinguible y limpia que es la Radiación Solar. Por causa de esta energía, hay vida en este planeta; los energéticos acumulados en ella, tuvieron su origen con el Sol y aún la energía del ser humano también proviene del Sol. Porque no aprovechar esta energía para la creación de energía eléctrica?.

El presente trabajo de tesis, lo dedicamos exclusivamente a la Energía Solar Fotovoltaica, por ser la más aceptada y difundida hoy día, además de ser la que reporta mayor posibilidad de desarrollo en la creación de Energía Eléctrica.

Por otra parte, el comparar económicamente una instalación fotovoltaica nos lleva a realizarla bajo ciertas consideraciones debido a que la principal referencia es que cuenta con una enorme infraestructura; de lo anterior concluimos que la factibilidad de un proyecto de este tipo estará basado en la distancia a la red eléctrica más cercana.

Desde el punto de vista ecológico, el contar con la posibilidad de una instalación fotovoltaica implica realizar un beneficio a cualquier ecosistema. Podemos pensar en algunas ventajas de tipo funcional, por ejemplo el no depender de una alimentación eléctrica sujeta a continuas fallas, además podemos contar con potencial eléctrico tan alto como sea necesario.

Este tipo de sistemas ofrecen una baja posibilidad en averías y un mínimo de mantenimiento, no hay que preocuparse por suministro de combustible y sobre todo ausencia total de contaminantes y ruidos molestos.

Las consideraciones mencionadas nos llevan a

realizar un análisis en el que se relaciona consumo -infraestructura de la red eléctrica- costos, mismos que se analizan con detalle en el Capítulo VI, siendo éste de elaboración propia.

En cuanto se refiere al cálculo de todos los elementos necesarios en una instalación fotovoltaica, concluimos que es un procedimiento muy sencillo. La literatura sobre el tema se va ampliando cada vez mas, por ejemplo, ya existen recopilaciones de datos de H (Radiación solar en un día en un metro cuadrado) y N (días de autonomía) para más de 2000 lugares (incluyendo México) en todo el mundo. Esto hace todavía más sencillo el cálculo de una instalación fotovoltaica, poniendo a la Energía Solar al alcance de cualquier ingeniero que quiera iniciarse en este asombroso mundo.

## RESULTADOS

Los resultados a que llegamos, partiendo de un diseño de un sistema fotovoltaico para una casa - habitación con un consumo de 1889 [W-h], el precio total de la instalación y de los posibles costos de reposición de los elementos fué de N\$37,957.95 (La cotización de precios se llevó a cabo en el mes de Abril de 1993).

La evaluación económica la realizamos mediante una comparación de costos, de alimentar una casa - habitación en una zona marginal del Estado de Morelos, en la que la distancia mínima a la red eléctrica de 10 Km. (presupuesto de C.F.E.), contra el costo que causaría la instalación de un sistema fotovoltaico para cubrir la necesidad eléctrica.

Las consideraciones bajo las cuales realizamos la evaluación económica son las siguientes:

- INVERSION INICIAL: Costo del sistema fotovoltaico incluyendo futuras reposiciones del equipo para n, número de casas.
- COSTO DE OPERACION: Mantenimiento. Consideramos el costo que causaría la operación del sistema para n, número de casas.
- INGRESO ANUAL: Lo consideramos como la cantidad que causaría el consumo de [KW-h] de las n, número de casas según la C.F.E.

Al evaluar estos flujos para diferentes valores de n. número de casas. en hoja electrónica, concluimos que:

Es obvio que conviene instalar el sistema de 1 a 13 casas, debido a que el gasto inmediato de la instalación fotovoltaica es menor que el proyecto de C.F.E.

Para 14, 15, 16 y 17 casas, si consideramos el excedente que causarían este número de casas respecto al proyecto C.F.E. como una inversión y consideramos como -- ingreso anual el costo de consumo de energía eléctrica en base a la tarifa de C.F.E., obtenemos una Tasa Interna de Recuperación (T.I.R.) del 8%, 4.7%, 2.8% y 0.8% respectivamente.

Notamos en estos resultados que el número máximo de casas en que conviene instalar el sistema fotovoltaico con estas características de consumo de energía es de 17. Al hacer la evaluación para 18 casas la T.I.R. se vuelve negativa. Interpretamos este resultado que de 18 casas en adelante decidimos por el proyecto C.F.E.

Para concluir: los resultados de la realización de este trabajo se muestran muy claros: se comprueba la viabilidad del proyecto, la electrificación de una casa - habitación ubicada en una zona marginal del Estado de Morelos, nos apoyamos en cálculos fáciles de comprender y estamos convencidos desde el punto de vista ecológico (y en un futuro también comercial), de que la Electricidad Fotovoltaica será la energía que predomine en un futuro próximo.

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

ENERGIA SOLAR: UTILIZACION Y APROVECHAMIENTO

JOSE ACOSTA RUBIO

EDIT. PARANINFO ESPAÑA 1983

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

SERIE MUNDO ELECTRONICO

VARIOS AUTORES COORDINADOS POR  
JOSE MOMPIN POBLET

EDIT. MARCOMBO - BAXAREU ESPAÑA 1985

ENERGIA SOLAR

JULIA GONZALEZ HURTADO

EDIT. ALHAMBRA S.A. ESPAÑA 1980

EL LIBRO DE LA ENERGIA SOLAR PASIVA

EDWARD MAZRIA

EDIT. GUSTAVO GILI, S.A. MEXICO 1983

USO DIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR

DANIELS

H. BLUME EDITORES ESPAÑA 1982

**RECONVERSION SOLAR**

DANIEL K. REIF

EDIT. GUSTAVO GILI. S.A. MEXICO 1983

**ENERGIA SOLAR FUNDAMENTOS Y APLICACIONES FOTOTERMICOS**

JOSE A. MANRIQUE

EDIT. HARLA MEXICO 1984

**MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES**

RICHARD A. FLINN Y PAUL R. TROJAN

EDIT. Mc GRAW HILL MEXICO 1979