



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

**"LA ENERGIA SOLAR COMO ALTERNATIVA DE
SOLUCION AL PROBLEMA ENERGETICO".**



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

Trabajo Monográfico

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a :

Jesús Fausto Soto García

México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE.

CAPITULO I.

I.- INTRODUCCION.	7
I.a.- OBJETIVO.	9
I.b.- CONCEPTOS SOBRE LA ENERGIA.	11
I.b.1.- DEFINICION DE ENERGIA	11
I.b.2.- LAS LEYES DE LA TERMODINAMICA	12
I.c.- PANORAMA ENERGETICO	13
I.c.1.- LA HISTORIA SON CAMBIOS ENERGETICOS	13
I.c.2.- FUENTES DE ENERGIA RENOVABLES Y NO RE NOVABLES.	14
I.c.3.- CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA.	16
I.c.4.- LA ENERGIA EN MEXICO.	17

CAPITULO II.

II.- GENERALIDADES.	21
II.a.- RADIACION.	21
II.b.- ORIGENES DE LA ENERGIA RADIANTE.	25
II.b.1.- RADIACION POR UN DIPOLO ELECTRICO OS CILANTE.	26
II.b.2.- RADIACION POR UN DIPOLO MAGNETICO OS CILANTE.	27
II.b.3.- RADIACION DE UNA CARGA ACELERADA	28
II.b.4.- ENERGIA ASOCIADA A UNA ONDA ELECTRO- MAGNETICA.	28

II.b.5.- POTENCIA EMISIVA	29
II.b.6.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA	31
POTENCIA EMISIVA: LEY DE STEFAN-BOLTZMAN	
II.c.- COMPORTAMIENTO DE LOS CUERPOS ANTE LA ENERGIA RADIANTE	33
II.c.1.- DIFUSION DE LA RADIACION POR UN ELECTRON	34
II.c.2.- EFECTO FOTOELECTRICO	37
II.d.- LA RADIACION SOLAR	40
II.d.1.- LA FISICA SOLAR Y LA TRANSFERENCIA DE ENERGIA	40
II.d.2.- LA CONSTANTE SOLAR	43
II.d.3.- DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA RADIACION EXTRATERRESTRE.	45
II.d.4.- MEDICION DE LA RADIACION SOLAR	48
II.d.5.- MAPAS DE RADIACION SOLAR	52

CAPITULO III.

III.- APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR.	75
III.a.- VISUALIZACION DE LOS METODOS DE CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR.	75
III.a.1.- CONVERSION TERMICA.	76
III.a.2.- CONVERSION FOTOVOLTAICA	77
III.a.3.- CONVERSION BIOLOGICA.	78
III.a.4.- PODER DEL AIRE.	78

III.a.5.- CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR POR. LOS OCEANOS	79
III.b.- CONVERSION TERMICA.	80
III.b.1.- APLICACION INDUSTRIAL DE UN ESTAN QUE SOLAR	81
III.b.2.- CENTRALES ELECTROSOLARES DE TORRE .	86
III.c.- CONVERSION FOTOVOLTAICA	93
III.c.1.- COMO TRABAJAN LAS CELDAS SOLARES. .	93
III.c.2.- DIFERENTES TIPOS DE CELDAS FOTOVOL. TAICAS Y SUS EFICIENCIAS.	99
III.c.2.1.- CELDAS FOTOVOLTAICAS DE SILI. CON	101
III.c.2.2.- CELDAS DE CAPAS DELGADAS DE . SULFURO DE COBRE/SULFURO DE . CADMIO.	102
III.c.2.3.- CELDAS DE ARSENURO DE GALIO . MONOCRISTALINO.	103
III.c.2.4.- CELDAS DE SILICON AMORFO. . .	104
III.c.2.5.- CELDAS SOLARES ELECTROQUIMI CAS	104
III.d.- CONVERSION BIOLOGICA.	105
III.d.1.- CICLOS ENERGETICOS EN EL MAR. . . .	110
III.d.2.- LA CANA DE AZUCAR COMO FUENTE DE . ENERGIA	116
III.d.2.1.- CICLO ENERGETICO EN LA FABRI. CACION DE AZUCAR.	118

III.e.- PODER DEL AIRE.	122
III.e.1.- GENERADORES ACCIONADOS POR AIRE . .	122
III.f.- CONVERSION DE ENERGIA TERMICA POR LOS . .	129
OCEANOS	
III.f.1.- LOS OCEANOS FUENTES TERMICAS. . . .	130
III.f.2.- SELECCION DEL FLUIDO DE TRABAJO . .	132

CAPITULO IV.

IV.- ASPECTOS SOCIO ECONOMICOS.	134
IV.a.- IMPORTANCIA DE LA ENERGIA EN DESARROLLO DE	134
LOS PUEBLOS.	
IV.b.- IMPORTANCIA DE LA PRESERVACION DEL ECO-SIS	134
TEMA	
IV.b.1.- CONTAMINACION DEL AGUA	135
IV.b.2.- CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA. . . .	137
IV.c.- TODOS SALDREMOS BENEFICIADOS CON EL USO DE	137
LA ENERGIA SOLAR	

CAPITULO V.

V.- CONCLUSIONES.	139
---------------------------	-----

CAPITULO VI.

VI.- BIBLIOGRAFIA.	141
----------------------------	-----

CAPITULO I

I.- INTRODUCCION

¿Existe realmente una crisis energética?, ¿no será producto de nuestra imaginación?. Si realizáramos estas preguntas a los expertos, encontraríamos tantas respuestas como personas -interrogásemos, inclinándose por la posición que tengan alrededor de las áreas que les conciernan.

Por generaciones nuestra cultura había estado disfrutando del beneficio de una fuente de energía barata y fácilmente --aprovechable; los energéticos fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Lo cierto es que las reservas de estos energéticos --son limitadas y se han transformado en plataformas políticas, en puntos de negociaciones diplomáticas, en comodidades de lucro para los ricos y en realidad indecisa para cada uno de nosotros.

I. T. Rosenquist dijo en la conferencia de Energía y Humanidades de 1972 qué:

Las evidencias geoquímicas sugieren que cada año, aproximadamente 28 millones de toneladas de carbón, se encaminan a la formación de nuevos sedimentos fósiles. El consumo actual de combustibles fósiles es aproximadamente 6 billones de toneladas de carbón por año. La velocidad de consumo es aproximadamente 200 veces la velocidad de deposición. Sobre ésta ba--

se, podemos decir que los energéticos fósiles son limitados y no renovables.

De lo anterior deducimos que tendremos que reconstruir --- nuestra cultura y nuestros estandares de vida sobre fuentes -- energéticas más disponibles. Una prudencia adecuada nos llevará poco a poco a explotar dichas fuentes alternativas de --- energía, capaces de satisfacer nuestras cada vez mayores necesidades.

Existe un gran número de ideas para controlar y aprovechar la energía solar, que es nuestra fuente predominante de energía y reguladora de casi todos los procesos naturales que se - llevan a cabo en nuestro planeta. Entre otros tantos fenómenos que se realizan gracias a esta fuente de energía podemos citar; la circulación general de la atmósfera, los procesos fisiológicos, las corrientes oceánicas etc.

I.a.- OBJETIVO

El objetivo de ésta investigación bibliográfica es el de -
mostrar un panorama de las diferentes posibilidades de aprove-
chamiento de la energía que nos llega del sol, para satisfacer
nuestras cada vez mayores demandas de energéticos.

El aprovechamiento de la energía solar es un área dentro -
del campo científico que durante mucho tiempo había estado re-
legada, no obstante que es el origen de las cosas que le han -
servido al hombre para el sustento, desde su aparición. Actual-
mente el aprovechamiento de la energía solar es un fructuoso -
campo de investigación que promete llevarnos muy pronto a re-
sultados positivos para el bienestar humano.

Las investigaciones sobre el uso de la energía solar, abar-
ca diferentes ciencias y ramas de la ingeniería: Física, Quími-
ca, Meteorología, Astronomía, Ingeniería Química, Ingeniería -
Mecánica, Ingeniería Eléctrica, etc., dando la facilidad de --
realizarse en pequeños laboratorios que no requieren de insta-
laciones costosas, ni de técnicas muy especializadas.

Es necesario que se desarrollen nuevas tecnologías que no-
estén basadas en la energía proveniente de fuentes no renova--
bles, con el fin de evitar crisis como la que sentimos en la -
actualidad al depender directamente de los combustibles fósii--
les. El sol como fuente inagotable de energía representa nues-

tra más importante alternativa.

La presente investigación se limita a mostrar diversas alternativas de aprovechamiento de la energía solar, sin entrar muy a fondo en los aspectos técnicos, pero puede servir de base para estudios posteriores.

I.b.- CONCEPTOS SOBRE LA ENERGIA

I.b.1.- DEFINICION DE ENERGIA

Se tiende a usar términos muy vagos cuando hablamos de la energía. La fuerza, el trabajo y la potencia tienen un significado técnico muy preciso relacionado con la energía, al contrario de su uso popular. Precisarlos nos ayudará a definir la energía.

La fuerza es la unidad fundamental y más relacionada con la energía, de la cual existen cuatro tipos: gravitatoria, --- electromagnética, (rayos X, luz visible, ondas infrarrojas de calor, ondas de radio, etc.), de interacción atómica débil, -- (responsable del decaimiento radiactivo), de interacción atómica fuerte, (es la que une los núcleos atómicos entre sí). La fuerza más familiar es la gravitatoria siendo definida por --- Newton como:

$$F=ma$$

Donde; a=Aceleración debida a la gravedad.

m=Masa del cuerpo afectado por dicha fuerza gravitatoria.

Los otros términos se definen de la siguiente manera:

TRABAJO=FUERZA X DISTANCIA (Joules).

POTENCIA= FUERZA X VELOCIDAD (Potencia mecánica y potencia eléctrica).

ENERGIA=POTENCIA X TIEMPO (Energía mecánica y energía eléctrica).

Si:

$$\text{VELOCIDAD} = \frac{\text{DISTANCIA}}{\text{TIEMPO}}$$

Resulta qué:

$$\text{ENERGIA} = \text{TRABAJO}$$

De lo anterior , podemos definir la energía como: la capacidad de realizar un trabajo.

I.b.2.- LAS LEYES DE LA TERMODINAMICA

No hay duda de que existen distintos tipos de energía, pero independientemente del tipo de que se trate, estará regida por las leyes de la termodinámica. Estas leyes son los principios fundamentales de nuestra existencia física y dicen lo siguiente:

Primera Ley.- La energía no puede ser creada ni destruida, solamente puede cambiar de una forma a otra.

Segunda Ley.- Toda energía en el universo es constante, pero se transforma irreversiblemente en energía calorífica.

Si establecemos que tanto el calor como el trabajo son métodos de transferir energía, y definimos al trabajo como la energía transmitida de un sistema a otro por medios mecánicos, mientras que el calor es la energía transmitida a causa de una diferencia de temperaturas, concluimos que solo la energía transferida como trabajo será útil, mientras que el calor será energía que se pierde irreversiblemente.

Nosotros no podemos "conservar" realmente la energía en un sentido estricto, lo que podemos hacer es disminuir paulatinamente la velocidad a la cual estamos desperdiciando calor ó entropía, (disminución energética).

I.c.- PANORAMA ENERGETICO

I.c.1.- LA HISTORIA SON CAMBIOS ENERGETICOS

De diferentes formas la historia humana se ha determinado por la manera en que las culturas han usado la energía. Anteriormente a la Revolución Industrial, las personas se valieron de la energía química de plantas y animales, además de las fuerzas naturales del aire y del agua para cubrir sus necesidades. Al inicio del siglo XVIII, se desarrollaron dispositivos-

capaces de convertir el vapor en potencia y más tarde, los --- combustibles fósiles en trabajo útil, ocasionando un aumento - fenomenal en el consumo de energía y un cambio social sin pre- cedentes en la historia humana. Cosas como: el cambio de la ma- dera por el carbón, el aceite de ballena por el petróleo, el - desarrollo de la máquina de vapor, la cual expandió los lími-- tes geográficos, el desarrollo de la máquina de combustión in- terna, ampliando nuestra movilidad; la electricidad que incre- mentó el aprovechamiento del trabajo y las comunicaciones, va- por de alta energía, turbinas de gas y agua para la generación de potencia, y finalmente la energía nuclear, han dado como re- sultado una era de rápido consumo energético.

I.c.2.- FUENTES DE ENERGIA RENOVABLES Y NO RENOVABLES

No obstante de que hay muchas fuentes de energía, se pue-- den distinguir básicamente dos tipos:

- 1.- Fuentes de energía renovables. (Las cuales se reponen- constantemente en la naturaleza).
- 2.- Fuentes de energía no renovables. (Estas son producto- de un acumulamiento con el tiempo, y cuando se consu-- men no se reponen fácilmente).

En la siguiente tabla se resumen ambos tipos:

TABLA I.1.-

FUENTES DE ENERGIA RENOVABLES

ENERGIA SOLAR DIRECTA: (calor y luz)

cosechas y ganadería

madera

desechos orgánicos

biocombustibles

potencia animal

ENERGIA SOLAR INDIRECTA:

agua

viento

oleaje

gradientes térmicos

mareas

ENERGIA GEOTERMICA: (flujo de calor)

FUENTES DE ENERGIA NO RENOVABLES

COMBUSTIBLES FOSILES:

gaseoso (gas natural)

líquido (petróleo, alquitrán, shak)

sólido (carbón)

ENERGIA NUCLEAR:

fisión (U-235, U-239, torio-232)

fusión (deuterio, litio-6)

ENERGIA GEOTERMICA: (depósitos de calor)

I.c.3.- CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA

Se puede considerar dos patrones para el consumo mundial - de energía:

- 1.- El 80% de la energía mundial viene de los combustibles fósiles, el 20% proviene de los desperdicios vegetales y animales, 1% viene del poder del agua (principalmente hidroeléctrica) y menores cantidades provenientes - de energía nuclear, solar, geotérmica, y viento (tabla I.2.-).
- 2.- El 75% de la energía mundial, la consumen los países - ricos, los cuales representan el 30% de la población - total (porcentajes aproximados).

CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA

FUENTE	CONTENIDO ENERGETICO (10 ¹⁵ KCAL)	% TOTAL
NO RENOVABLE		
Petróleo Crudo	22.7	34.8
Carbón y Lignito	17.1	26.2
Gas Natural	10.9	16.7
Uranio	0.55	0.84
RENOVABLES		
Planta de Comida y Alimen tación	6.2	9.5
Estiércol Seco	3.3	5.1
Madera Combustible	1.6	2.5
Basura Vegetal	1.6	2.5
Caidas de Agua	1.1	1.7
Pesca	0.06	0.09
Potencia Geotérmica	<u>0.04</u>	<u>0.06</u>
	65.2	100.00%

TABLA 1.2.-

I.c.4.- LA ENERGIA EN MEXICO

El programa de energía elaborado por la Ex-Secretaría de Pa--
trimonio y Fomento Industrial, planea metas concretas para 1990 -
con proyección al año 2000.

Los objetivos específicos son satisfacer las necesidades - nacionales de energía primaria y secundaria, racionalizar la - producción y el uso de energía y diversificar las fuentes de - energía primaria, prestando particular atención a los recursos renovables. Al mismo tiempo integrar el sector de la energía - al desarrollo del resto de la economía, conocer con mayor pre- cisión los recursos energéticos del país y fortalecer la infra estructura científica y tecnológica capaz de incrementar el po tencial de México en éste campo y aprovechar nuevas tecnolo- - gías.

PETROLEO Y GAS NATURAL.- Actualmente las reservas probadas de petróleo equivalente son de: 60,000 millones de barriles, - cifra que sitúa a México entre los cinco países más importan- tes en cuanto a reservas, (en la actualidad se cuantifican nue vamente).

Con base en propuestas del "Programa Nacional de Desarro- llo Industrial" para los años 80, la extracción de hidrocarbu- ros mantendrá un ritmo moderado. La producción deberá cubrir-- la demanda interna cualquiera que ésta sea y generar en exeden te exportable constante de 1.5 millones de barriles diarios de petróleo y 300 millones de pies cúbicos diarios de gas natural; tendremos que de acuerdo con las proyecciones del programa de energía, la extracción de petróleo crudo y líquidos del gas se ría de 2.5 millones de barriles diarios en 1981 y de 4.1 mi- - llones en 1990, en lo que respecta al petróleo; y de 4,300 mi-

llones y 6,900 millones de pies cúbicos de gas respectivamente, en los mismos años.

CARBON.- La producción de carbón ha estado íntimamente ligada al desarrollo industrial siderúrgico, utilizando fundamentalmente carbones coquizables. Sin embargo, actualmente se impulsa un programa para desarrollar la minería de los carbones no coquizables lo que permitirá un mejor y mayor uso de los recursos carboníferos para generar energía.

ENERGIA ELECTRICA.- En México, el sector eléctrico se ha caracterizado por su rápido crecimiento, por la considerable dimensión absoluta del sistema interconectado y por depender cada vez más del combustible derivado del petróleo.

En cuanto a la generación de energía eléctrica a partir del potencial geotérmico de nuestro país, se espera que aumente de 150 MW que actualmente tiene a 620 MW para 1990.

Con respecto a las plantas carboeléctricas, en donde existe hoy una capacidad de 1,200 MW, se considera que, con la construcción de dos plantas para 1990 se producirán 2,800 MW adicionales, con lo que este año todas ellas contribuirán con el 11% de la generación bruta de electricidad.

La capacidad nucleolétrica para 1990, será de 2,500 MW con la puesta en marcha de los reactores de Laguna Verde. El -

programa proponía iniciar en 1981 la selección de sitios y --- tecnologías para las unidades previstas para 1990, con objeto de que a finales de siglo se cuente con una capacidad nucleo-- eléctrica instalada de 20,000 MW, pero debido a la crisis ac-- tual, a habido reajustes de programas.

En el medio rural se garantizará el suministro confiable y económico de energía eléctrica, a fin de aumentar la produc--- ción agropecuaria, alentar el desarrollo de la pequeña indus-- tria y elevar el nivel de empleo. Dada la reducida magnitud de los consumos antieconómicos de extender las redes nacionales - de distribución en las comunidades aisladas, se propone el de-- sarrollo de tecnologías adecuadas para el medio rural, como -- puede ser la instalación de microcentrales eléctricas y el --- aprovechamiento de la energía solar.

Para no profundizar la dependencia respecto a los hidrocar-- buros y otras fuentes no renovables, se realizarán mayores es-- fuerzos en la generación hidroeléctrica y en otras que, como - la geotermia, se encuentran en estado incipiente.

CAPITULO II

II.- GENERALIDADES

Para cumplir en forma satisfactoria con nuestro objetivo es necesario revisar aspectos relacionados con el fenómeno de radiación, el comportamiento de los cuerpos frente a la radiación, la radiación solar, y la distribución de la radiación solar en nuestro país.

II.a.- RADIACION

La radiación es el proceso de transmisión de energía a través de ondas electromagnéticas, y que puede llevarse a cabo con ó sin la presencia de un medio físico.

Las ondas electromagnéticas son el resultado de la interacción de un campo eléctrico " \mathcal{E} " y un magnético " \mathcal{H} ". La disposición de los campos y la dirección de propagación de la onda son perpendiculares entre sí, fig. II.1. La velocidad de propagación en el vacío de dichas ondas es de 2.9979×10^{10} cm/seg., y se representa por "C".

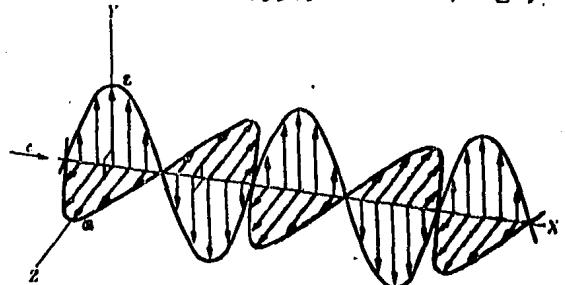


Fig. II.1.- Disposición del campo eléctrico, magnético y la dirección de propagación de una onda electromagnética.

Toda onda electromagnética se caracteriza por: 1.) su longitud de onda " λ ", la que denota la separación entre dos crestas; 2.) su frecuencia " ν ", que es el número de longitudes de onda que se propagan en la unidad de tiempo; frecuencia, longitud de onda y velocidad se relacionan de la siguiente forma:

$$\text{Ec. II.1} \quad c = \lambda \nu$$

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias ó de longitudes de onda y pueden clasificarse según su principal fuente. La clasificación habitual del espectro -- electromagnéticos es el siguiente:

- 1.) Ondas de Radiofrecuencia.-- Son las ondas de menor energía y se usan en los sistemas de radio y televisión, -- se generan por medio de dispositivos electrónicos, --- principalmente circuitos oscilantes.
- 2.) Espectro Infrarrojo.-- Estas ondas son producidas por -- cuerpos calientes y moléculas, y tienen muchas aplicaciones en la industria, la medicina, la astronomía, -- etc.
- 3.) Microondas.-- De mayor energía que las anteriores, se -- usan en el radar y otros sistemas de comunicación, así como también en el análisis de detalles muy finos en -- la estructura molecular; se generan por dispositivos --

electrónicos.

- 4.) Luz o Espectro Visible.-- Es una banda angosta formada por las longitudes de onda a las cuales son sensibles a la retina. La luz es producida por átomos y moléculas como resultado del ajuste interno del movimiento de sus componentes, por los electrones principalmente. No es necesario resaltar la importancia de la luz en nuestro mundo.
- 5.) Rayos Ultravioleta.-- Estas ondas son producidas por átomos y moléculas en descargas eléctricas. Su energía es del orden de magnitud de la energía involucrada en muchas reacciones químicas, lo que explica muchos de sus efectos químicos. El sol es la fuente poderosa de radiación ultravioleta, siendo este factor el principal responsable del bronceado de la piel. La radiación ultravioleta del sol también interactúa con los átomos presentes en la alta atmósfera, produciendo gran cantidad de iones, es por este motivo que se denomina "Ionosfera". Cuando algunos microbios absorben radiación ultravioleta, pueden ser destruidos como resultado de las reacciones químicas producidas por la ionización y la disociación de moléculas; por esta razón los rayos ultravioleta se usan en algunas aplicaciones médicas y también en procesos de esterilización.

6.) Rayos X.- Son producidos por los electrones atómicos - más fuertemente ligados. Una fuente de rayos X es el - Bremsstrahlung o radiación de frenado (dispositivos co^merciales). Los rayos X se usan para diagnósticos mé^dicos, porque su mayor absorción por parte de los huesos en comparación con otros tejidos, permite una fotogra^fía nítida. Producen serios daños en tejidos y organis^mos vivos, como resultado de los procesos quí^micos que inducen; es por ésta razón que los rayos X se usan en el tratamiento del cáncer, ya que parecen tener una -- tendencia a destruir los tejidos enfermos más fá^cilmente que los sanos, cualquier cantidad de radiación X -- también destruye tejidos sanos.

7.) Rayos Gamma.- Su contenido energético es del orden de- la involucrada en los procesos nucleares, por lo que - la absorción de rayos γ puede producir cambios nuclea^res. Estos rayos son producidos por muchas substancias radioactivas y estan presentes en grandes cantidades - en los reactores nucleares. La mayoría de las substan^cias no los absorben fá^cilmente, pero cuando son absor^bidos por organismos vivos producen efectos graves.

En la radiación cósmica hay ondas electromagnéticas de lon^gitud de onda aún más cortas.

En la fig. II.2.-, podemos ver las características del es^pectro electromagnético.

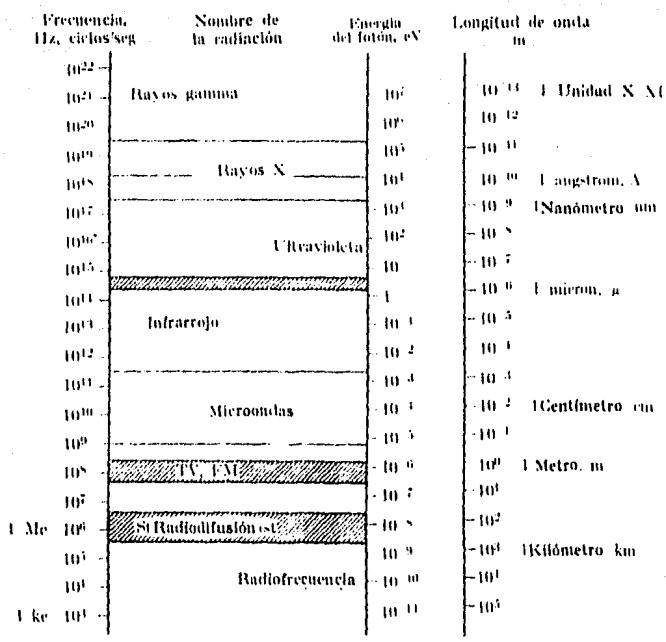


Fig. II.2.- Espectro Electromagnético.

II.b.- ORIGENES DE LA ENERGIA RADIANTE.

En la sección anterior vimos que son diversos los dispositivos que producen ondas electromagnéticas, no obstante el principio de operación de todos ellos, es el mismo; las cargas en movimiento. Dado un conjunto de cargas en movimiento se puede determinar el campo electromagnético que producen dichas cargas y por lo tanto las ondas electromagnéticas resultantes.

II.b.1.- RADIACION POR UN DIPOLO OSCILANTE

Definamos al dipolo eléctrico como el consistente en dos - cargas opuestas, $+q$, y $-q$, separadas por una distancia muy pequeña. Además definamos el momento dipolar eléctrico \bar{P} por :

$$\text{Ec. II.2} \quad \bar{P} = q \bar{a}$$

Donde; \bar{a} = Vector desplazamiento orientado de la carga negativa, a la positiva.

El caso de un dipolo eléctrico se dá, cuando el movimiento de las cargas pueden describirse colectivamente por medio de - un dipolo eléctrico cuyo momento varía con el tiempo según:

$$\text{Ec. II.3} \quad \bar{P} = \bar{p}_0 \text{ sen } \omega t$$

Donde; ω = Frecuencia angular

t = Tiempo

\bar{p}_0 = Dipolo eléctrico cuando $t=0$

Eso podría ser el caso de un electrón, ó el de una corriente oscilante de una antena de una radiodifusora. Cuando el momento dipolar eléctrico, es constante, el único campo producido es el eléctrico. En cambio, cuando el momento dipolar oscila, el campo eléctrico también oscila y por lo tanto depende - del tiempo. Esto significa que hay además un campo magnético,-

como lo describe la ley de Ampere-Maxwell. Esto se puede deducir también del hecho de que un dipolo eléctrico oscilante es equivalente a una corriente eléctrica oscilante y rectilínea, y una corriente eléctrica siempre produce un campo magnético a su alrededor.

II.b.2.- RADIACION POR UN DIPOLO MAGNETICO OSCILANTE

Si definimos el campo magnético como aquel que provoca un momento magnético igual a:

$$\text{Ec.II.4} \quad \bar{M} = i A \bar{U}_n$$

Sobre una pequeña espira de corriente.

Donde; i = Corriente inducida en la espira

A = Area de la espira

\bar{U}_n = Vector unitario en la espira

Si la corriente oscila de la siguiente manera;

$$\text{Ec.II.5} \quad i = i_0 \text{ sen } \omega t$$

El momento magnético será.

$$\text{Ec.II.6} \quad \bar{M} = \bar{M}_0 \text{ sen } \omega t$$

Donde; $\bar{M}_0 = i_0 A \bar{U}_n$

ω = Frecuencia angular

t = Tiempo

i_0 = Corriente en la espira cuando $t=0$

Un dipolo magnético estático produce solamente un campo -- magnético constante, pero cuando el dipolo magnético oscila, -- su campo magnético también oscila, o sea que depende del tiempo. Esto significa que también hay un campo eléctrico.

II.b.3.- RADIACION DE UNA CARGA ACELERADA

Además de estos dos casos tratando como fuente de energía radiante, existe un tercero y es el caso de las cargas aceleradas. La aceleración sobre la carga puede ser positiva o negativa.

Los resultados que aquí se indican solo nos dan una estimación aproximada de las magnitudes involucradas, para mayor exactitud se debe usar la mecánica cuántica.

II.b.4.- ENERGIA ASOCIADA A UNA ONDA ELECTROMAGNETICA

La densidad total de energía asociada a una onda electromagnética de longitud de onda λ es igual a la suma de las -- densidades de energía asociadas a los campos eléctrico y magnético respectivamente.

Ec. II.7

$$E_{\lambda} = E_{\epsilon} + E_{\mu}$$

Donde, E_{ϵ} = Densidad de la energía asociada al campo eléctrico.

E_e = Densidad de energía asociada al campo magnético.

Sabemos de antemano que la densidad de energía eléctrica de una onda electromagnética es igual a la densidad de energía magnética por lo tanto:

$$E_{II.8} \quad E_e = E_m = 1/2 \epsilon_0 \mathcal{E}^2$$

Donde, ϵ_0 = Permitividad eléctrica
 \mathcal{E} = Campo eléctrico

$$E_{c.II.9} \quad E_{\lambda i} = \epsilon_0 \mathcal{E}^2$$

Una onda electromagnética además de llevar la energía asociada a los campos eléctrico y magnético, lleva momento lineal y momento angular, por lo que una interacción electromagnética entre dos cargas eléctricas implica un intercambio de energía y de momento entre las mismas.

II.b.5.- POTENCIA EMISIVA

La cantidad total de energía radiante de todas las longitudes de onda emitida por un cuerpo por unidad de área y de tiempo es la potencia emisiva total "E" cal/(cm²) (min). Si la intensidad de la energía radiante a cualquier longitud de onda es I_{λ} cal/(cm²) (min) (micrón), la potencia emisiva total será-

el área bajo la curva que se representa en la fig. II.3., y se puede calcular por:

$$\text{Ec. II.10} \quad E = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda$$

Plank al reconocer la naturaleza cuántica de la energía radiante desarrolló una ecuación que se adapta a la curva de energía espectral (fig. II.3,) a cualquier temperatura; es la siguiente:

$$\text{Ec. II.11} \quad I_{\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda t} - 1} \quad \text{Ley de Plank}$$

Donde, I_{λ} = Intensidad de emisión monocromática,
cal/(min) (cm²) (micrón)

λ = Longitud de onda, micrones

c_1 = Constante con valor igual a 5.363×10^5 cal/(min) (cm²) (micrón⁻¹)

c_2 = 1.4385×10^4 micrón °K

t = Temperatura, °K

La ley de desplazamiento de Wiem, establece que el producto de la longitud de onda de máximo valor de la intensidad monocromática de emisión y la temperatura absoluta, es una constante ó:

$$\lambda t = 2889 \text{ micrones } ^{\circ}\text{K}$$

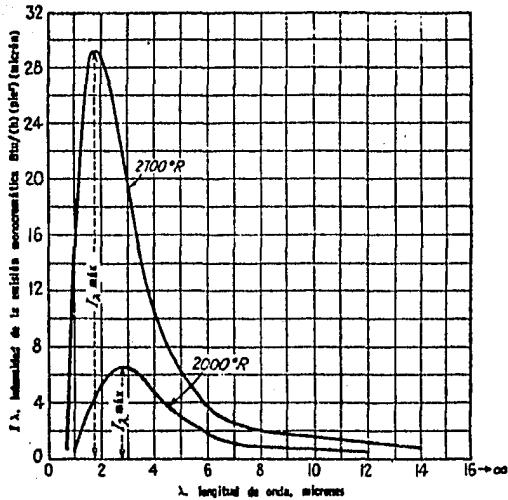


Fig. II.3.- Intensidad de radiación monocromática para un cuerpo caliente a diferentes temperaturas.

II.b.6.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA POTENCIA EMISIVA: LEY DE STEFAN-BOLTZMAN

Considerando que un cuerpo emita radiación de longitudes de onda de 0 hasta ∞ , se puede determinar la radiación total por la ley de Plank.

Ec. II.10

$$E = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda$$

De la ley de Plank:

$$I_{\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1}$$

Ec. II.12

$$E = \int_0^{\infty} \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} d\lambda$$

Después de todo un desarrollo matemático resulta que:

Ec. II.13

$$E = \sigma T^4$$

Esta ecuación se conoce como la ley de Stefan-Boltzman y - solo es válida para la emisión de radiación de un cuerpo negro perfecto y donde:

E = Flujo total de energía cal/cm² min

σ = Constante universal = 8.128×10^{-12} cal/cm²·K⁴ min

Para la emisión de radiación de un cuerpo negro no perfecto la expresión queda:

Ec. II.14

$$E = \epsilon \sigma T^4$$

Donde:

Ec.II.15

$$\epsilon = \text{Emisividad} = \frac{\text{Potencia emisiva de un cuerpo negro no perfecto}}{\text{Potencia emisiva de un cuerpo negro perfecto}}$$

II.c.- COMPORTAMIENTO DE LOS CUERPOS ANTE LA ENERGIA RA--- DIANTE

Consideremos un cuerpo sobre el cual incide un flujo de --
energía radiante igual a la unidad, los efectos que se tendrán
en el cuerpo receptor los podemos resumir en la siguiente ex--
presión:

Ec.II.16

$$a+r+\tau = 1$$

Donde la absorbancia "a" es la fracción absorbida, la re--
flexividad "r" es la fracción reflejada y transmisividad " τ "--
la fracción transmitida. La fracción de energía absorbida modi--
fica la estructura molecular ó atómica, llevándola a un estado
excitado. Un átomo o molécula excitado puede a su vez reemitir
en forma de radiación dipolar eléctrica el exceso de energía -
absorbida. La emisión solo puede ocurrir a la longitud de onda
donde la absorción ocurre. Si en un cuerpo la absorción varía--
con la longitud de onda así como la emisión, se dice que se --
tiene una emisión selectiva. Si la fracción absorbida es cons--
tante con la longitud de onda, pero menor a la unidad, la emi--
sión será continua, pero inferior al máximo posible. Un objeto
que reúna estas propiedades se le llama cuerpo gris. Finalmen--
te, si la absorción es completa (a=1) en todas longitudes de -
onda, la emisión será máxima posible. Un objeto que tenga ésta

propiedad de máxima emisión, absorbe toda la radiación que le llega y se le conoce como cuerpo negro. Al proceso de absorción y emisión de la energía radiante por un cuerpo, se le llama difusión.

II.c.1.- DIFUSION DE LA RADIACION POR UN ELECTRON

La difusión de una onda electromagnética por un electrón - puede imaginarse como un choque entre la onda y el electrón, - puesto que implica un intercambio de energía y de momentúm. Ya que para un cuerpo que se propage a una velocidad igual a "C" - su masa será cero $m=0$, como es el caso de las ondas electromagnéticas, podemos deducir que la relación entre la energía y el momentúm será:

$$\text{Ec. II.17} \quad E = C P$$

Donde: E= Energía asociada a la onda electromagnética.
P= Momentúm asociado a la onda electromagnética.
C= Velocidad de propagación de la onda electromagnética.

Si conocemos de antemano que $C = \lambda \nu$ podemos relacionar la frecuencia y la energía E escribiendo:

$$\text{Ec.II.18} \quad E = h \nu$$

Donde: h es una constante universal que describe la proporcionalidad entre la frecuencia de una onda electromagnética y la energía asociada con ella en el proceso de choque, su valor es:

$$h = 6.6256 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/seg.}$$

Y se denomina constante de Plank.

La radiación electromagnética hace las veces de una partícula de masa nula en reposo que se denomina "fotón".

La energía y el momento de un fotón, están relacionados con la frecuencia y la longitud de onda de la radiación electromagnética por:

Ec.II.19

$$E = h\nu; P = \frac{h}{\lambda}$$

Se puede interpretar la energía del fotón incidente $E = h\nu$ y su momento $P = h/\lambda$ como la energía y el momento absorbidos por el electrón de la onda electromagnética incidente. La energía $E' = h\nu'$ y el momento $P' = h/\lambda'$ del fotón difundido; son entonces la energía y el momento que vuelve a emitir el electrón como radiación difundida.

De lo anterior deducimos que el fotón es el "cuanto" de energía y momento electromagnético emitido o absorbido en un

proceso único por una partícula cargada.

Suponiendo que un átomo en el estado estacionario de energía "E" absorbe radiación electromagnética de frecuencia ν y pasa a otro estado estacionario de energía E' más alto. El átomo varía de energía E'-E; por otra parte la energía del fotón absorbido es $h\nu$. La conservación de energía requiere que ambas cantidades sean iguales; por lo tanto:

$$\text{Ec.II.20}$$

$$E' - E = h\nu$$

Expresión que se conoce como fórmula de Borh. La misma expresión es aplicable cuando un átomo emite un fotón y pasa de un estado estacionario de energía E' a uno de energía menor E. La fig. II.4 es un diagrama esquemático que muestra las posibles variaciones de energía en un sistema; corresponden a transiciones entre estados estacionarios ó niveles de energía.

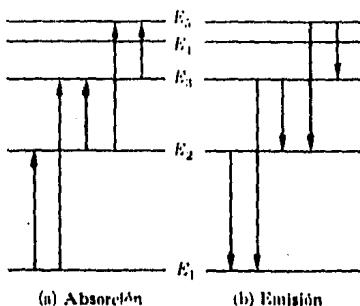


Fig.II.4.- Transiciones entre los estados de un

átomo , una molécula y un núcleo. El espaciamento de los niveles de energía y las transiciones posibles dependen de la naturaleza del sistema.

La ley de Kirchhoff establece que en el equilibrio térmico, la razón de la potencia emisiva total a la absorbencia para todos los cuerpos es la misma:

$$\text{Ec.II.21} \quad \frac{E}{a} = E_n$$

Donde: E_n = Emisividad del cuerpo negro.

II.c.2.- EFECTO FOTOELECTRICO

Se han efectuado investigaciones que demuestran que el concepto del fotón se aplica no solo en el proceso de difusión -- por un electrón sino a todos los procesos en los que las ondas electromagnéticas interactúan con la materia.

El efecto fotoeléctrico es un proceso por el cual los electrones de conducción en los metales y otras sustancias absorben energía del campo electromagnético y escapan a la sustancia.

Llamemos " ϕ " a la energía necesaria para que un electrón escape de un metal dado; si el electrón absorbe la energía E ,

la diferencia:

$$E - \phi$$

Aparecerá como la energía cinética del electrón y podemos escribir:

$$\text{Ec.II.22} \quad \frac{1}{2} m v^2 = E - \phi$$

Si E es menor que ϕ no habrá emisión de electrones. Si E es la energía absorbida de la radiación electromagnética con frecuencia ν por un electrón tendremos:

$$E = h\nu$$

Por lo que podemos escribir:

$$\text{Ec.II.23} \quad \frac{1}{2} m v^2 = h\nu - \phi$$

No todos los electrones necesitan la misma energía " ϕ " para escapar de un metal; por lo consiguiente llamemos energía de arranque del metal al valor mínimo ϕ_0 . La energía cinética máxima de los electrones es por lo tanto:

$$\text{Ec.II.24} \quad \frac{1}{2} m v^2_{\text{max}} = h\nu - \phi_0$$

El efecto fotoeléctrico es solo un ejemplo de las posibilidades de interacción de fotón con átomo ó molécula. En la fig. II.5., se resumen las posibles interacciones.

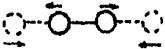
UNA MOLECULA DE LONGITUDES DE ONDAS MENORES QUE:		MAS UN FOTON	PUEDE
	1 cm		EXCITAR ROTACION 
	20 MICRAS		EXCITAR VIBRACION 
	1 MICRAS		FOTODISOCIARSE 
O UN ATOMO	1 MICRAS		EXCITAR LA ORBITA EXTERNA 
	1 000 Å		FOTOIONIZAR LA ORBITA EXTERNA 
	1 00 Å		FOTOIONIZAR LA ORBITA INTERNA 

Fig. II.5.- Posibles interacciones entre un fotón y una molecula o un átomo.

II.d.- RADIACION SOLAR

Definamos los siguientes términos:

Radiación Directa.- Radiación solar interceptada por una superficie sin cambios significativos en su dirección; posee una sola dirección.

Radiación Difusa.- Radiación solar dispersa por aerosoles, polvo y por el mecanismo de Rayleigh; no posee una sola dirección.

Radiación Total.- Es la suma de las radiaciones directa y difusa.

II.d.1.- LA FISICA SOLAR Y LA TRANSFERENCIA DE ENERGIA

Medidas espectrales han confirmado la presencia de casi todos los elementos en el sol. El 80% del sol es hidrógeno y un 19% es helio, el restante 1% comprende a todos los demás elementos. Es generalmente aceptable que una reacción termonuclear, convierte el hidrógeno a helio, (ciclo de Bethe, fisión y fusión). Dado que cuatro núcleos de hidrógeno tienen una masa más grande en 1%, que la masa de los núcleos de helio resultantes, la masa que queda en exceso se convierte en energía de

acuerdo con la ecuación de Einstein:

Ec.II,25

$$E = m c^2$$

No obstante, tal reacción no se ha podido reproducir en un laboratorio, no se conoce con precisión el mecanismo de reacción, que papel juegan los flujos turbulentos del sol, y como se crean las prominencias ni las manchas solares. En la fig. - II.6, se muestra un bosquejo de la estructura solar. El sol es una esfera de diámetro igual a 13.9×10^5 km., que comprende muchas capas de gases, las cuales son progresivamente más calientes hacia el centro. La temperatura que posee la capa externa de la cual radia la energía sobre el sistema solar es equivalente a la que tuviera un cuerpo negro a $5,760^\circ\text{K}$, no obstante el centro del sol es posible que posea $20 \times 10^6^\circ\text{K}$. La cantidad de energía que se emite del sol es de: 3.8×10^{23} Kw, la cual resulta de la conversión de 4.3×10^3 Kg/seg. de masa-energía.

La energía radiada de la superficie exterior del sol (llamada fotosfera), viaja en esferas concéntricas de diámetro creciente. La intensidad de radiación sobre una unidad de área, - tales como pie cuadrado, un metro cuadrado, o un centímetro cuadrado, varía inversamente al cuadrado de la distancia al sol.

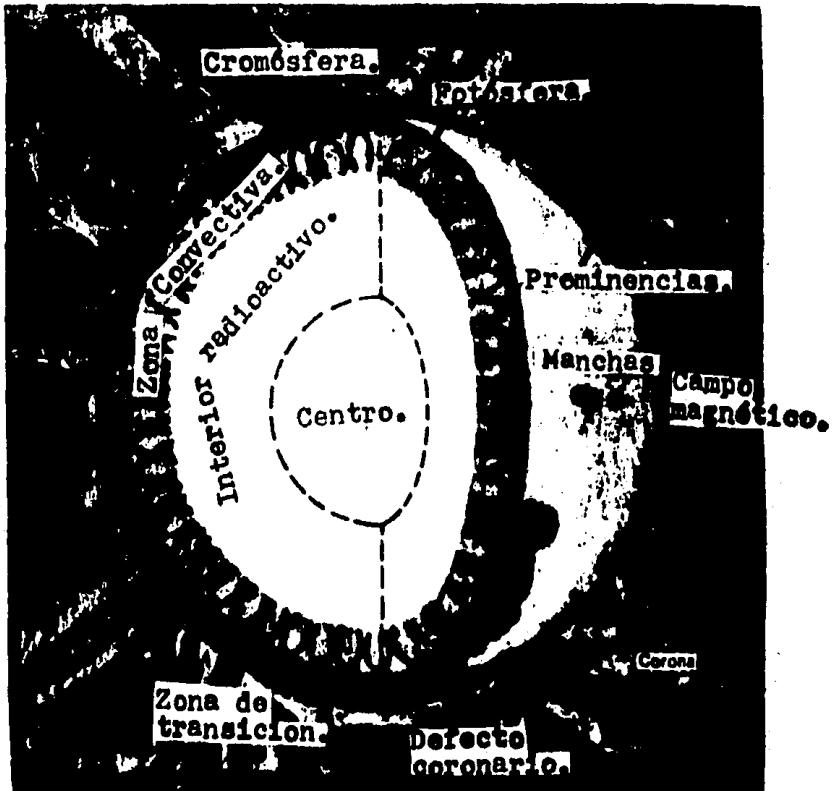


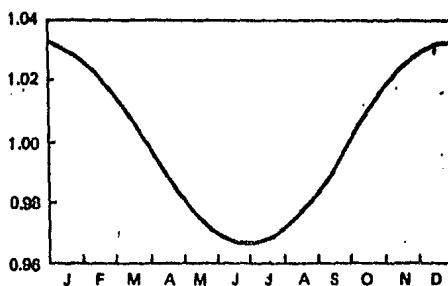
Fig.II.6.- Sección Transversal del sol que muestra la fracción exterior observable,- con una supuesta estructura interior.

La energía solar es la fuente más importante de energía -- mundial. La cantidad de energía solar interceptada por la tierra es 5,000 veces mayor que la suma de todas las otras fuentes, (nuclear, terrestre, geotérmica, energías gravitacionales, etc.,). De ésta cantidad el 30% se refleja al espacio, el 47% se convierte en calor de bajas temperaturas y se reirradia al espacio, y un 23% produce el ciclo evaporación-precipitación de la biósfera; menos del 0.5% se manifiesta en energía cinética del viento y las olas, y en almacenamiento fotocintético de las plantas.

II.d.2.- LA CONSTANTE SOLAR.

La intensidad de radiación solar en la superficie exterior de la atmósfera terrestre, con una distancia promedio del sol a la tierra, medida en una superficie perpendicular a los rayos solares, se le llama constante solar I_{cs} , su valor es ---- 1.353 Kw/m^2 , 429 BTU/hr.ft^2 , ó $1.94 \text{ cal/cm}^2 \text{ min.}$ (+ 1.65%). - No obstante, como la órbita terrestre es elíptica, la distancia entre el sol y la tierra varía en un 1.7% durante el año, por lo que la radiación extraterrestre también varía ligeramente. En la tabla II.1.b., y en la fig. II.7, se muestra ésta variación anual.

Irradiación extra
terrestre.
Constante solar.



Meses.

Fig.II.7.- Efecto en un año sobre la radiación extraterrestre con respecto a la constante solar.

TABLA II.1 VARIACION ANUAL DE LA RADIACION SOLAR POR LA
EXCENRICIDAD ORBITAL

DATO	RADIO VECTOR	RELACION DE FLUJO CON LA CONSTANTE SOLAR	RADIACION SOLAR Kw/m ²
Ene. 1	0.9832	1.034	1.399
Feb. 1	0.9853	1.030	1.394
Mar. 1	0.9908	1.019	1.379
Abr. 1	0.9993	1.001	1.354
May. 1	1.0076	0.985	1.333
Jun. 1	1.0141	0.972	1.312
Jul. 1	1.0167	0.967	1.308
Ags. 1	1.0149	0.971	1.312
Sep. 1	1.0092	0.982	1.329
Oct. 1	1.0011	0.998	1.350
Nov. 1	0.9925	1.015	1.373
Dic. 1	0.9860	1.029	1.392

Nota: La relación de distancia tierra-sol, significa distancia sol-tierra. La distancia promedio del sol a la tierra es de 57,761,759 Km., y se conoce como la unidad de distancia astronómica, (U.A).

II.d.3.- DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA RADIACION EXTRATE---
RRESTRE.

La constante solar representa la energía total del espectro solar. Esta cantidad total no es útil para la mayoría de los cálculos de ingeniería, por lo que es necesario examinar la distribución de dicha energía dentro del espectro. La fig. II.8, muestra el espectro de radiación a la distancia media del sol a la tierra para una constante de $1,353 \text{ W/m}^2$ como una función de la longitud de onda de acuerdo a los datos del espectro estándar publicados por la "NASA" en 1971. Los mismos datos se muestran en la tabla II.2.

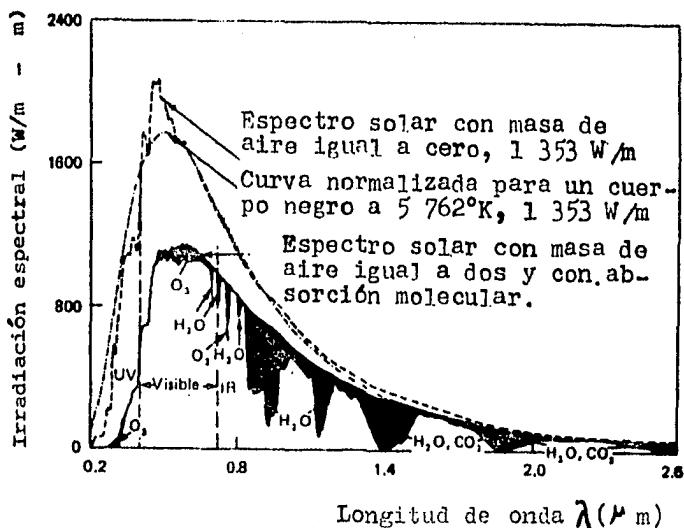


Fig. II.8.- Distribución espectral de la radiación solar extraterrestre, se muestra

TABLA II.2.- IRRADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE

λ (μm)	E_{λ} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$)	E_{λ} ($\text{Btu}/\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \mu\text{m}$)	D_{λ} (%)	λ (μm)	E_{λ} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$)	E_{λ} ($\text{Btu}/\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \mu\text{m}$)	D_{λ} (%)	λ (μm)	E_{λ} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$)	E_{λ} ($\text{Btu}/\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \mu\text{m}$)	D_{λ} (%)
0.115	0.007	0.002	1×10^{-4}	0.43	1639	520	12.47	0.90	891	283	63.37
0.14	0.03	0.010	5×10^{-4}	0.44	1810	574	13.73	1.00	748	237	69.49
0.16	0.23	0.073	6×10^{-4}	0.45	2006	636	15.14	1.2	485	154	78.40
0.18	1.25	0.397	1.6×10^{-3}	0.46	2066	655	16.65	1.4	337	107	84.33
0.20	10.7	3.39	8.1×10^{-3}	0.47	2033	645	18.17	1.6	245	77.7	88.61
0.22	57.5	18.2	0.05	0.48	2074	658	19.68	1.8	159	50.4	91.59
0.23	66.7	21.2	0.10	0.49	1950	619	21.15	2.0	103	32.7	93.49
0.24	63.0	20.0	0.14	0.50	1942	616	22.60	2.2	79	25.1	94.83
0.25	70.9	22.5	0.19	0.51	1882	597	24.01	2.4	62	19.7	95.86
0.26	130	41.2	0.27	0.52	1833	581	25.38	2.6	48	15.2	96.67
0.27	232	73.6	0.41	0.53	1842	584	26.74	2.8	39	12.4	97.31
0.28	222	70.4	0.56	0.54	1783	566	28.03	3.0	31	9.83	97.83
0.29	482	153	0.81	0.55	1725	547	29.38	3.2	22.6	7.17	98.22
0.30	514	163	1.21	0.56	1695	538	30.65	3.4	16.6	5.27	98.50
0.31	689	219	1.66	0.57	1712	543	31.91	3.6	13.5	4.28	98.72
0.32	830	263	2.22	0.58	1715	544	33.18	3.8	11.1	3.52	98.91
0.33	1059	336	2.93	0.59	1700	539	34.44	4.0	9.5	3.01	99.06
0.34	1074	341	3.72	0.60	1666	528	35.68	4.5	5.9	1.87	99.34
0.35	1093	347	4.52	0.62	1602	508	38.10	5.0	3.8	1.21	99.51
0.36	1068	339	5.32	0.64	1544	490	40.42	6.0	1.8	0.57	99.72
0.37	1181	375	6.15	0.66	1486	471	42.66	7.0	1.0	0.32	99.82
0.38	1120	355	7.00	0.68	1427	453	44.81	8.0	0.59	0.19	99.88
0.39	1098	348	7.82	0.70	1369	434	46.88	10.0	0.24	0.076	99.94
0.40	1429	453	8.73	0.72	1314	417	48.86	15.0	0.0048	0.015	99.98
0.41	1751	555	9.92	0.75	1235	392	51.69	20.0	0.0015	0.005	99.99
0.42	1747	554	11.22	0.80	1109	352	56.02	50.0	0.0004	0.0001	100.00

(47)

E_{λ} = Promedio de irradiación solar sobre una pequeña amplitud de banda centrado en λ .

D_{λ} = Porcentaje de la constante solar asociada con longitudes de onda menores que λ .

tra una equivalencia de un cuerpo negro y el espectro atenuado por la atmósfera.

Los rayos X y la luz ultravioleta de longitud de onda menor de $2,000 \text{ \AA}$ son absorbidos por el oxígeno y el nitrógeno, y la mayor parte de la radiación de $2000-5000 \text{ \AA}$ es absorbido por el ozono de la atmósfera exterior. Existen anchas bandas de absorción en el rojo y el infrarrojo por el paso de la luz a través del bióxido de carbono que existe en la atmósfera en cantidad bastante constante (0.03%) y a través de las moléculas de ozono y agua que varían mucho en concentración. El agua absorbe mediante el vapor y las gotitas de agua condensada, que no solamente absorben los rayos de mayor longitud de onda si no que dispersan una pequeña parte de la radiación solar de onda corta.

11.d.4.- MEDICION DE LA RADIACION SOLAR.

Con objeto de predecir el funcionamiento de cualquier sistema de conversión solar, se puede determinar, los componentes directos y difusos de la radiación solar tanto en una base de tiempo (horario, diaria, mensual), como sobre una base geográfica.

Los instrumentos solares de medida y registro son varios - los tipos, algunos dan medidas instantáneas y otros dan medidas de integración por períodos de una hora ó de un día. Algunos miden la radiación total y otros solo la directa. Se hacen

medidas en planos horizontales, verticales, normales ó inclinados. Los principios involucrados en los distintos tipos de instrumentos, incluyen la media termoeléctrica del incremento de temperatura en una superficie negrecida, midiendo el calor mediante un par termoeléctrico graduado, medidas calorimétricas directas, evaporación de un volumen dado de líquido, medidas fotovoltáicas, medidas fotoquímicas y actinómetros fotoquímicos. Existe un amplio campo todavía para el desarrollo de instrumentos nuevos y más convincentes.

Un instrumento importante es el piranómetro, el cual consiste en un par termoeléctrico de cobre-constantán situado sobre una superficie receptora horizontal negrecida de 3 cm., de diámetro, calentada por el sol. El extremo frío se conecta a un anillo exterior blanco o plateado que refleja la radiación solar y permanece a la temperatura ambiente, el receptor se encuentra encerrado herméticamente dentro de un hemisferio de vidrio. Es útil para medir la radiación total, pero puede ser modificado con facilidad para medir únicamente la radiación directa sobre la superficie sensible. En la fig. II.9, se muestra un piranómetro típico.

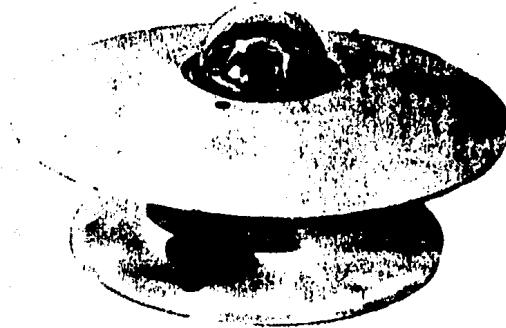


Fig. II.9.- Piranómetro de precisión manufacturado por los Laboratorios EPPLEY.

Un segundo instrumento para medir la radiación solar es el piroheliómetro, el cual solo determina la radiación directa. - La radiación difusa se bloquea en este instrumento montando el sensor solar en la base del tubo que durante el día se dirige hacia el sol. El receptor es una pila termoeléctrica montada en un tubo negrecido con una ventanilla; la razón del ancho al largo es de 1:10, de manera que el campo visible es aproximadamente de $5^{\circ}43'$. Se ajusta hasta que un pequeño orificio practicado en el anillo frontal produce una imagen del sol en un punto marcado en el anillo posterior. En la fig. II.10, se mues-

tra un piroheliómetro típico.

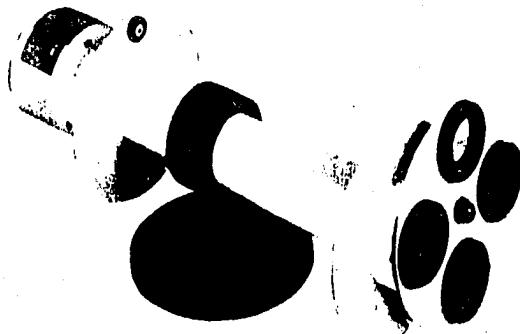


Fig. II.10.- Montaje típico de un piroheliómetro manufacturado por los Laboratorios EPPLEY.

El medidor bimetalico Robitesch funciona por la desigual dilatación térmica de los lados de un brazo que mueve una punta marcadora. No requiere conecciones eléctricas. El instrumento de dilatación Bellant se usa en algunas estaciones meteorológicas para medir la radiación solar, en un período de varias horas o en un día completo. Un recipiente cerrado contiene alcohol puro que se vaporiza con la radiación solar y se condensa en forma de líquido y el volumen de líquido condensado se mide fácilmente en un tubo graduado. Ampliamente usada es la lente esférica Cambell-Stokes para registrar automáticamente las ho-

ras del sol en una cinta de papel. La esfera actúa como una -- lente a lo largo del día independientemente de la posición del sol y quema el papel cuando el sol brilla.

Las celdas fotoeléctricas utilizadas en los fotómetros de fotografía son cómodas y dan lecturas precisas, pero responden únicamente a la luz visible y no al infrarrojo que es más de -- la mitad del total. Pueden servir en muchos casos si están -- bien calibrados. Las celdas solares de silicio conectadas a un galvanómetro o un miliamperímetro, funcionan bien y son bara-- tas. Las celdas de silicio responden hasta 1.1μ con una inten-- sidad máxima de 0.9μ . La radiación solar se extiende hasta -- 1.9μ con una intensidad máxima entre 0.5 y 0.7μ . Con un cali-- brador apropiado da medidas concordantes con el pirómetro ---- Eppley.

II.d.5.- MAPAS DE RADIACION SOLAR

Un método convencional de visualizar los recursos solares-- de que se disponen en una superficie determinada, es trazar so bre un mapa geográfico líneas que indiquen flujos iguales de -- radiación solar.

Es común, al elaborar mapas climatológicos de radiación to tal, emplear mediciones de ésta, en la forma directa más la di fusa, medida en unidades de energía por unidad de tiempo, por -- unidad de área sobre un plano horizontal mediante un piranóme--

tro aun cuando existen otros tipos de mediciones meteorológicas que se relacionan con la energía solar siendo los datos de radiación la mejor fuente de información; sin embargo, en ausencia de esto es factible emplear relaciones empíricas para estimar la radiación global a partir de las horas de insolación, porcentaje de posible insolación o de nubosidad. Otra alternativa sería la estimación para un lugar particular mediante el empleo de datos existentes de otras localidades con latitudes, topografía y climas semejante al deseado.

A continuación se muestra el método empírico de Jeevananda para obtener la radiación global con desviaciones menores al 10%. En este método además de los datos de insolación, se emplean parámetros tales, como latitud del lugar, tamaño promedio del día durante el mes, número de días lluviosos en el mes y humedad promedio por día; ya que todos estos datos son posibles de obtener para diferentes partes de nuestra República -- (38 localidades), de 30 años para 14 localidades y para 11 localidades promedios que abarcan más de 25 años, 3 con promedios superiores a los 15 años, 2 con 10 o más años y las 4 restantes con unos 7 años, por lo que se cree que el mapeo está dentro del 10% de precisión.

La fórmula deducida por Jeevananda para estimar la radiación global total en L_y /día con datos medios mensuales, está dada por:

Ec. II.26

$$Q = K \frac{(1 + 0.8\phi)(1 - 0.2t)}{\sqrt{h}} \text{ Ly/día}$$

Donde:

Ec. II.27

$$K = (\ell_N + \psi_j \theta) 10^2 \text{ Ly/día}$$

θ = Latitud del lugar, en grados

N = Longitud promedio del día durante el mes

Ec. II.28

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \theta \tan \delta)$$

δ = Es la declinación (posición angular del sol al medio día solar con respecto al plano del Ecuador; en grados

E. II.29

$$\ell = \frac{0.2}{(1 + 0.1\theta)} = \text{Factor latitud}$$

ψ_j = Factor de estación que depende del mes y localidad (costa o tierra dentro) ($i=1,2,\dots,12$; 1-enero, 2 febrero 12 de diciembre).

Ec. II.30

$$\phi = n/N$$

n = Horas promedio de insolación durante el mes

Ec. II.31

$$t = r/m$$

r = Número de días lluviosos durante el mes

m = Número de días en el mes

h = Humedad media por día en el mes

Utilizando éste método se obtuvieron los mapas de la República Mexicana que se muestran en las figs. II.11 a la II.23.

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

(57)

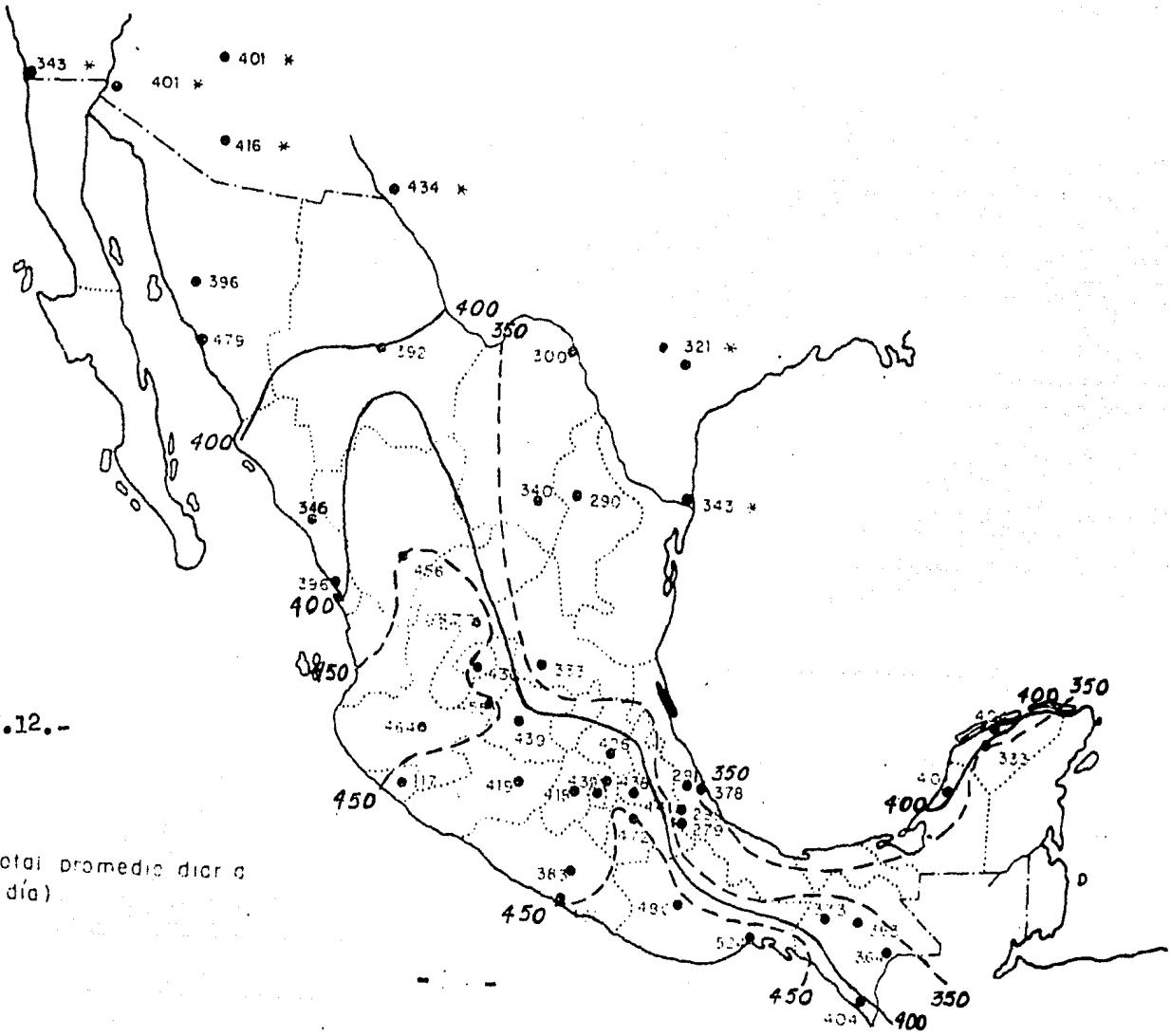


FIGURA II.12.-

FEBRERO

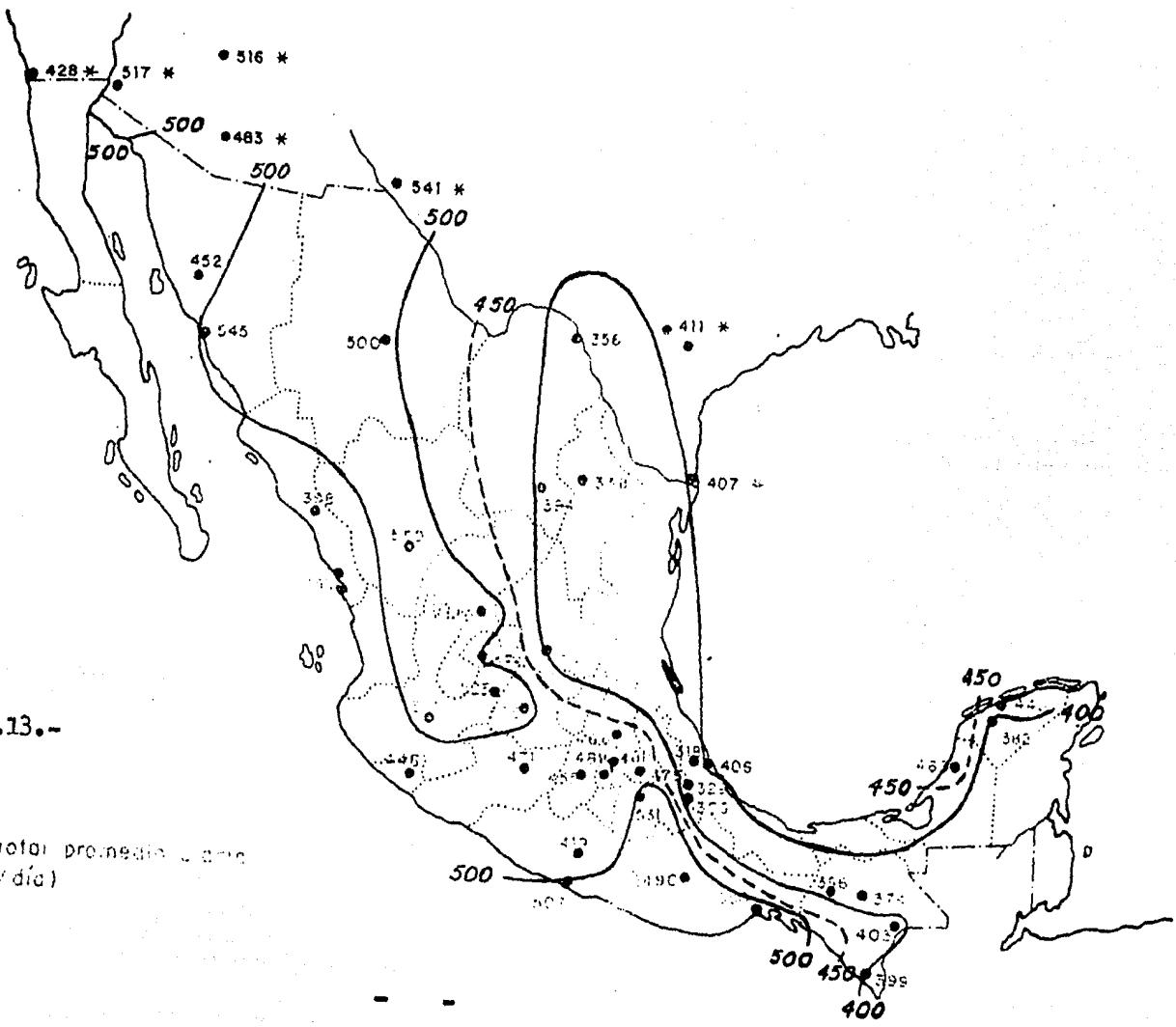
Radiación total promedio diaria
Langreys / día)

(58)

FIGURA II.13.-

MARZO

Radiación total promedio diaria
(Langley's / día)



(59)

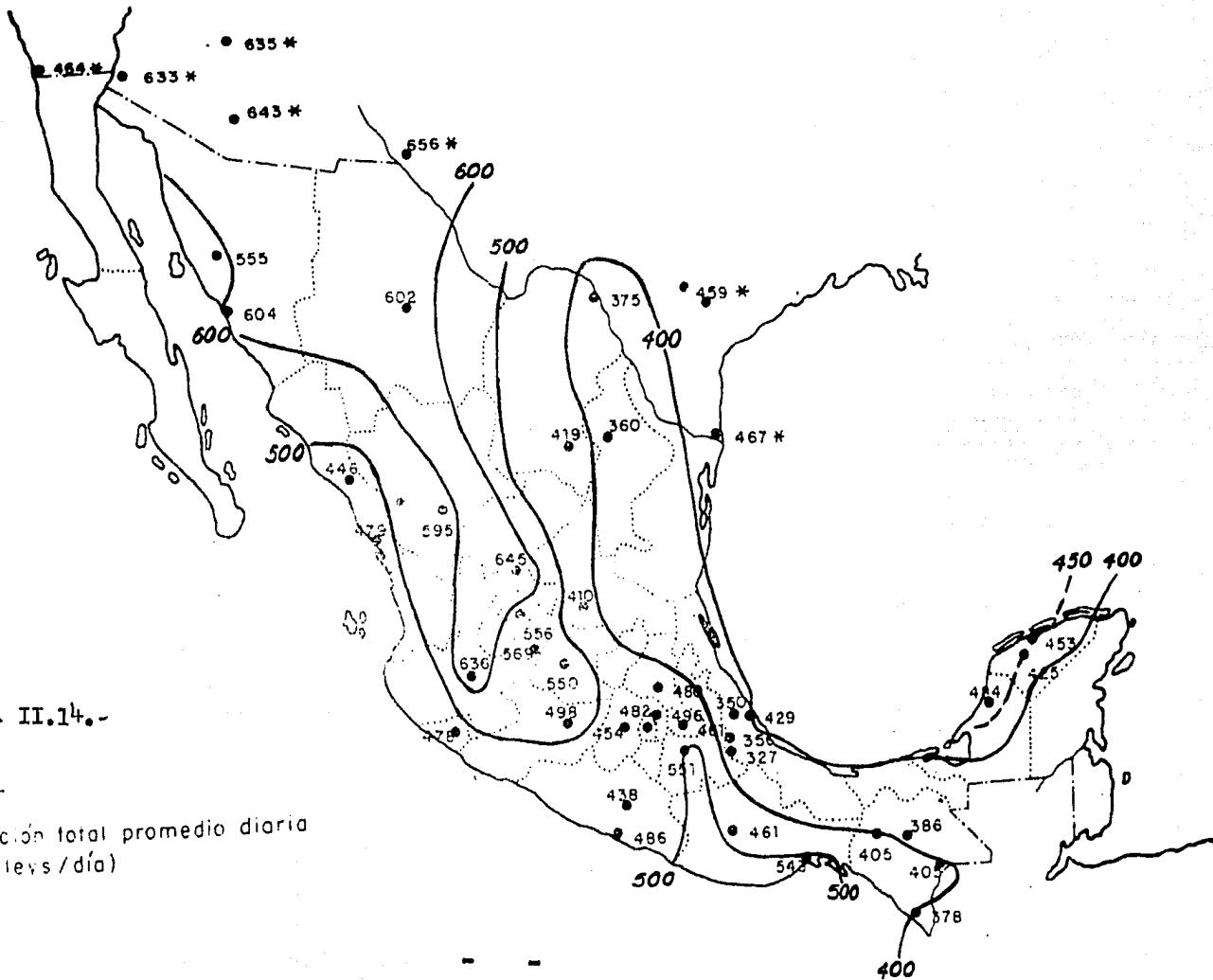


FIGURA II.14.-

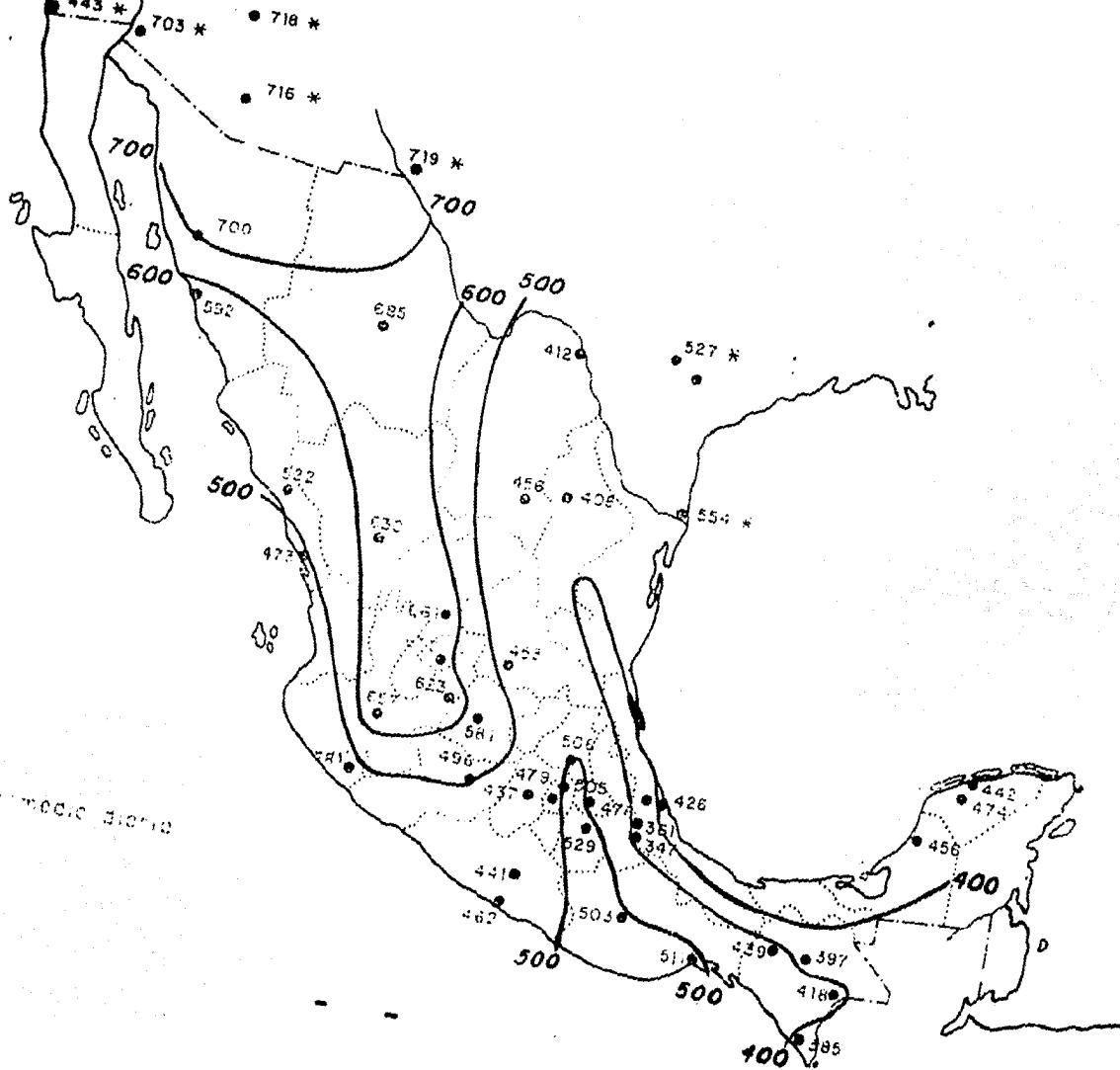
ABRIL

Radiación total promedio diaria
(Langley/día)

(09)

FIGURA II.15.-

MAYO
Radiación total promedio diaria
(Langley.s/día)



(62)

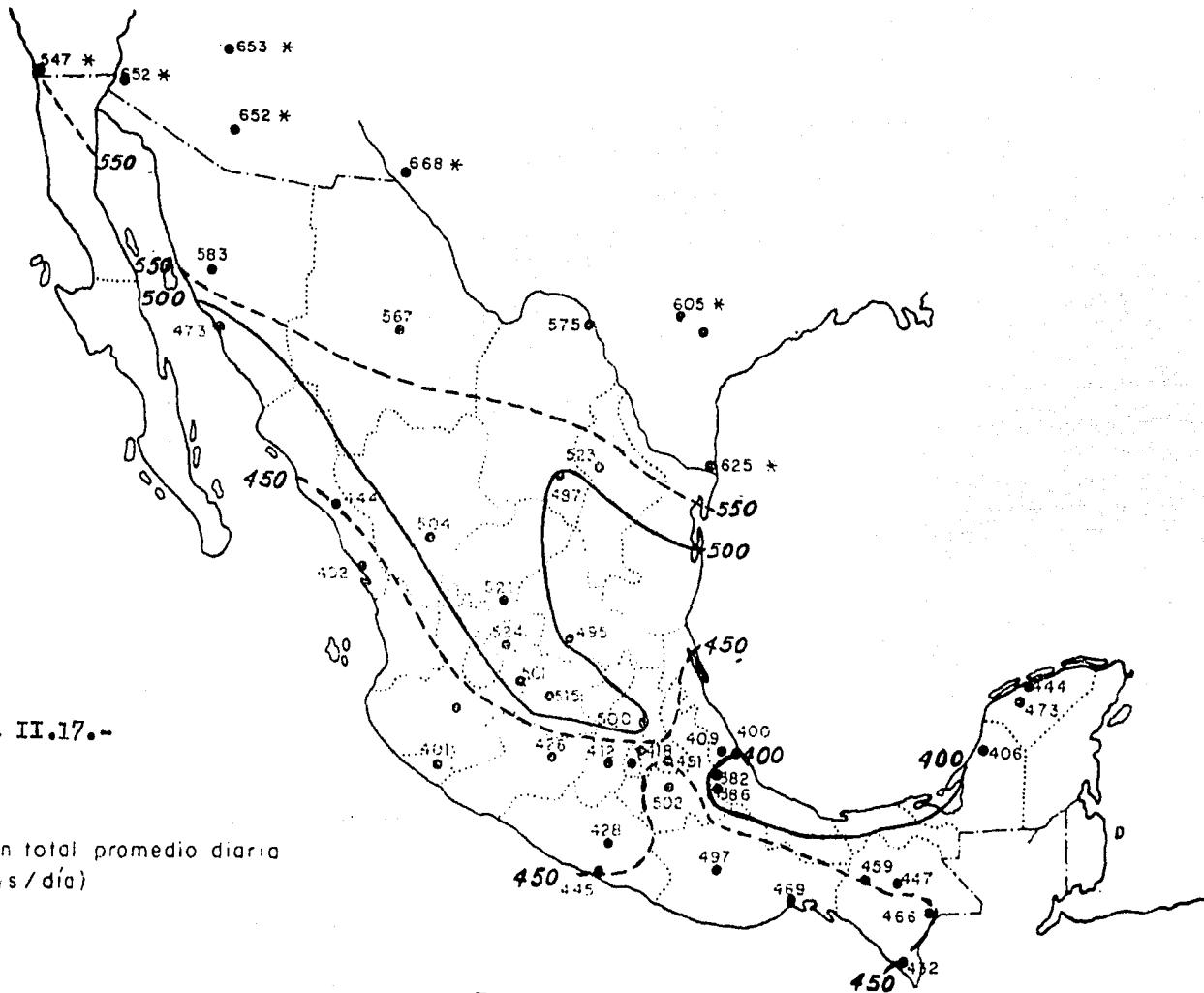


FIGURA II.17.--

JULIO

Radiación total promedio diaria
(Langleys/día)

(63)

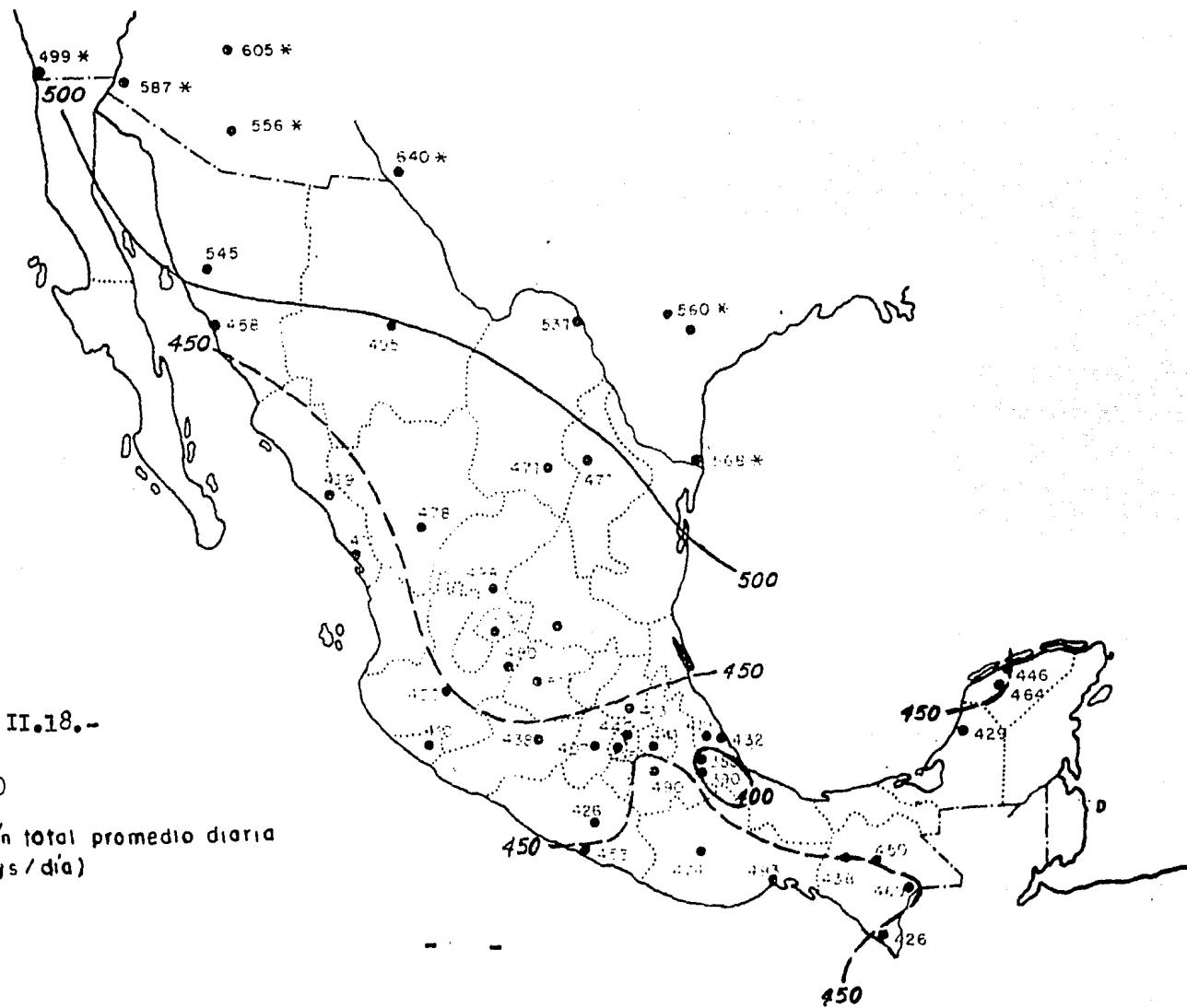


FIGURA II.18.-

AGOSTO

Radiación total promedio diaria
(Langleys/día)

(64)

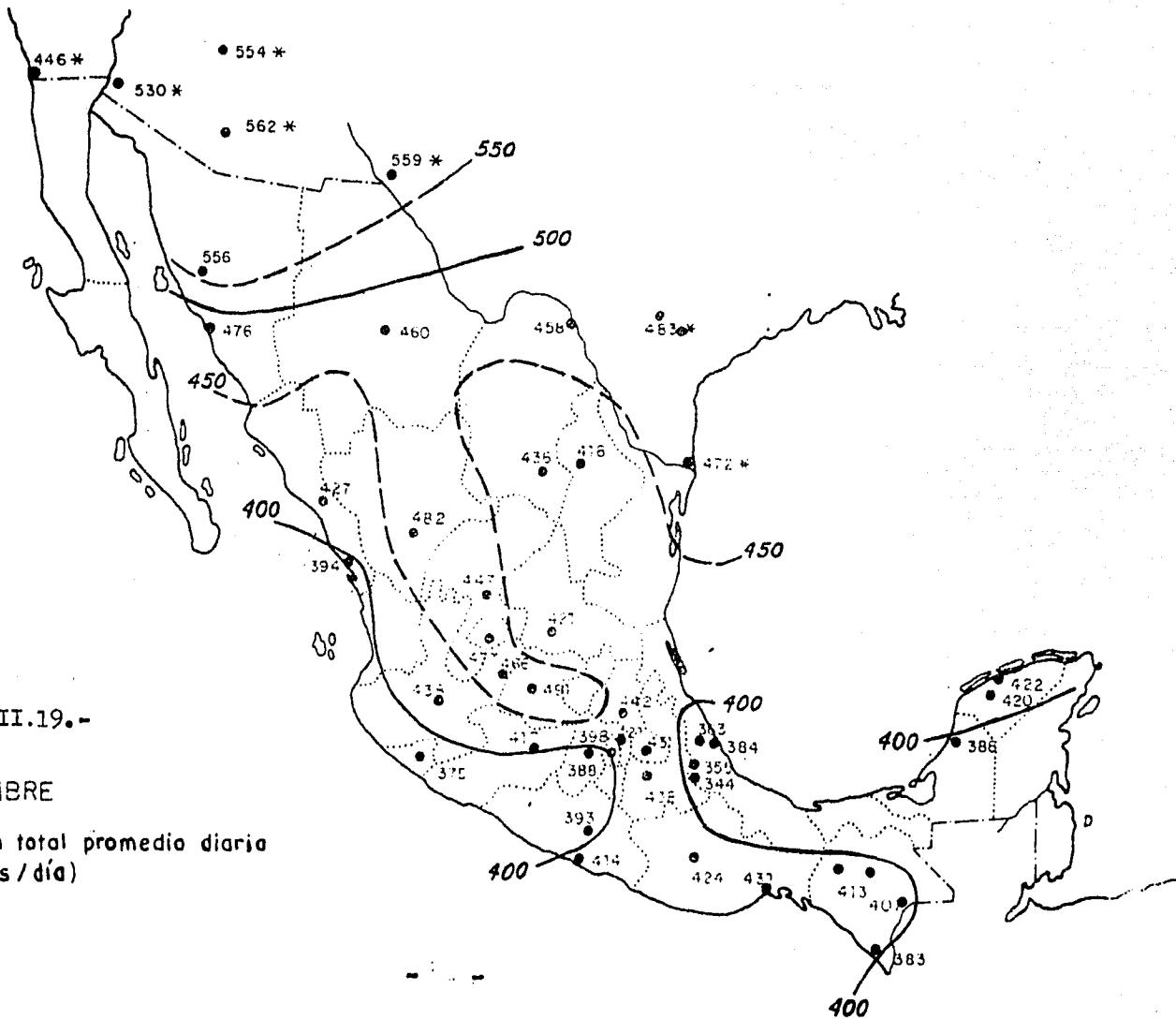


FIGURA II.19.-

SEPTIEMBRE

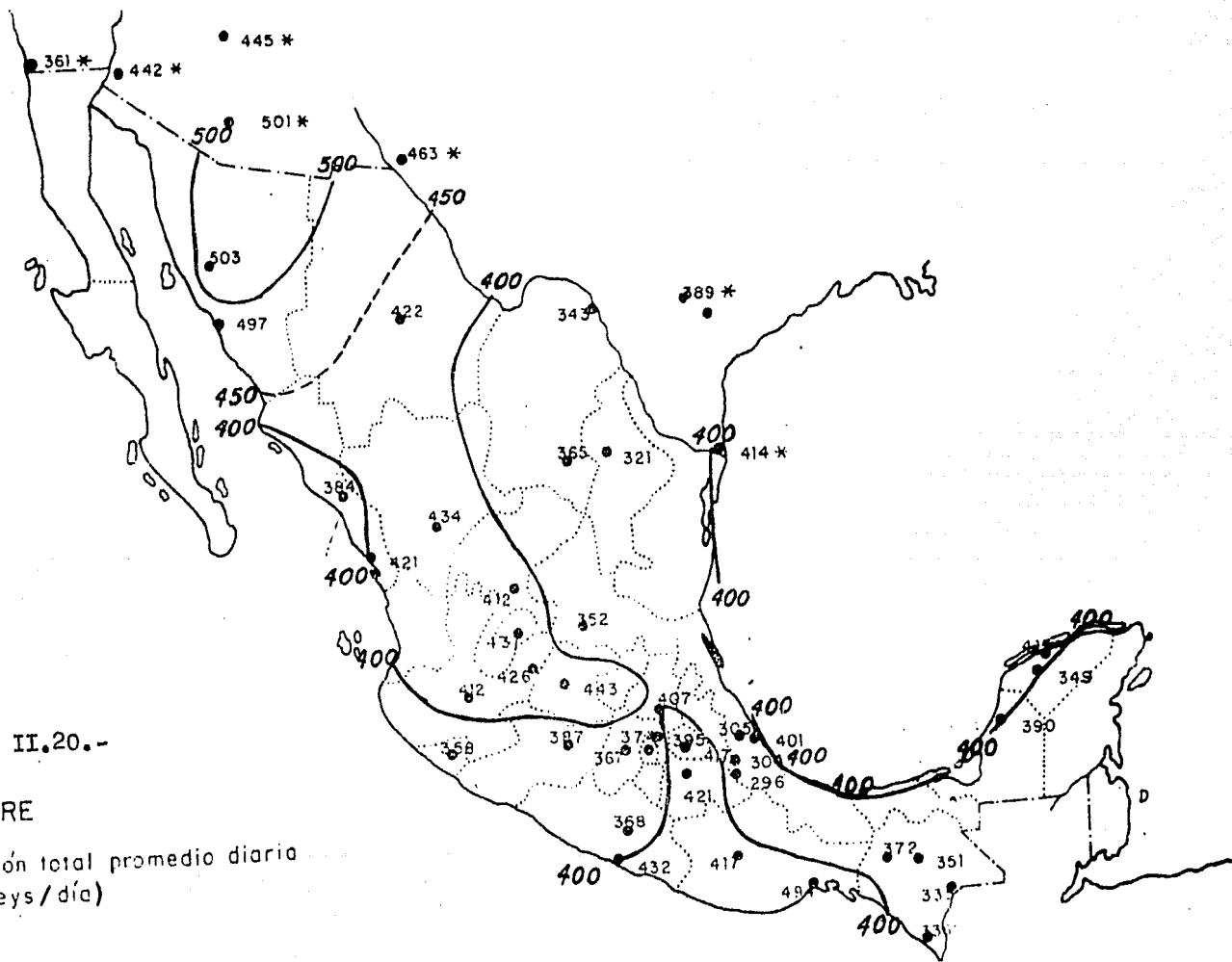
Radiación total promedio diaria
(Langleys / día)

(59)

FIGURA II.20.-

OCTUBRE

Radiación total promedio diaria
(Langleys/día)



(89)

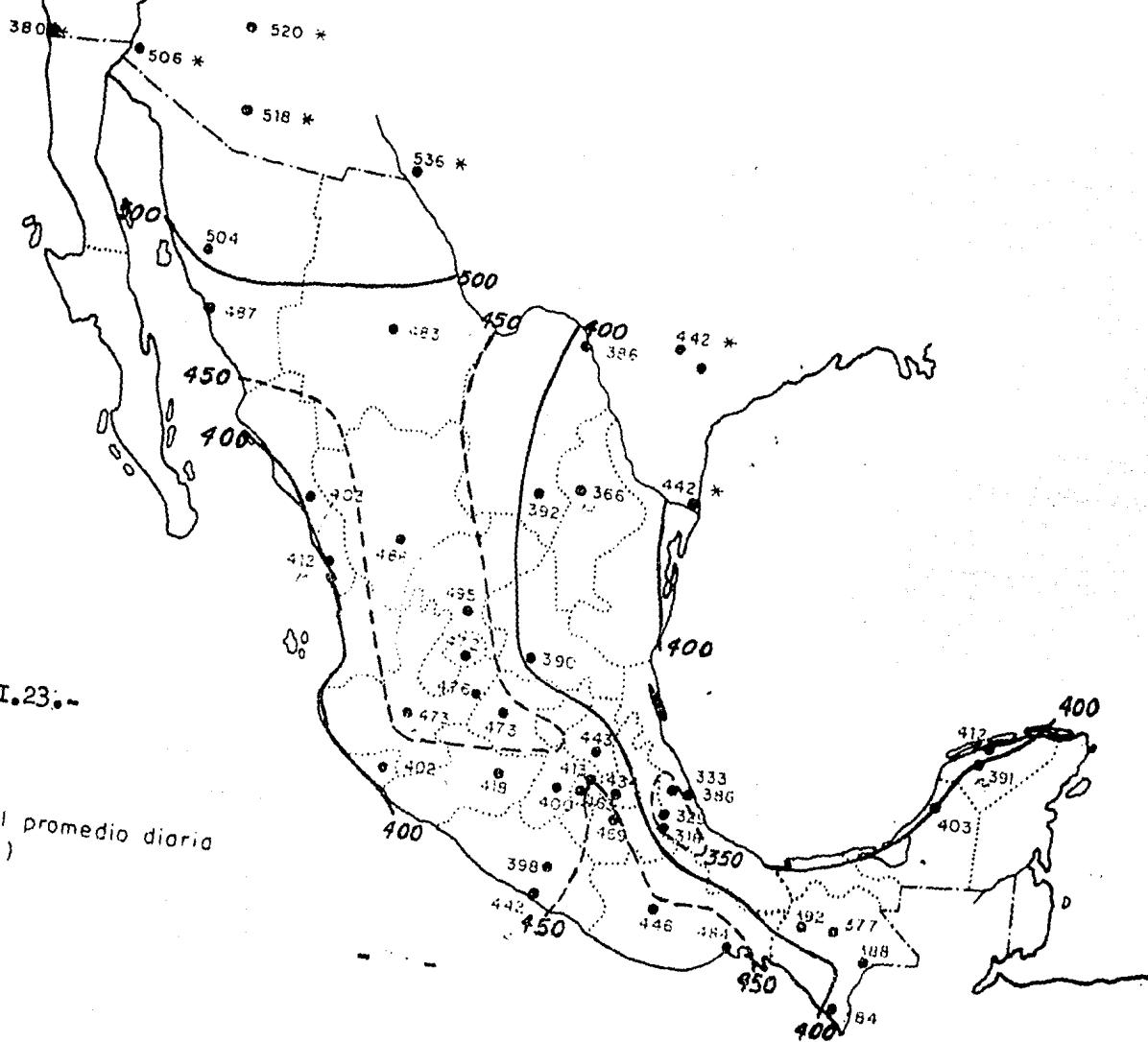


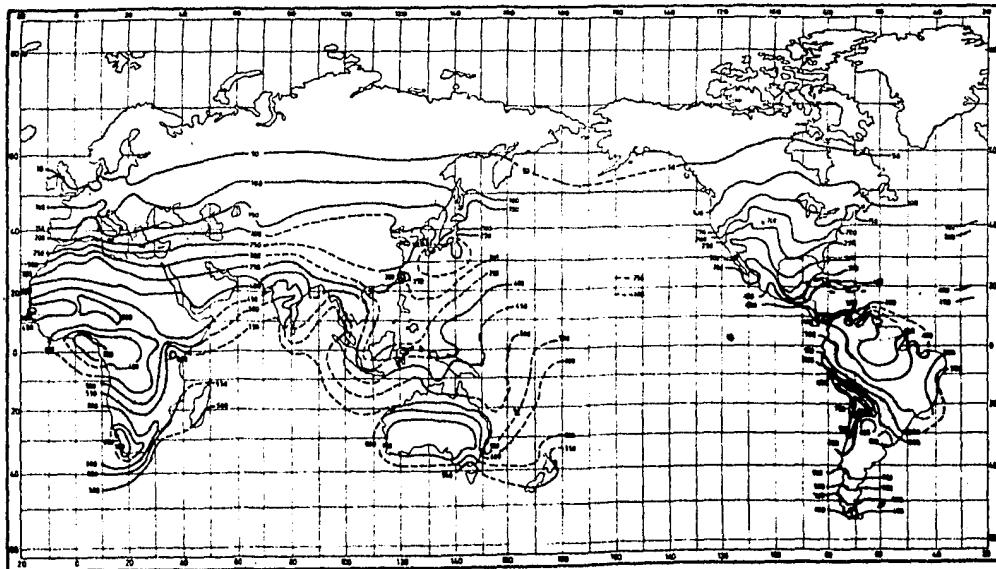
FIGURA II.23.-

ANUAL

Radiación total promedio diaria
(Langley's/día)

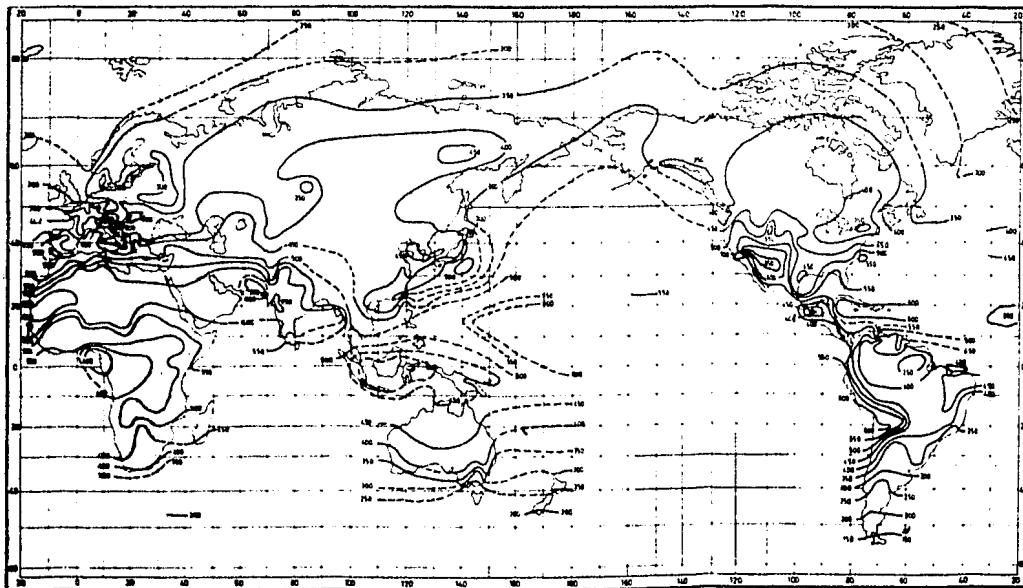
Con objeto de tener datos de referencia, en las Figuras -- del II.24., a la II.27., se muestra la radiación en todo el -- planeta en diferentes épocas del año, y en la Tabla II.3., se muestra la radiación recibida en diferentes áreas a una intensidad media de $1 \text{ cal/cm}^2 \text{ min.}$

FIG. II.24.- RADIACION SOLAR PROMEDIO DIARIO EN EL MES DE ENERO



(70)

FIG.II.25.- RADIACION SOIAR PROMEDIO DIARIO EN EL MES DE ABRIL



(71)

FIG. II.26. - RADIACION SOIAR PROMEDIO DIARIO EN EL MES DE JULIO

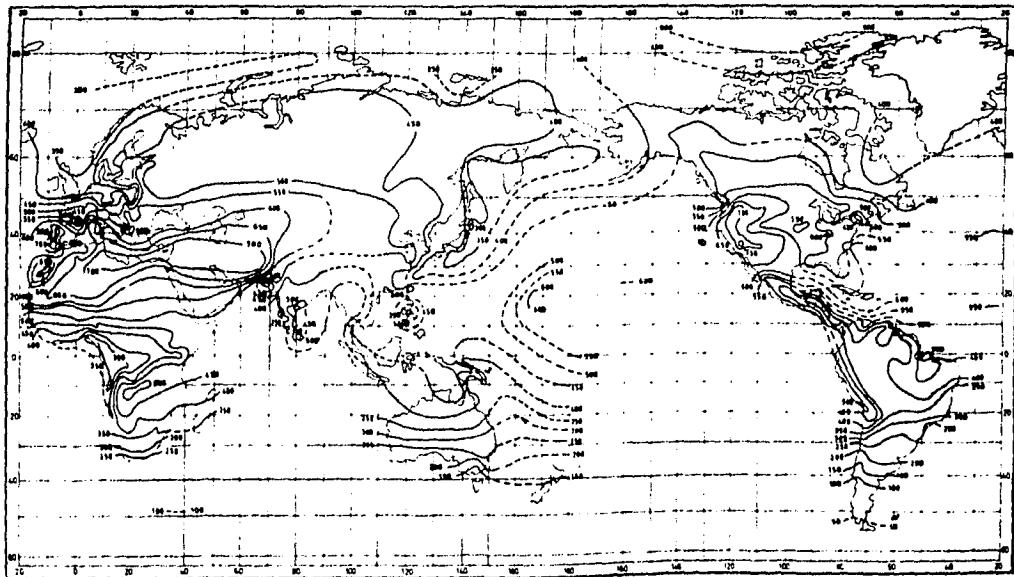


FIG.II.27.- RADIACION SOLAR PROMEDIO DIARIO EN EL MES DE OCTUBRE

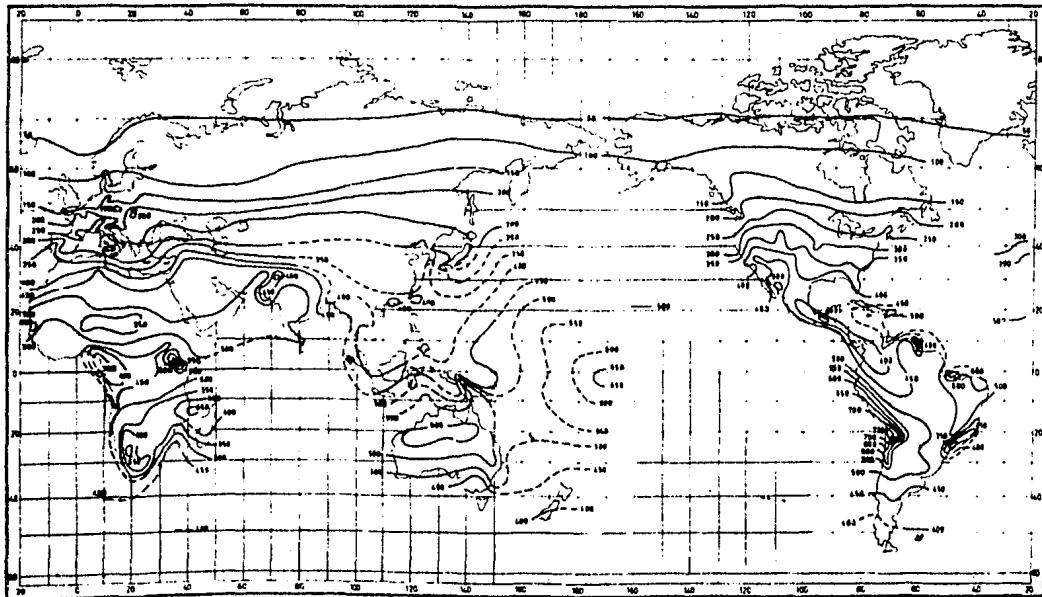


TABLA II.3.

CANTIDADES DE ENERGIA SOLAR RECIBIDA EN DIFERENTES AREAS CON UNA INTENSIDAD MEDIA DE RADIACION DE $1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$

Area	Langley's	Kcal min^{-1}	kcal día^{-1} *	BTU hr^{-1}	Kw (calor)	hp (calor)
1 cm^2	1,0	0,001	0,500	0,238	$7,00 \times 10^{-5}$	$9,39 \times 10^{-5}$
1 ft^2	929	0,929	464	221	0,065	0,087
1 m^2	10^4	10	$5,0 \times 10^3$	2380	0,700	0,938
100 m^2 (tejado)	10^6	10^3	$5,0 \times 10^5$	$2,38 \times 10^6$	70,0	93,8
1 acre	$4,05 \times 10^7$	$4,05 \times 10^4$	$2,02 \times 10^7$	$9,64 \times 10^6$	$2,83 \times 10^3$	$3,79 \times 10^3$
1 km^2	10^{10}	10^7	5×10^9	$2,38 \times 10^9$	$7,00 \times 10^5$	$9,38 \times 10^5$
1 milla ²	$2,59 \times 10^{10}$	$2,59 \times 10^7$	$1,3 \times 10^{10}$	$6,15 \times 10^9$	$1,81 \times 10^6$	$2,42 \times 10^6$

Factores de conversión: 1 kcal = 1.000 cal; 1 BTU = 0,252 kcal; 1 kw = 14,3 kcal min^{-1} ; 1 hp = 0,742 kw; 1 ft^2 = 929 cm^2 ; 1 acre = 43.560 ft^2 . El Apéndice contiene una lista completa de factores de conversión.

*Suponiendo 500 min día^{-1} de radiación solar.

CAPITULO III.

III.- APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

III.a.- VISUALIZACION DE LOS METODOS DE CONVERSION DE LA - ENERGIA SOLAR.

En una breve visualización sobre los métodos de conversión de la energía solar, encontramos que estos se dividen en sistemas de colección natural y sistemas de colección tecnológicos, tal y como se muestra en la fig. III.1., cada uno de estos métodos se describe a continuación.

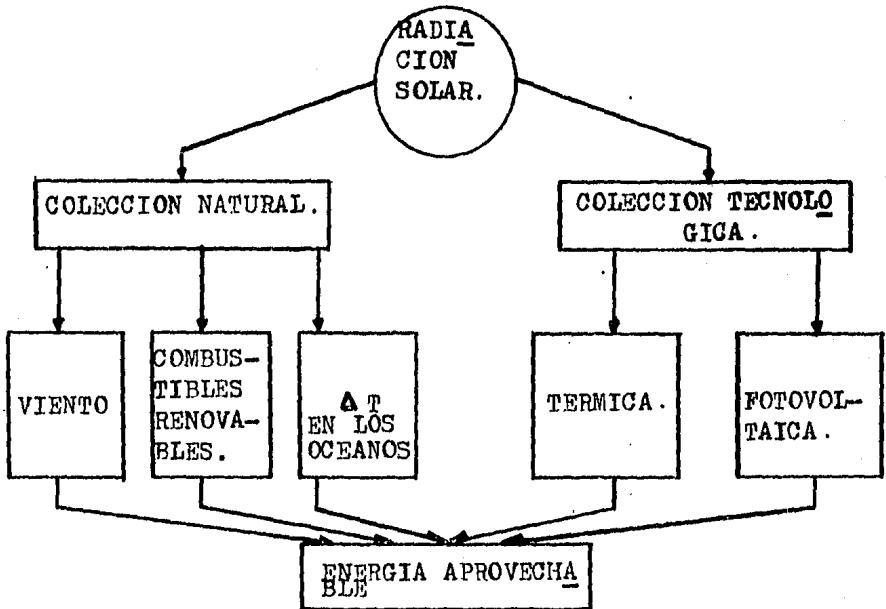


FIGURA III.1.- DIAGRAMA DE LA TRANSFORMACION DE LA ENERGIA SOLAR.

III.a.1.- CONVERSION TERMICA.

La conversión térmica es un sistema tecnológico que se vale de un fenómeno familiar. Cuando una superficie obscura recibe la radiación solar absorbe energía y eleva su contenido calorífico. Los colectores de energía solar que trabajan bajo este principio, consisten en una superficie mostrada al sol, la cual a su vez transfiere parte de la energía que absorbe a un fluido que hace contacto con ésta. Para reducir las pérdidas de calor a la atmósfera generalmente se emplean una o dos hojas de vidrio sobre la superficie colectora, aumentando su eficacia.

En nuestro tiempo el aprovechamiento térmico de la energía solar técnicamente es factible y económicamente es viable como sucede en el calentamiento de agua, calefacción de casas y la generación de vapor de temperatura no muy altas.

Para la generación de vapor a altas temperaturas, como los que se requieren para operar una máquina convencional de vapor, se necesita del uso de dispositivos locales en conexión de un receptor absorbedor, temperaturas tan altas como $4\ 000^{\circ}\text{K}$ ($6\ 740^{\circ}\text{R}$) se han logrado en Centro de Fuerza de Francia, y la generación de vapor para operar bombas con propósitos de irrigación también se han probado ser factibles. En la actualidad un gran número de dispositivos locales en la generación de vapor para producir energía eléctrica están bajo construcción en

diferentes partes del mundo y los costos estimados sugieren -- que el costo de la potencia solar en regiones favorables no se rá mayor que el requerido en la energía nuclear, una vez que - se haya completado el desarrollo de las plantas mencionadas.

III.a.2.- CONVERSION FOTOVOLTAICA.

La conversión fotovoltaica, la conversión de la radiación - solar en energía eléctrica por celdas fotovoltaicas se ha desa rrollado como una parte de la tecnología de los satélites y de los viajes espaciales. La eficiencia es de aproximadamente --- 24%, y en la práctica la eficiencia es de aproximadamente 15%- utilizando un arreglo fotovoltaico de silicón. La tecnología - de la conversión fotovoltaica esta bien desarrollada, pero la aplicación a gran escala no ha sido posible debido a los altos precios de las fotoceldas.

Mientras que los colectores convencionales convierten la - radiación solar en calor, las celdas fotovoltaicas utilizan la energía de los fotones de la radiación solar directa que inci de produciendo la energía eléctrica, es por esto que ésta téc nica con frecuencia se denomina "conversión directa de energía solar". La eficiencia de conversión de los sistemas térmicos - se ven limitados por la temperatura del colector, mientras que la eficiencia de conversión de las celdas es limitada por ---- otros factores.

III.a.3.- CONVERSION BIOLOGICA.

La conversión biológica de la energía solar por medio de la fotosíntesis es un proceso natural que se ha estudiado durante varias décadas. Esta forma de utilización de la energía solar ha sido de gran importancia para la humanidad, proporcionando una parte pequeña pero primordial de nuestro consumo de energía en forma de alimentos, y por milenios sirvió a nuestros ancestros en forma de madera como única fuente de calor, continuo ó incontinuo, es este proceso el que en el curso de millones de años produjo nuestro combustible fósiles, los que actualmente proporcionan la mayor parte de la energía que consumimos.

III.a.4.- PODER DEL AIRE.

El poder del viento se ha utilizado ampliamente desde la época medieval. En los campos de los Estados Unidos se utilizaron molinos de aire para mover bombas para la irrigación y para manejar generadores eléctricos usados para cargar baterías que proporcionaron energía eléctrica a lo largo del siglo pasado. Un molino de aire o una turbina de aire convierte la energía cinética del aire en movimiento mecánico, generalmente haciendo girar una flecha.

La tecnología para la conversión de la energía del aire se encuentra muy bien desarrollada. El contenido de energía del -

aire se incrementa en un tercio de la potencia de la velocidad del aire, por lo que las instalaciones para aprovechar la energía del aire son económicas únicamente en aquellas regiones -- donde existen corrientes de aire suficientemente fuertes y constantes. La construcción de instalaciones para aprovechar la -- energía del aire no requiere de nuevas tecnologías y en regiones favorables del mundo, el costo de ésta es muy próximo a -- los de otras fuentes de energía.

III.a.5.- CONVERSION DE LA ENERGIA SOLAR POR LOS OCEANOS.

Aproximadamente el 71% de la superficie de la tierra está cubierta por los océanos, los océanos sirven como gigantes almacenes de energía debido a la diferencia de temperaturas producidas por el sol, así como por la energía cinética contenida en las olas. Existen muchos lugares en los océanos donde la diferencia de temperaturas es del orden de 20-25°C entre la superficie y profundidades no mayores de 1 000 m. Esta diferencia de temperaturas se puede emplear para operar máquinas térmicas de baja presión, no obstante de que la eficiencia termodinámica operando bajo tales diferencias de temperaturas es baja, la energía térmica disponible es mucha. Poner en práctica este método de conversión de energía requiere del desarrollo -- de cambiadores de calor baratos y eficientes que puedan soportar las adversas condiciones marinas.

El segundo método de utilizar la capacidad de almacenamiento

to de los océanos para la generación de energía, es a través - de las olas marinas. Los costos estimados y proyectados en regiones favorables del mundo, se ven muy atractivos. Dado que - la aplicación de las olas marinas será limitada a pocos lugares, esta puede ser una de las formas más importantes de proporcionar energía a algunas naciones pobres.

III.b.- CONVERSION TERMICA.

Cuando un objeto se expone a la radiación solar su temperatura se eleva hasta que las pérdidas de calor igualan las ganancias. Las pérdidas dependen de la emisión de radiación del material caliente, del movimiento del aire frío que lo rodea y de la conductividad térmica de los objetos en contacto con él; las ganancias dependen de la intensidad de la radiación solar, del área de captación y del poder absorbente de su superficie.

En la actualidad se han desarrollado diferentes tipos de colectores de radiación que podemos clasificarlos de la siguiente manera:

- a) Colectores no concentradores.- Ejemplo de éstos son los colectores planos, los colectores tubulares, los estanques no convencionales, etc.
- b) Colectores con concentración intermedia.- Ejemplos de éstos son los colectores parabólicos compuestos (consis-

te en dos secciones de espejos parabólicos fijos), colectores en "V" (consiste en dos espejos planos en posición en "V"), colector de reflector fresnel y central receptora (consiste en un conjunto numeroso de espejos-planos que cubren una gran superficie y que en conjunto forman una parábola en cuyo foco se localiza la central receptora), etc.

- c) Colectores de alta concentración.- Ejemplos de éstos -- son los colectores cilíndricos de foco lineal reflectivo (consiste en un espejo parabólico de gran longitud y móvil), colector parabólico con espejos fijos y foco móvil (el colector está en el foco y se mueve de acuerdo a la posición del sol), colectores paraboidales con colector en el foco (consiste en un espejo móvil en forma de una sección de una esfera que concentra la radiación a su foco).

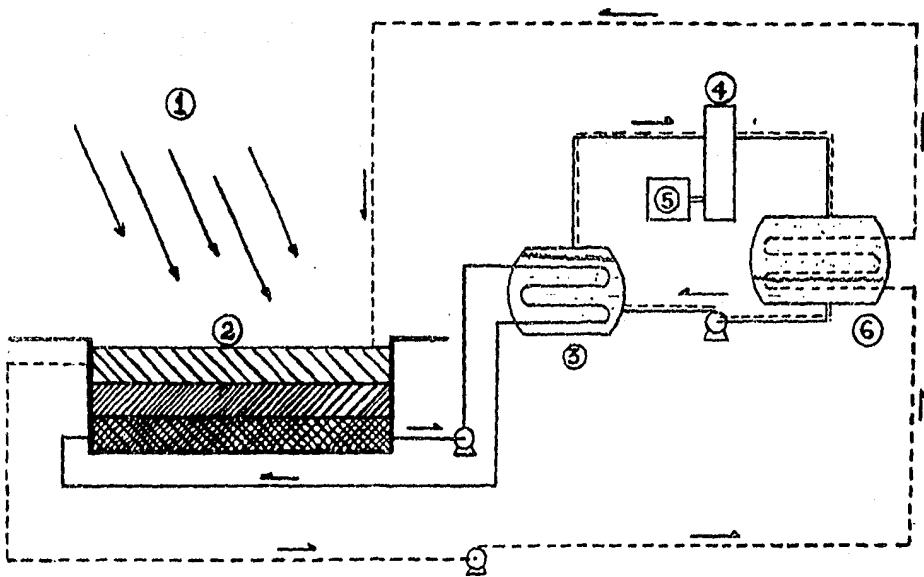
III.b.1.- APLICACION INDUSTRIAL DE UN ESTANQUE SOLAR.

Varios años de operación continua, han demostrado que el empleo de estanques solares y turbinas de baja presión constituyen un novedoso sistema para la generación de energía eléctrica. La instalación piloto puesto en marcha al final de --- 1979, cerca de la población de Einbokek, en Israel, ha generado más de un millón de Kwh usando el calor del sol almacenado durante el día en un estanque de $7\ 500\ m^2$ y 2.5 m de profundi--

dad.

Las experiencias obtenidas allí, sirven de base para un programa de construcción de plantas hidrosolares con estanques de 4 Km² que entregarán 50 MW cada una.

Dos de las principales concepciones novedosas en este desarrollo: la primera consiste en usar un estanque de poca profundidad cuya concentración salina aumenta con la profundidad, y donde la energía solar se almacena en forma de calor en la capa inferior de agua muy salada. En la segunda se emplea una turbina de baja presión, en un ciclo cerrado que opera con un líquido orgánico de bajo punto de ebullición, diseñado especialmente. El funcionamiento de esta planta consiste en tomar el agua caliente del fondo del estanque y bombearla a un intercambiador de calor (evaporador), en cuyo interior el líquido orgánico se evapora al igual que en una caldera convencional, y el vapor así obtenido mueve un turbo-generador de baja presión; a la salida de la turbina el vapor orgánico se condensa al recirculador, por un segundo intercambiador de calor (condensador), agua fría que se toma de la superficie del mismo estanque. El líquido orgánico se inyecta de nuevo al evaporador cerrándose así el ciclo interno. Tanto el agua caliente como el agua fría de los ciclos externos son bombeados desde un extremo del estanque y regresadas por el otro, de manera que la agitación se reduzca al mínimo y las diferencias de temperatura se mantengan al máximo, ver diagrama en la figura No. III.2.



-  AGUA DULCE. ESTRATO AISLANTE
-  AGUA SEMISALADA. ESTADO NO CONVECTIVO
-  AGUA SALADA. ESTRATO CONVECTIVO

- ① RADIACION SOLAR
- ② ESTANQUE SOLAR
- ③ EVAPORADOR
- ④ TURBINA
- ⑤ GENERADOR
- ⑥ CONDENSADOR

FIGURA III.2.- ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA HIDROSOLAR.

Las pruebas han demostrado que, para un estanque de una -- hectárea, la profundidad óptima es de 2.5 m., y la concentra-- ción de sal (cloruro de magnesio) debe aumentar a razón de --- 150 kg/m³ por metro de profundidad. Así podemos considerar --- tres estratos en el estanque: el superior, compuesto de agua - relativamente dulce; el intermedio con agua cuya salinidad au- menta hacia abajo, y el estrato inferior, con alta concentra-- ción salina. En condiciones estáticas se consigue en el fondo- una temperatura de 93°C (en estanques de prueba más pequeños - se ha llegado hasta temperaturas de 103°C, excediendo así la - temperatura de ebullición del agua dulce).

El estrato superior del estanque en estas regiones desérti- cas se mantiene a menos de 30°C, por lo que la diferencia de - temperatura entre los dos estratos extremos es mayor de 50°C,- y el estrato intermedio actúa como separador y aislante térmi- co, simultáneamente.

Indudablemente hay que tomar las medidas necesarias para - que estas aguas no se mezclen, y en esto estriba uno de los -- éxitos tecnológicos del proyecto; mediante el uso de redes su- perficiales se evita la formación de olas, y con un control -- adecuado del gradiente salino y la colocación de pantallas --- anticonvectivos a distintos niveles, la mezcla se reduce al mí- nimo. Los técnicos israelíes han conseguido un comportamiento- dinámico del estanque que tiene una eficiencia térmica supe--- rior al 15%.

Mientras los técnicos y los científicos mejoran su funcionamiento, los planes de construcción nacional se encuentran en camino y consiste en: a) terminación de una generadora hidrosolar de 5 000 KW con un estanque de 250 ha para 1982; esta es una planta piloto industrial. b) Construcción de dos generadoras hidrosolares de 20 000 KW (20 MW), cada uno, con estanques de un kilómetro cuadrado que arrancará en 1985. c) Puesta en marcha de un lago solar de cuatro kilómetros cuadrados y una unidad turbo-generadora de 50 MW (tamaño máximo considerado), en 1986. En los siguientes años seguirá la construcción de más unidades como ésta, hasta llegar a una generación de más de 2 000 MW al final de este siglo. Este intenso programa ilustra que la confiabilidad del sistema y la elegancia del ciclo de operación rivalizan con su sencillez, y que indudablemente resulta competitivo, si se tiene en cuenta los actuales precios de los combustibles, para no hablar de los futuros. Estas características, aunadas a su limpieza de operación hacen muy atractivas estas tecnologías, sobre todo para regiones cuya latitud no sobrepase de los 45 , ya que para altas latitudes el ángulo de insolación es desfavorable.

En la tabla III.1., se muestra un resumen de los parámetros típicos para una planta hidrosolar.

Insolación anual mínima. . . . .	.1,850 Kwh/m ²
Tamaño del estanque. . . . .	.1 Km ²
Profundidad máxima	de 5 a 7 m.
Eficiencia colectora mínima. . . . .	.15%
Temperatura del agua caliente. . . . .	.75 a 80°C
Temperatura del agua fría. . . . .	.25 a 29°C
Temperaturas del vapor orgánico:	
a) A la entrada de la turbina. . . . .	.74 a 79°C
b) A la salida de la turbina . . . . .	.32 a 37°C
Energía empleada por la planta . . . . .	.20 a 25%
Potencia de salida . . . . .	.20 MW
Para anual por mantenimiento . . . . .	.20 a 25 días
Vida de la instalación . . . . .	.30 años
Costo por Kw instalado en dólares de 1980:	
a) 20 MW para 1983 . . . . .	.900
b) 20 MW para 1984 . . . . .	.700
c) 50 MW para 1986 . . . . .	.700
d) 50 MW para 1988 . . . . .	.500

TABLA III.1.

III.b.2.- CENTRALES ELECTROSOLARES DE TORRE

Las centrales solares de torre han sido estudiadas en Francia desde 1976 por el CNRS (CENTRO NACIONAL DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA) y EDF (ELECTRICIDAD DE FRANCIA). Dichos estudios se conocen con el nombre de "Programa THEM" (Centrales --

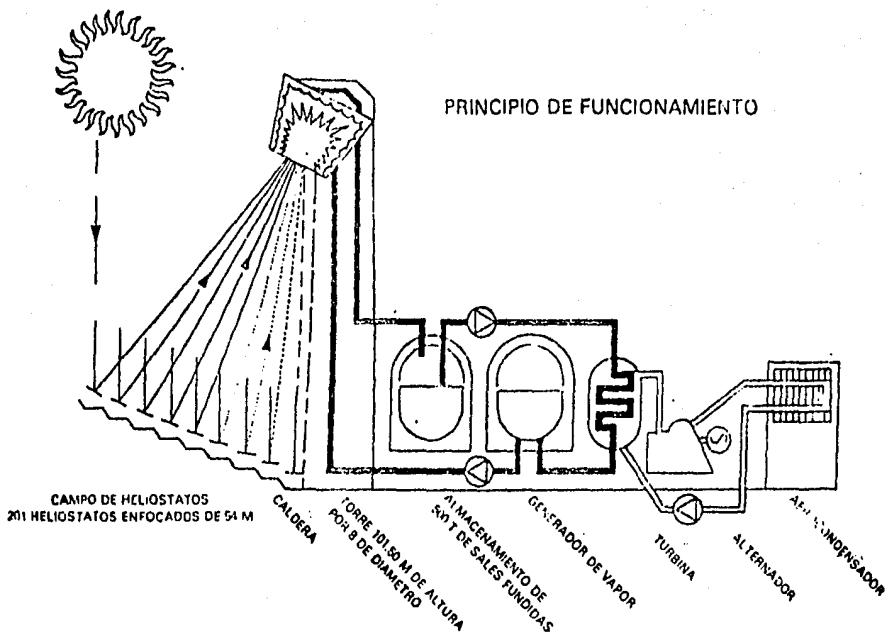


FIGURA III.3.- Principio de operación de THEMIS.

termo-helio-eléctricas-megawatt).

En septiembre de 1967 se decidió construir la primera central electro-solar, sin embargo, fue hasta la primavera de --- 1979 cuando se elaboró dicho proyecto.

THEMIS, primera central electrosolar francesa, aprovecha - el calor solar para concentrarlo en una caldera situada en una torre de 80 m., de altura, y a partir de un ciclo de vapor convencional y almacenamiento térmico, es capaz de producir una - potencia eléctrica nominal de 2.5 megawatts, en la figura No.- III.3., se muestra el principio del funcionamiento, en la tabla III.2., se muestra un resumen de los costos y en la tabla III.3., se muestran las características generales.

COSTO TOTAL DE LA CONSTRUCCION.- Calculado en base a los - precios de septiembre de 1979.....125 millones de francos (sin impuesto).

HIPOTESIS DEL CALCULO:

Actualización.....9% de incremento anual
Potencia nominal.....2 500 KW
Producción actualizada con el 90% de
disponibilidad.....3 Gwh neto al año

COSTO MEDIO DEL KILOWATT INSTALADO:

Construcción.....35,000 francos
 Todos los gastos incluidos.....36,000 francos

COSTO DEL KWH PRODUCIDO:

Construcción.....2.60 francos
 Incluidos todos los gastos.....2.80 francos

NOTA: Haciendo una comparación, EDF calcula el Kwh nuclear a 0.15 francos, el Kwh a base de carbón a 0.23 francos, y el de petróleo a 0.42.

TABLA III.2.- COSTOS.

CARACTERISTICAS GENERALES.

Vida útil.....20 años
 Insolación máxima.....1,040 w/m²
 Máxima potencia solar térmica recibida.....11,170 Kwt
 Rendimiento global bruto de conversión.....22%
 Potencia eléctrica máxima producida.....2,500 Kw
 Potencia absorbida por los auxiliares.....200 Kw
 Potencia nominal.....2,500 Kw
 Media anual de insolación.....2,400 horas
 Energía solar captada por año.....18.26 GWh
 Energía eléctrica producida por año.....3 Gwh
 Rendimiento energético anual medio.....16%

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

Campo heliostato.....	10,740 m ²
Número de heliostatos.....	210 situados al norte de la to- rre.
Superficie unitaria.....	53.7 m ²
Espejo curvo tipo sandwich (2mm + 5mm)	
Presión de la orientación.....	2.2 miliradianes
Resistencia al viento.....	53 Km/h en ope- ración
Resistencia al viento.....	160 Km/h en paro
Caldera receptora solar con un volumen de - 56 m ³ (inclinable y desmontable con una puer- ta deslizante que permite cerrarla en caso- de paro de actividades) instalada en una to- rre de cemento de 80 m de altura.	
Circulación forzada a base de sales fundi-- das.	
Dimensiones de la cavidad.....	4 X 4 X 3.5 m
Inclinación.....	30° sobre el eje horiz.
Potencia térmica nominal.....	9,000 Kw
Temperatura de entrada de la sal.....	250°C
Temperatura de salida de la sal.....	450°C

ALMACENAMIENTO TERMICO

Fluido.....	sales fundidas de nitritos y- nitratos de so- dio y de pota- sio mezcladas.
Capacidad térmica.....	40,000 Kwht (5 h de insola- ción).
Temperatura.....	250°C/450°C
Masa del sol.....	500 toneladas

CONJUNTO TURBO-ALTERNADOR

Potencia nominal.....	2,500 Kw
Rendimiento.....	28%
Temperatura de vapor.....	430°C
Presión de vapor.....	40.80 Kg/cm
Refrigeración por medio de aereocondensado- res de circulación natural.	

TABLA III.3.- Características Generales.

Una fuente auxiliar de calor constituye otro circuito que permite realizar varias funciones: mantener los circuitos "desal" a más de 200°C para que no se solidifique en caso de paro de actividades, recalentar el agua de alimentación con una carga parcial para que permanezca a 200°C en el generador de va--

por, fundir la sal, calentar las oficinas. Este calor lo proporcionan once heliostatos THEK paraboidales de 75 m^2 cada uno, situados al sur de la torre.

El almacenamiento está constituido por un estratificado de depósito de 80 m^3 . El fluido portador de calor es Gilotherm a una temperatura de 320°C .

La base teórica en que se apoya el funcionamiento de la central solar podría validarse en la práctica misma. Posteriormente se probarán los componentes y las distintas opciones tecnológicas. THEMIS servirá como planta de prueba para el control de mando automático que se investiga para las próximas centrales, así como también se intentará mejorar la forma de trabajo y reducir el costo. Finalmente se determinará la forma de operación más eficiente para lograr con esto un óptimo balance energético.

El programa CNESOL (CENTRO NACIONAL DE PRUEBAS SOLARES) se hará en dos etapas: la primera (ya iniciada) tiene como objeto construir un doble campo de heliostatos para concentrar los rayos solares en un punto, una torre, un departamento de investigación y la nave de las instalaciones auxiliares. Esta última, situada cerca de la torre y el aereocóndensador, es una instalación para alojar aparatos auxiliares, almacenamiento y mantenimiento de las sales, para el diesel de emergencia, almacenamiento de sales fundidas, almacenamiento secundario de calor,-

sala de máquinas, un taller y un almacén. La segunda etapa --- será una ampliación de la planta sin afectar la generación de energía eléctrica. Tendrá una segunda torre y la nave de instalaciones auxiliares agrandada.

III.c.- CONVERSION FOTOVOLTAICA

Las celdas solares son generadoras de energía eléctrica -- que no consume combustible, no hace ruido, no producen riesgos para la salud y no generan desechos. Con las ventajas antes indicadas no nos debe sorprender que los arreglos de celdas va--yan a producir una parte considerable de la energía que deman--de la industria y el consumo doméstico en el futuro. En aproxi--madamente 10 años más, será posible que sistemas de celdas so--lares produzcan varios cientos de kilowatts.

Los sistemas fotovoltaicos para generar electricidad pue--den aplicarse para alimentar a radioreceptores, telerecepto---res, estaciones de radiotelefonía rural, controles de señalaa--mientos en los cruces de vías de ferrocarril y carreteras, en--boyas meteorológicas, bombas de agua para irrigación, etc.

III.c.1.- COMO TRABAJAN LAS CELDAS SOLARES.

Las celdas fotovoltaicas son básicamente semiconductores - diódicos que absorben la luz y la convierten en electricidad.- Los fotones de la luz transmiten su energía generando en exce--so de energía (electrones y huecos) que se transportan en el -

metal semiconductor.

Los semiconductores son selectivos con respecto a los fotones que absorbe. Los fotones que un semiconductor dado, puede convertir a electricidad son aquellos cuya energía excede la banda intermedia del estado estable y el estado excitado de sus electrones. La luz solar es un espectro continuo que contiene en su mayoría longitudes de onda entre 0.5 y 2 μm , y por lo tanto la energía de los fotones (la cual es inversamente proporcional a la longitud de onda) se distribuye en un rango determinado. Un semiconductor cuyo rango de excitación (E_g) es 1.2 eV., responderá únicamente a la luz solar cuya longitud de onda sea menor a 1 μm , ya que los fotones de esta longitud de onda tienen una energía de 1.2 eV. Los fotones con menor energía que la indicada pasan a través del material. Fotones con energía mayores que 1.2 eV. Se absorben en el semiconductor, pero la diferencia entre la energía del mismo y la energía de excitación se transforma en calor en lugar de electricidad. Comúnmente se usan semiconductores con un rango en la banda de excitación de 0.1 a 4 eV.

Los semiconductores se pueden clasificar según su material de construcción en semiconductores directamente alterables y semiconductores indirectamente alterables. Para un mismo grado de excitación, la estructura de un semiconductor directamente alterable necesita absorber una fracción de fotones que es sustancialmente inferior al que necesita un semiconductor indirectamente alterable.

Las barreras de potencial en las celdas solares tienen diversas formas. Pueden ser una unión homogénea del tipo "pn", - en la cual un solo semiconductor actúan por un lado como aceptor de impurezas (tipo p) y por el otro lado como donador de impurezas (tipo n). La unión entre la región del tipo "p" y la región del tipo "n" constituye la barrera de potencial. La barrera de potencial también existe en una unión heterogénea, en la cual el lado "p" y el lado "n" están constituidos de semiconductores diferentes.

También se forma una barrera de potencial en la interfase-entre un metal y un semiconductor (llamadas barreras Schottky), en una unión de metal-aislante-semiconductor (MIS), una capa de 10 nm de óxido se interpone entre una capa de metal y el semiconductor, en una unión semiconductor-aislante-semiconductor (SIS), una capa de semiconductor reemplaza al metal de la celda (MIS), siendo de alta conductividad y transparencia.

Monocristales con unión heterogénea "pn" en silicón o arsenuro de galio tienen los más altos porcentajes de eficiencia de conversión hasta los últimos logros (la eficiencia de conversión se define como la relación de la energía convertida a electricidad con respecto a la energía contenida en la luz incidente). Solo un número pequeño de semiconductores son apropiados para la unión homogénea "pn".

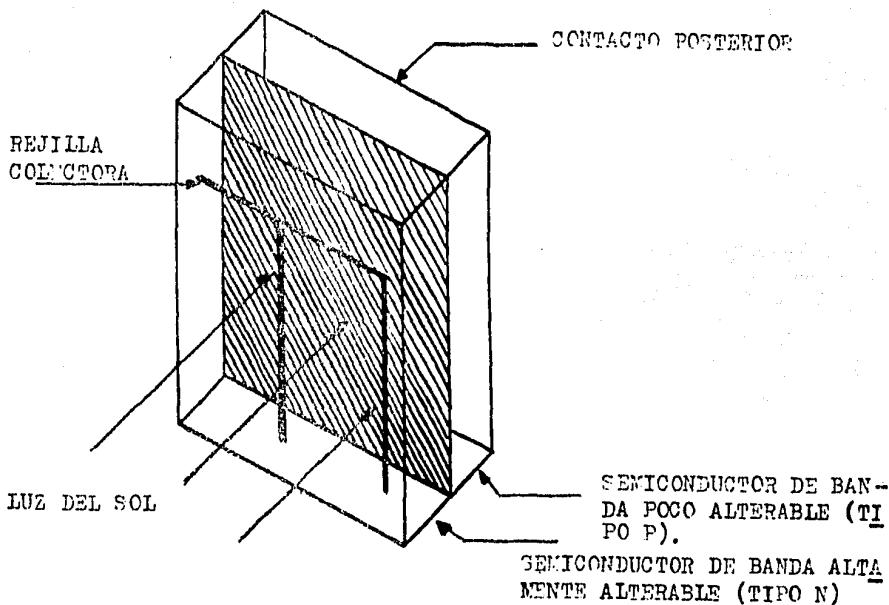


FIGURA III.4.- Estructura de una celda solar de unión heterogénea del tipo "pn". En las celdas solares de unión heterogénea, la luz solar pasa hacia el semiconductor tipo "p", donde se producen cargas circulantes debido a la interacción de los fotones. Las cargas cruzan la unión en dirección del semiconductor del tipo "n", produciéndose de esta forma la corriente eléctrica.

La luz del sol ilumina un semiconductor del tipo "n" cuya banda de alteración es lo bastante grande para que los fotones del sol pasen a través de él. La luz se absorberá en el semiconductor del tipo "p" de banda de alteración baja, el cual se encuentra posteriormente (del tipo directamente alterable). La luz genera un exceso de transportadores de carga en el material de banda de alteración baja, por lo que las cargas radican esencialmente en este material. Mediante una rejilla en la capa "n" y un contacto en la parte posterior de la capa "p" podemos extraer la corriente generada en la celda para emplear en un circuito eléctrico.

Una ventaja importante es que los fotones generan los transportadores de carga en el interior de la placa y no en la superficie de esta, por lo que se descarta la recombinación en la superficie. Donde se presenta la recombinación en la superficie los fotones generan agujeros y electrones que se combinan antes de que los electrones crucen la barrera de potencial y por lo tanto estos no contribuyen a la corriente de la celda, originando una disminución en la eficiencia. La recombinación se debe a ciertos defectos en la superficie, tales como terminación abrupta del enrejado cristalino, absorción de átomos ó moléculas, y daños mecánicos, etc.

Los defectos reducen la eficiencia, también pueden presentarse aunque no son tan serios como los defectos superficiales. Las causas de prematuras combinaciones en una unión heterogénea son; un enrejado mal hecho, malas uniones, así como la inclusión de átomos ó moléculas extrañas. Las dos semicon-----

ductores se deberán escoger de tal forma que el par de cristales sean lo más semejante posible, y que el proceso de fabricación se controle de tal forma que minimece los materiales extraños.

Las celdas del tipo metal-semiconductor son mucho más numerosas que las del tipo "pn", y son de más fácil fabricación, - pero se caracterizan por su bajo voltaje de salida, lo cual limita su eficiencia.

Interponiendo una delgada capa de óxido ($0.001\mu\text{m}$) entre el metal y el semiconductor (como en las celdas (MIS) se logra un aumento sustancial de voltaje a la salida y un incremento en - la eficiencia.

No obstante es difícil formar una delgada capa de óxido -- que sea uniforme y esté libre de agujeros. Estos problemas se han presentado en estructuras "SIS". Un semiconductor tal como el óxido de estaño ó el óxido de indio pueden ser engrosadores de una capa metálica (y de sus agujeros libres) sin que absorban mucha luz, y ofreciendo baja resistencia a la corriente de la celda. Capaz de estos semiconductores que contengan un espesor de pocos cientos de nanómetros transmiten arriba del 50% - de la luz que incide sobre ellos.

En el proceso de formación de la barrera en la celda "MIS" y "SIS" no se requiere de temperaturas altas. Esto nos lleva a que los semiconductores no necesariamente tendrán que ser materiales monocristalinos. Se han logrado eficiencias arriba del-

9% en celdas "SIS" hechas con silicón semicristalino y con dimensiones de varios milímetros.

Independientemente de la estructura de la celda, es esencial que los transportadores de carga que se generan por la absorción de la luz, permanescan libres hasta alcanzar la barrera de potencial. Esto requiere esencialmente, control sobre los defectos y las impurezas en la celda.

Las celdas solares tienen características diódicas de corriente y voltaje. Un diodo representa una barrera de separación de carga, al igual que una unión "pn". Estructuras más complejas se presentan en la superposición de varios diodos. Cada diodo tiene su corriente de saturación y un parámetro que determina la forma exponencial de sus características de voltaje y corriente. El circuito modelo de una celda solar incluye resistencias en serie y en paralelo, las cuales originan pérdidas, tales como varios ohms por cm^2 de área de celda. Las resistencias en serie limitan la generación de corriente cuando la celda está cortocircuitada. Un buen diseño puede reducir las pérdidas elevando la eficiencia.

III.c.2.- DIFERENTES TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS Y SUS EFICIENCIAS.

Una amplia variedad de tipos de celdas solares se han iniciado a estudiar para su posible uso en fuentes de potencial -

eléctrico a gran escala tal y como la podemos ver en la tabla-III.4., todos ellos son dispositivos semiconductores fotovoltaicos, pero son ampliamente diferentes en materiales y en estructura.

TABLA III.4.- CELDAS FOTOVOLTAICAS CON UN 5% DE EFICIENCIA O MAYORES.

TIPO DE CELDA	SEMICONDUCTORES QUE LO CONSTITUYE	MAXIMO % DE EFICIENCIA
UNION HOMOGENEA	SILICON	18
UNION HOMOGENEA	ARSENURO DE GALIO	22
UNION HOMOGENEA	FOSFURO DE INDIO	6
UNION HETEROGENEA	P-Cu S/n-Si	5
UNION HETEROGENEA	P-InP/n-CdS	14
UNION HOMOGENEA Y ESTRUCTURA HETERO GENEA	AlxGa-xAs, GaAs	18
MIS	SILICON	12
MIS	ARSENURO DE GALIO	15
SIS	OXIDO DE INDIO Y ESTAÑO/SILICON	12
SIS	OXIDO DE ESTAÑO/ SILICON	12
UNION HETEROGENEA	P-CdTe/n-CdS	8
BARRERA SCHOTTKY	WSe2	5

POLICRISTALINA	SILICON	8
UNION HETEROGENEA		
DE CAPA DELGADA/CA		
PA DELGADA	P-CuxS/n-CdS	9
UNION HETEROGENEA		
DE CAPA DELGADA	P-Cu ₂ Te/n-CdS	6
DELGADA .CAPA DE		
SEMICONDUCTOR A		
MORFO CON BARRERA		
SCHOTTKY	SILICON	6

III.c.2.1.- CELDAS FOTOVOLTAICAS DE SILICON

Es la primer celda solar que se desarrolla (laboratorio -- Bell 1954). Actualmente se siguen estudios dirigidos a reducir el costo de la celda, se estudian técnicas para obtener hojas-monocristalinos diferentes al de revanado de grandes lingotes- que se obtienen por el proceso CZOCHRALSKI (desarrollado origi- nalmente para transistores y circuitos integrados).

Un futuro del avance del laminado de los materiales es que se podrán producir celdas rectangulares, mientras las celdas - CZOCHRALSKI contiene el contorno circular. Las celdas rectangu- lares pueden cubrir completamente un área de arreglo mientras - que las circulares no lo logran.

Otro camino en la reducción de costos de fabricación de és tas celdas es el de mejorar los métodos de acoplamiento del se miconductor.

Se pueden hacer dos tipos de celdas laminadas por el proceso barato y simple de deposición; metal-aislante-semiconductor (MIS) semiconductor-aislante-semiconductor (SIS). Usando el silicio como semiconductor, se han logrado eficiencias de más de 10% en ambos arreglos.

III.c.2.2.- CELDAS DE CAPAS DELGADAS DE SULFURO DE COBRE/ SULFURO DE CADMIO.

La celda consiste en una delgada capa de sulfuro de cadmio policristalino depositado sobre un sustrato metálico o de vidrio, una capa de sulfuro de cobre sobre el sulfuro de cadmio y contactos óhmicos de las capas. Como se muestra en la figura III.5. La interface entre el sulfuro de cobre y el sulfuro de cadmio es una unión diódica.

Los avances en las celdas de sulfuro de cobre/sulfuro de cadmio son gracias a que se fabrican por procedimientos de evaporación y de esparado. Se han logrado eficiencias mayores al 9% con estas celdas y se esperan mejoras.

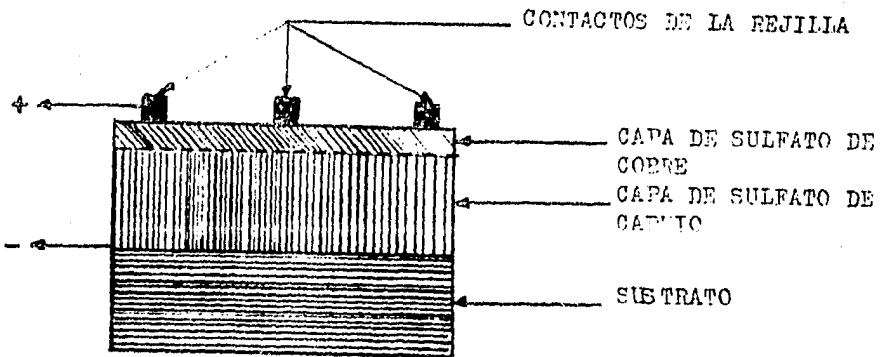


FIGURA III.5.- En una celda de sulfuro de cobre y cadmio, se forma una union heterogénea entre las -- capas de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre. Esta celda se puede producir económicamente y pronto estará en producción comer-- cial.

III.c.2.3.- CELDAS DE ARSENURO DE GALIO MONOCRISTALINO.

Tienen la mayor eficiencia logrando en celdas solares ---- (aproximadamente un 22% de eficiencia). Una versión consiste - en una heteroestructura formada de arsenato de aluminio y ga-- lio sobre una unión con arsenato de galio. Otra consiste en -- una película muy delgada (10 μ m) de n-GaAs sobre sustrato de -- P-GaAs.

Este arreglo es muy prometedor en conjunto con la estructura de celdas para sistemas concentradores.

Se han podido desarrollar celdas policristalinas de GaAs a bajo costo reportándose eficiencias de 6.5% para capas delgadas de GaAs.

III.c.2.4.- CELDAS DE SILICON AMORFO

Están situadas en una clase muy especial estando constituidas por cristales de silicón policristalino. Las celdas se pueden producir muy fácilmente al pasar silano (SiH_4) sobre un sustrato en una descarga de radio frecuencia. No obstante que la máxima eficiencia reportada es solo de 5.5%, las celdas de silicón amorfo son atractivos debido a que son fáciles de producir.

III.c.2.5.- CELDAS SOLARES ELECTROQUIMICAS

Es un tipo considerablemente nuevo de celda que muestra -- promesas considerables. En los laboratorios de investigación -- "Bell" se ha desarrollado una celda de unión "semiconductor/líquido", con una eficiencia del 12%. La celda consiste en un -- monocristal de arsenuro de galio sumergido en una solución de compuestos de selenio. La superficie del cristal se trata con rutenio para incrementar la eficiencia y posteriormente se esmerila el área de absorción de la luz. El proceso de fabrica--

ción es simple y potencialmente bajo en costo.

En la "Texas Instrument" se está desarrollando otro tipo de celda electroquímica. Una unión sellada de silicón del tipo p-n, se sumerge en una solución de ácido. La luz produce una corriente sobre el sello lo que origina que el ácido se descomponga, generando gas hidrógeno, el cual se puede usar como combustible.

III.d.- CONVERSION BIOLOGICA

Los vegetales verdes son los únicos capaces de incorporar la energía solar a todo el sistema de comunidad viva, para realizar su metabolismo, crecer y multiplicarse esos vegetales requieren (además de la luz del sol), agua, bióxido de carbono y algunas sales minerales en solución. Los animales pueden alimentarse de los vegetales verdes ó bien de otros animales; pero en todo caso la fuente de alimento, "combustible energético", es siempre una planta que absorbe la luz del sol.

Todos los organismos vivos necesitan una fuente de energía potencial para mantenerse, crecer y reproducirse; esta fuente ha de ser energía química contenida en los alimentos y tiene que permitir al organismo el trabajo que sus movimientos requieran, incrementar su contenido energético para su crecimiento y producir la cantidad de energía que su reproducción le exige y así se conserven las especies.

Esta energía la contienen los alimentos, los que poseen -- compuestos con enlaces de alta energía, cuya rotura o reordenación produce liberación de la misma. Los vegetales verdes al elaborar estos alimentos utiliza la "energía radiante", que es aquella que viaja en forma de ondas, durante las reacciones fotoquímicas. Cuando la luz incide sobre las hojas de un vegetal verde que contiene clorofila, ésta absorbe energía lumínica de cierta longitud de onda, para transformarlo en energía química y almacenarla en forma de sustancias alimenticias.

Cuando los seres vivos liberan energía, ésta tiene que canalizarse en la dirección apropiada, según las necesidades del organismo; si esto no sucede se pierde y no es aprovechada por las células que lo forman. La energía química liberada no es utilizada directamente si no que se almacena en pequeños paquetes de energía que se denominan "enlaces de alto contenido de energía" adoptando la energía disponible, una forma común para todos los procesos metabólicos del organismo.

Este tipo de almacenamiento de la energía presenta otras ventajas que son: representa una fuente de energía común e intercambiabile que puede ser usada en cualquiera de las reacciones bioquímicas del organismo; se impide la liberación de cantidades grandes de energía que provocarían deterioro en las células del organismo; además, se asegura la utilización y transformación de la energía de manera más eficiente. Con lo anterior el desperdicio de energía se reduce enormemente.

En vista de que los vegetales verdes son los productores de alimento, existe una necesidad mayor de vida vegetal que la de animal, ya que los animales son los consumidores, a -- los que podemos dividir en herbívoros y carnívoros, siendo -- mayor la necesidad de los primeros, ya que los animales sola mente asimilan el 10% del alimento que ingieren y el resto -- lo utilizan en la producción de energía necesaria para reali zar su metabolismo. Es decir, en cada paso de la cadena ali- menticia, desde los vegetales a los animales herbívoros y a los carnívoros, existe una reducción de la totalidad de la -- biomasa posible en cada eslabón.

Cuánto más alejado se encuentre de la base de la cadena- alimenticia y cuánto más especializada o restringida sea la- dieta del animal, será menor el total de biomasa producida.- Por lo tanto, la demanda de alimentos resultantes del incre- mento de una especie, por ejemplo, la población humana, pue- de traer un déficit que pone en peligro a toda la cadena ali menticia (ver figura No. III.6.).

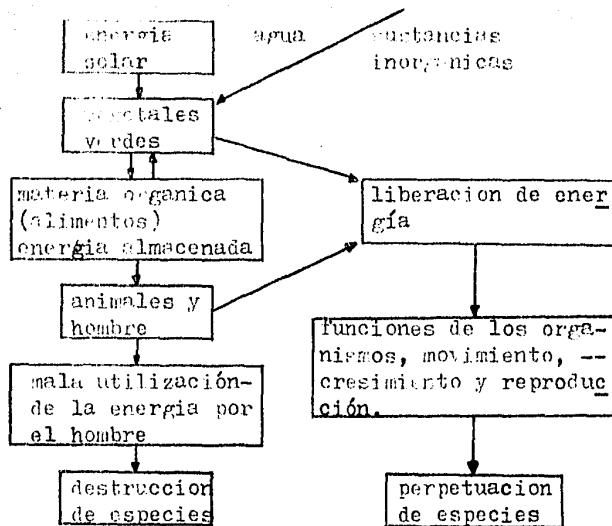


FIGURA III.6.

Los alimentos son los portadores de la energía (que necesitan todos los sistemas biológicos y tienen su origen en el sol), la cual llega a la tierra contenida en radiaciones solares. En la tierra es absorbida por los sistemas biológicos, -- fundamentalmente por la clorofila de los vegetales verdes, y es almacenada al sintetizar moléculas de carbohidratos.

En la tierra, las plantas son los organismos más abundantes y destacados. Los encontramos formando bosques y selvas, -- siendo la base de los ecosistemas (todo sistema integrado de organismos junto con los factores ambientales con los que interactúan), construyendo su propio alimento a partir del CO₂ --

del aire y de los minerales disueltos en la tierra, por lo ---cual pueden vivir como organismos sésiles, con dos superficies de fijación: la fotosintética, representada principalmente por las hojas, con las que captan la energía solar y el CO₂; y la-absorción, representada por las raíces y los pelos radicales,-con los que toman el agua y las sales minerales. La distribu--ción y abundancia de estos vegetales está influida por la canti--dad de luz y por el agua y sales minerales que existen en el suelo (ver figura No. III.').).

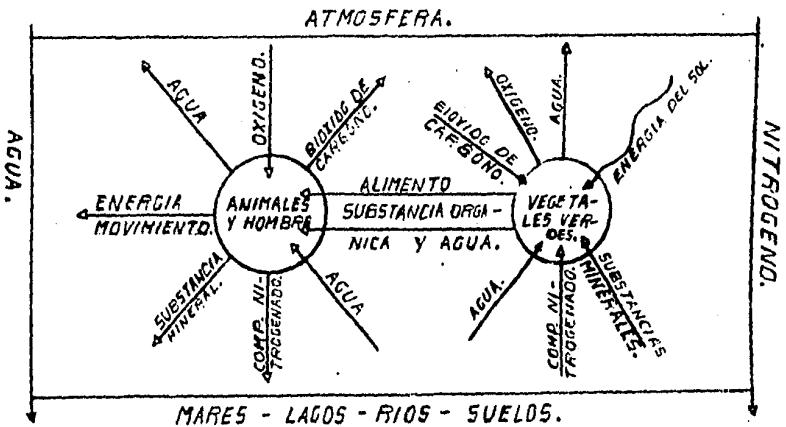


FIGURA NO. III.').-

III.d.1.- CICLO ENERGETICO EN EL MAR.

En el mar, cuando lo observamos, no vemos los vegetales -- verdes, a excepción de algas, hiervas marinas y manglares que se encuentran en áreas restringidas, como las costas de continentes o islas, o en algunas áreas en donde por excepción abundan, como es el caso del mar de los sargazos. Sin embargo, la cantidad de estas plantas no nos explica la gran producción de alimentos que los océanos presentan.

De la productividad de los océanos son responsables unos -- pequeños, pero abundantes vegetales verdes unicelulares y microscópicos que reciben el nombre de "fitoplancton" y que forman parte del plancton, es decir de las comunidades vegetales y animales microscópicos que flotan a la deriva o se transportan principalmente por los movimientos del agua, más que por su propia actividad natatoria.

En este ambiente acuático se aprecia con mayor facilidad -- la productividad orgánica primaria, la cual depende de la abundancia de fitoplancton, que es la puerta de entrada de la energía solar al ecosistema y la base de su mantenimiento. Por lo tanto, la cantidad de energía radiante procedente del sol es -- uno de los factores, del medio que junto con las características físico-químicas del agua, fundamentalmente el contenido de ciertas sales nutrientes, la cantidad de CO2 disponible y la -- construcción del fondo, influyen sobre esta productividad pri-

maria.

La mayor abundancia de fitoplancton la encontramos en los cien metros superiores de la superficie de todos los océanos, por lo que podemos considerar este fitoplancton representa una masa mayor de vida vegetal que la que encontramos en la superficie de la tierra.

Como consecuencia de la necesidad de energía luminosa para la fotosíntesis, la vida vegetal en los océanos está limitada a las capas iluminadas del agua "zona eufótica", cada especie vegetal la encontramos a una cierta profundidad en la cual la fotosíntesis se realiza a igual velocidad que el metabolismo de las moléculas orgánicas de su cuerpo. Es decir, la fase de producción es igual a la de gasto energético. A esto se llama "nivel de compensación". Por encima de él las algas producen una mayor cantidad de energía y la introducen al ecosistema del que forman parte.

La profundidad para cada especie varía de acuerdo a la turbidez del agua, a la cantidad y ángulo de incidencia de la luz y a los otros factores que hemos mencionado para la fotosíntesis, así como los que afectan al metabolismo propio de los organismos; por ello el nivel de compensación es específico y, si por algo, este baja, el balance se hace negativo y los vegetales verdes al dejar de producir energía se transforman en autoconsumidores, al gastar sus reservas energéticas, -

y posteriormente mueren.

Otro factor que limita la producción del fitoplancton es la concentración de elementos nutritivos ("nutrientes"). Por ejemplo el fósforo que se encuentra en forma de fosfatos y el nitrógeno que se encuentra en una relación (N/P) 15:1 con el fósforo. La presencia de determinadas especies de vegetales verdes en las capas oceánicas está ligada a esta relación N/P, la cual tiene influencia también en su abundancia y, por lo tanto en la producción de alimentos.

La productividad de alimentos de los vegetales verdes en los mares es aprovechada por los organismos animales a los que se ha llamado "consumidores" y que constituyen los siguientes eslabones de la cadena alimenticia, en donde se efectúa la transferencia de energía, desde que la planta verde "productora" es consumida por un herbívoro y éste a su vez por un carnívoro.

Los primeros consumidores los encontramos formando parte del "zooplancton", formado por representantes de todos los grupos de la escala animal desde los microscópicos protozoarios, hasta los vertebrados, ya sea en forma de larvas o en estados adultos. A los animales que toda su existencia presentan vida planctónica se les denomina "holoplancton", y a los que forman parte del plancton durante un período más o menos corto de su vida "meroplancton", ya que posteriormente forma---

rán parte del fondo (bentos) o de los organismos nadadores --- (nectos).

Dentro del zooplancton encontramos a un grupo de animales pluricelulares microscópicos, los "copépodos", que representan una de las más importantes por ser los encargados de convertir en tejido animal la mayoría de los alimentos producidos por el fitoplancton. Estos pequeños organismos representan el segundo nivel trófico; son herbívoros, microscópicos y se alimentan --- por filtración. Esto hace a los copépodos los animales más numerosos del mar, ya que son los que se alimentan directamente del fitoplancton marino.

Como siguiente eslabón de la cadena alimenticia, vamos a --- encontrar grupos de animales, "consumidores secundarios", los cuales presentan una alimentación carnívora (es decir, se alimentan del zooplancton) y a otros que comen tanto vegetales como animales, es decir son "omnívoros".

Dentro de estos grupos, podemos destacar algunos que son --- integrantes de cadenas alimenticias importantes, desde el punto de vista de la economía para el hombre, como por ejemplo --- larvas de gusanos, moluscos, crustáceos y pequeños peces.

La mayoría del zooplancton no flota pasivamente en el --- agua, sino que presenta notables migraciones que consumen gran cantidad de energía. Esta energía, así como la que necesitan ---

en su actividad metabólica, procede de la materia orgánica que elaboró el fitoplancton, así como de alguna que pueden encontrarse formando soluciones verdaderas o coloides en el agua de mar; pero esta tiene poca importancia como alimento para el zooplancton.

Los siguientes niveles tróficos están representados por adultos de invertebrados, como algunos moluscos y crustáceos; de vertebrados tales como peces, que pueden tomar directamente el zooplancton, como el arenque, la caballa y el sábalo, o bien de manera indirecta como en el caso de los lenguados, etc., también encontramos representantes de reptiles y mamíferos.

En la alimentación directa se consume un número de organismos del zooplancton. Por ejemplo, un arenque en doce horas consume unos 70,000 individuos de zooplancton, ciertos tipos de tiburones y ballenas se alimentan por filtración de grandes volúmenes de agua rica en zooplancton; nadan con las fauces abiertas durante largo tiempo y llegan a filtrar unas 200 000 toneladas de agua por hora. En algunos tiburones de ocho metros de longitud, se les ha encontrado en el estómago alrededor de 40 litros de una masa semisólida de zooplancton.

La especie humana resulta un "consumidor" aprovechado dentro de esta cadena alimenticia, ya que en la actualidad obtiene energía a través de alimentos marinos, capturando 70×10^6

toneladas al año de diferentes especies. Sin embargo, con el incremento de la población humana y la industrialización de los países subdesarrollados, la demanda de alimentos es cada vez mayor, sobre todo si tomamos en cuenta la mala distribución de la riqueza, ya que en casi la mitad del mundo (los países dependientes) hay carencia de proteínas. Por lo anterior, la productividad orgánica marina deberá jugar un papel creciente en la producción de proteínas. Se calcula que para fines del presente siglo se estará capturando 200×10^6 toneladas de productos marinos.

El aprovechamiento de esta energía de los mares, dentro de la alimentación humana, implicará algunas de las investigaciones más importantes de los próximos años. Tenemos que saber usar de la manera más adecuada los recursos vivos del mar, por ejemplo, la anchoveta, que en la actualidad, por razones de orden económico, se utiliza en forma de harina para la engorda de cerdos y pollos de granja. Ello introduce un nivel trófico adicional en la cadena alimenticia humana, lo que provoca un desperdicio grande de energía, y que solo incorporará la diezmilésima parte de la proteína original. La anchoveta tendrá que ser aprovechada directamente, olvidándose de este factor económico que solo ocasiona la pérdida de energía cuando el hombre quiere sacar ventaja de los mismos de su especie, sin recordar que es una especie biológica privilegiada que tiene la obligación de utilizar razonablemente las fuentes de energía.

FITOPLANCTON

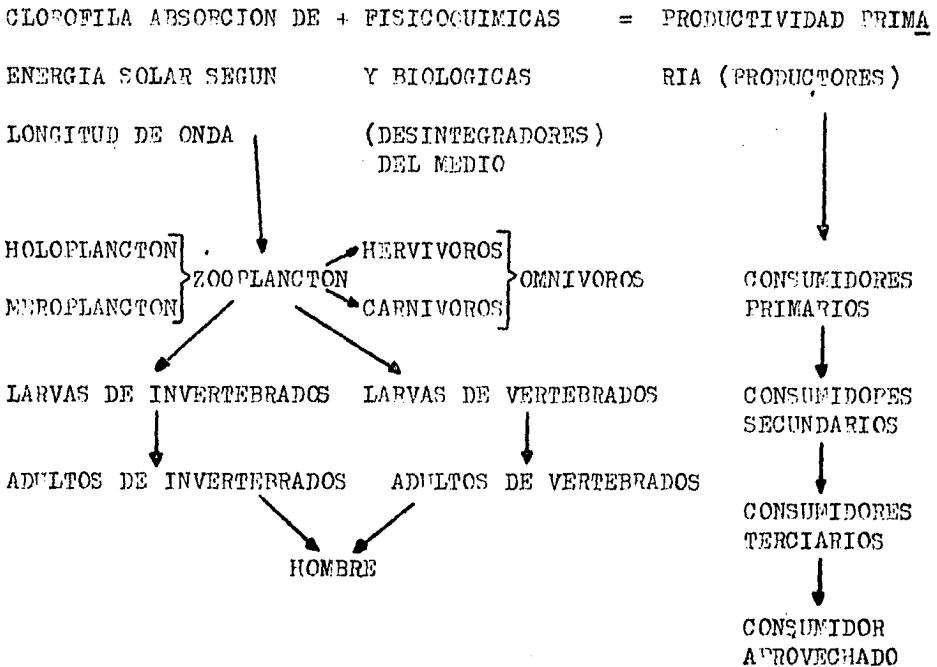


FIGURA III.8.-

III.d.2.- LA CAÑA DE AZUCAR COMO FUENTE DE ENERGIA.

Entre los productos agrícolas, la caña de azúcar es uno de los que mayor capacidad poseen para fijar la energía solar por área cultivada. Esta planta entrega en forma de biomasa, después de su cosecha, de 5.4 a 2.7 la energía empleada en su producción dependiendo del grado de mecanización de su cosecha.

Esa energía suministrada en forma de biomasa está en lo -- fundamental destinada a la alimentación humana, animal y a su uso como combustible. Una tonelada de caña de azúcar produce -- como azúcar 43.12×10^4 Kcal, como mieles 9.18×10^4 Kcal, como bagazo 45.6×10^4 Kcal y como paja y cogollo 149×10^4 Kcal.

Las dos primeras, fundamentalmente son destinadas a la ali- mentación humana y animal. Las mieles también son fermentadas para producir alcohol para bebidas, para uso doméstico o como combustible industrial. En los últimos tiempos, y a raíz de la crisis energética, esta última alternativa ha ganado interés. -- En ese sentido, se sabe que Brasil utiliza al alcohol de caña de azúcar, mezclado con gasolina en un porcentaje de un 20% pa ra equipos automotores. También se sabe que el desarrollo de -- nuevos motores permitirá un consumo de combustibles basado en un 100% de alcohol.

Tradicionalmente el bagazo ha sido la principal fuente de energía de la producción de azúcar. Por su calor de combustión 5.8 tm de bagazo (50% de humedad) equivale aproximadamente a -- 1 tm de petróleo.

La mayoría de los hornos instalados actualmente en la in-- dustria azucarera queman el bagazo con una eficiencia que no -- pasa del 65%, sin embargo, en la actualidad existen calderas -- de vapor cuya eficiencia alcanza niveles del 82%.

Modificaciones en los diseños de las fábricas de azúcar y una disciplina adecuada para el ahorro de energía en el proceso de producción de azúcar, permite disponer de bagazo sobrante para dedicarlo a la producción de energía eléctrica, ya sea en las plantas generadoras de la misma central, o como combustible en otras instalaciones.

La paja y el cogollo se destinan en la actualidad a la alimentación animal y como protección del terreno, sin embargo, se espera que en un futuro juegue un papel significativo como combustible. A los 4 días de cortado, la humedad del cogollo asciende a un 20-25%, lo cual determina que su calor de combustión sea más alto que el del bagazo.

En la mayoría de las fábricas de azúcar de caña en operación hoy en día los consumos de energía ascienden a 4 280 Kcal/kg, de azúcar crudo, que corresponde aproximadamente a una operación en la cual se consume como combustible justamente el bagazo producido; en realidad, el tiempo perdido y la dinámica de la operación hacen que esta cifra pueda incrementarse hasta en un 20%.

III.d.2.1.- CICLO ENERGÉTICO EN LA FABRICACION DE AZUCAR.

En la figura No. III.9., aparece un ciclo energético muy común en la industria de la caña de azúcar y corresponde a la concepción de consumir todo el bagazo que se produce en el pro

La distribución del consumo de energía en un ciclo como el anterior es el siguiente:

	Kcal/kg DE AZUCAR CRUDO	%
Fuerza motriz	200-300	10
Calefacción y evaporación	1 200-1 400	50
Cristalización	700-850	30
Pérdidas y otros	<u>200-300</u>	10
	2 300-2 850	

Es evidente el peso que tiene el área de evaporación y - cristalización en el consumo total de la fábrica; estas ---- áreas representan un 80% en un ciclo energético como el mos- trado en la figura III.9. Sin embargo, con modificaciones en el diseño del ciclo en el cual se lleve a cabo un mejor uso- del vapor producido en la evaporación del jugo, es posible - disminuir el consumo de energía a niveles de 1,200 Kcal/kg - de azúcar en estas áreas lo cual significa bajar el consumo- total a niveles de 1 600 Kcal/kg de azúcar, ver Figura ----- III.10.

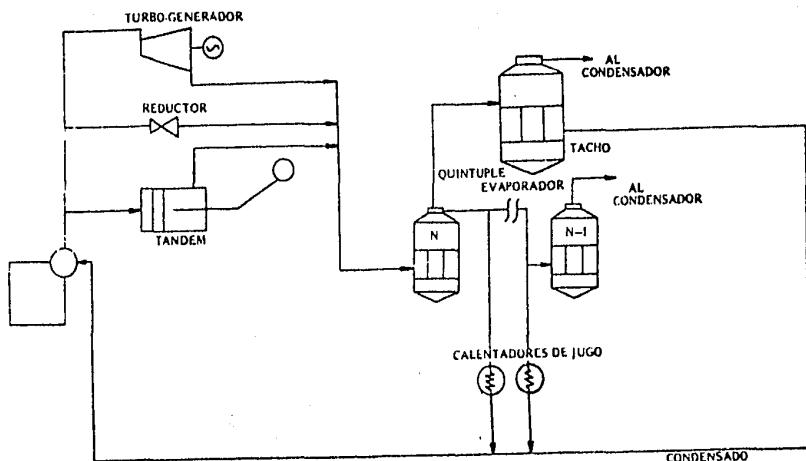


FIGURA III.10.- Ciclo de vapor. Consumo de energía = 2 000 Kcal/kg de azúcar.

Con estos consumos de energía en fábrica, complementados con calderas de vapor de un 80% de eficiencia, significan consumos de combustibles del orden de los 2 000 Kcal/kg de azúcar que, traducido a bagazo, representa un sobrante de éste de un 50% aproximadamente, el cual puede ser dedicado a la producción de energía eléctrica en la misma fábrica, con diseño apropiado de turbogeneradores y niveles altos de presión de vapor o como materia prima en la industria de derivados.

III.e.- PODER DEL AIRE.

III.e.1.- GENERADORES ACCIONADOS POR AIRE.

El generador accionado por aire extrae energía del aire y la convierte en electricidad. El sistema para transformar la energía cinética en corriente eléctrica consta de lo siguiente (ver Figura No. III.11.-):

- a.- Una torre para soportar el generador.
- b.- Dispositivos que regulan el voltaje del generador.
- c.- Sistema de propelas y eje.
- d.- Paleta de la cola.
- e.- Un sistema de almacenamiento de energía para usarla en los días sin aire.
- f.- Un alternador que transforma la corriente directa (C.D) en corriente alterna (C.A) en caso de así requerirse.
- g.- Un sistema de almacenamiento de calor para caso de --- exceso de potencia.
- h.- Un sistema opcional alterno, tal como un generador de gas o disel para largos periodos de calma.

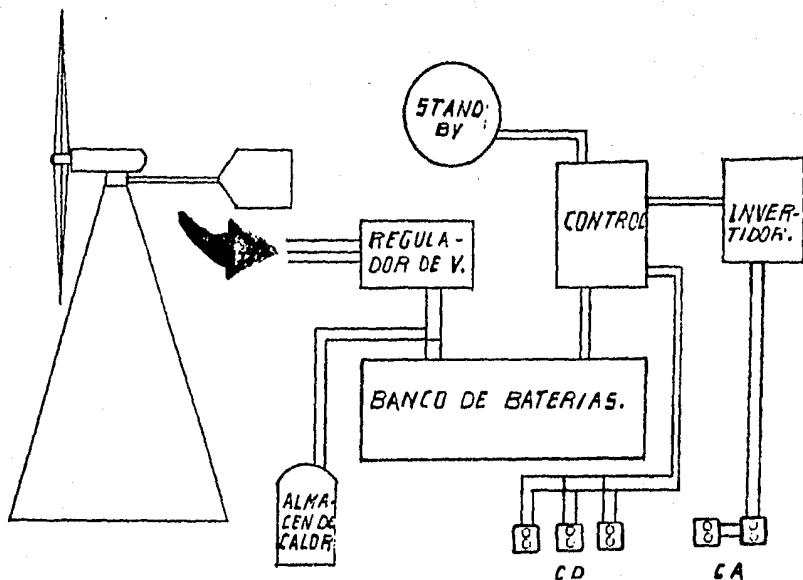


FIGURA III.11.- Sistema para transformar la energía cinética del aire en electricidad.

La potencia obtenida del aire es proporcional al cubo de la velocidad del mismo. En otras palabras, si la velocidad del aire se duplica, se obtendrán ocho veces más de energía (ley del cubo). Otro principio fundamental que regula el diseño de los generadores de aire, es que, es teóricamente imposible ---

transformar más del 59.20% de la cinética contenida en el ----
aire. Si esta eficiencia fuera del 75% y la eficiencia del ge-
nerador fuera de 75%, el 33.34% de la energía cinética podría-
ser convertida en energía eléctrica. El otro factor importante
de observar es que la cantidad de energía obtenida por la plan-
ta depende de la cantidad de aire interceptado, esto es, el --
área cubierta por las aspas. En un buen diseño de una planta -
de aire, independientemente del número de aspas que se tengan,
la columna horizontal total obtenida, será un tercio de la ve-
locidad del aire. Estos factores y la naturaleza de las co----
rrientes de aire, generalmente restringen el diseño a las velo-
cidades más comunes; de 3 a 10 m/seg (6.7 a 22.3 millas/hra.).
En la Figura III.12., y en la tabla III.5., se dan datos sobre
la densidad de potencia teórica del aire.

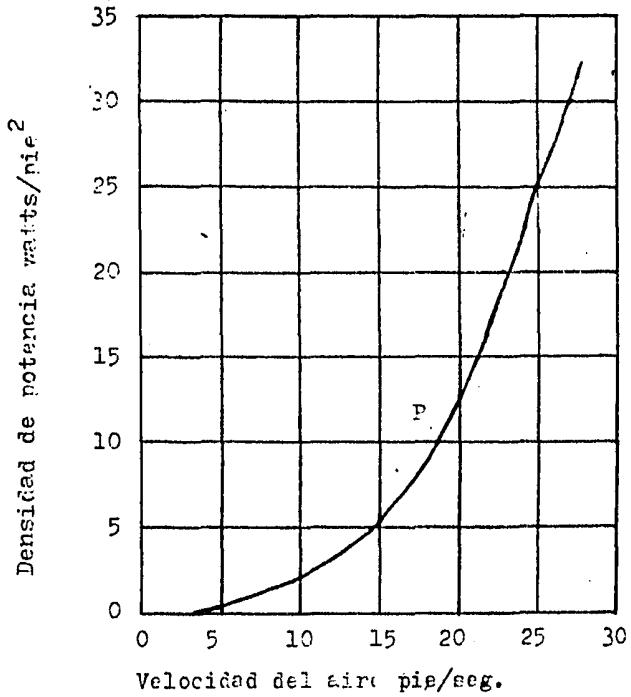


FIGURA III.12.- Densidad de potencia teórica del aire.

FORMULA : $P = (K . A . V^3) . (0.5926)$

UNIDAD DE POTENCIA-UNIDAD DE AREA-UNIDAD DE VELOCIDAD-VALOR DE K

P	A	V	
KILOWATTS	PIE CUADRADO	MILLAS/HRS.	0.0000053
KILOWATTS	PIE CUADRADO	NUDOS	0.0000081
CABALLOS DE POTENCIA	PIE CUADRADO	MILLAS/HRS.	0.0000071
WATTS	PIE CUADRADO	PIES/SEG.	0.00168
KILOWATTS	METRO CUADRADO	METRO/SEG.	0.00064
KILOWATTS	METRO CUADRADO	KILOMETRO/HRS.	0.0000137

TABLA III.5.- Fórmula del aire.

ASUMIENDO QUE: $P=(K.A.V^3) \cdot (0.5926) \cdot (0.70) \cdot (0.70)$

DIAMETRO DE LA PROPELA	VELOCIDAD DEL AIRE EN MILLAS/HRS.					
	5	10	15	20	25	30
2	06	5	16	38	73	130
4	2	19	64	150	300	520
6	5	42	140	340	660	1150
8	10	75	260	610	1180	2020
10	15	120	400	950	1840	3180
12	21	170	540	1360	2660	4600
14	29	230	735	1850	3620	6250
16	40	300	1040	2440	4740	8150
18	51	375	1320	3060	6000	10350
20	60	475	1600	3600	7360	12760
22	73	580	1940	4350	8900	15420
24	86	685	2300	5180	10650	18380

TABLA III.6.- Potencia obtenida en watts de una máquina de aire.

En la tabla III.6., se muestra una apreciación de los --- principios involucrados en el diseño de plantas de aire. Un - impulsor de 6 pies de diámetro que opera al 70% de eficiencia en un aire de 20 millas/hr., generará 340 watts. Si la velocidad del aire se dobla, obtendremos ocho veces más potencia. - Notar también la relación entre el diámetro del impulsor y lo obtenido, manteniendo en mente los resultados con la propela- de 6 pies; pasemos a una de 12 pies, con aire de 10 millas/hr lograremos producir 170 watts, y a 20 millas/hr., 1360 watts. Por lo que podemos decir que "la potencia obtenida es proporcional al cuadrado del diámetro de la propela".

En México, se fabrican ya agrogeneradores para producir - electricidad: El sistema colibrí A X P significa un avance -- tecnológico importante para producir de manera eficiente 6000 watts de energía.

En el kilómetro 21 de la carretera vieja a Cuernavaca, en la unidad ecológica de el Oyamel, se ha instalado el primer - aerogenerador que proporciona electricidad a casas para satis- facer todos los servicios convencionales (televisión, licuado- ra, aspiradora, luz, etc.).

III.f.- CONVERSION DE ENERGIA TERMICA POR LOS OCEANOS.

Una planta de poder para la conversión de la energía térmica por los océanos, emplea la diferencia de temperaturas (ΔT) entre el agua caliente de la superficie y el agua fría de las profundidades. Un sistema cerrado del ciclo de Rankine concebido por d'Arsonval en 1881, un fluido en operación (como el amoníaco) se evapora por el intercambio de calor con agua caliente, opera un turbogenerador, y se condensa por intercambio de calor con agua fría proveniente de profundidades de 700 a 1 200 mts. (Figura No. III.13.-).

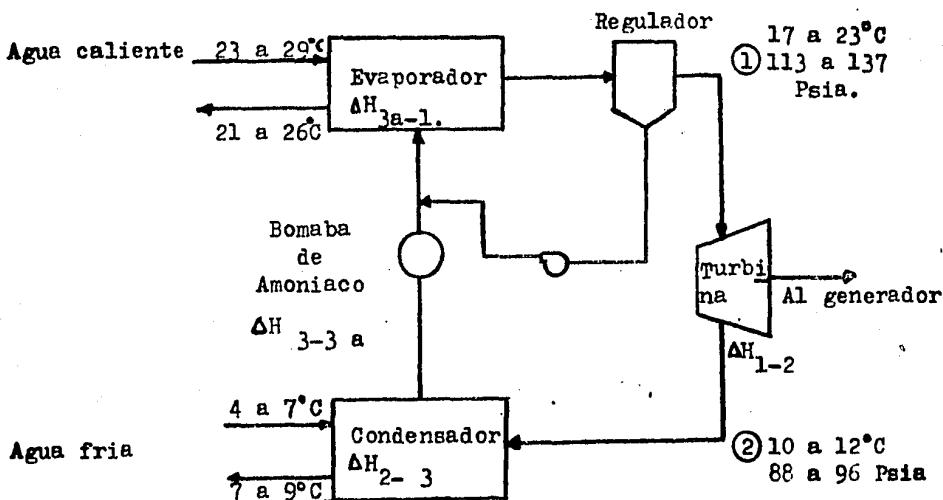


FIGURA III.13.- Diagrama simplificado de un sistema cerrado del ciclo de Rankine.

III.f.1.- LOS OCEANOS FUENTES TERMICAS.

Los océanos cubren el 71% de la superficie de la tierra -- por lo que reciben el mayor flujo de la energía que incide sobre ella. En los océanos tropicales y subtropicales el ΔT disponible es suficiente para la operación de un ciclo de Rankine cerrado durante las 24 hrs., del día.

En la tabla III.7., se presenta la variación de ΔT en el año en diferentes puntos de la tierra.

TABLA III.7.- VALORES MENSUALES DE ΔT Y POTENCIA P_{net} . (% DEL VALOR DEL DISEÑO).

MES	Miami		Tampa		ATL-1		PAC-2		Pto. Rico		Hawaii	
	ΔT	Pn	ΔT	Pn	ΔT	Pn	ΔT	Pn	ΔT	Pn	ΔT	Pn
	$^{\circ}C$	%	$^{\circ}C$	%	$^{\circ}C$	%	$^{\circ}C$	%	$^{\circ}C$	%	$^{\circ}C$	%
ENE.	19.1	78	19.7	71	23.5	96	22.6	86	21.3	88	20.6	90
FEB.	19.5	82	20.6	80	24.3	104	22.9	89	20.9	84	20.1	85
MAR.	19.7	84	20.6	80	25.2	115	23.6	97	20.9	84	20.0	84
ABR.	19.8	86	20.9	83	25.2	115	25.1	113	21.2	87	20.6	90
MAY.	20.4	93	23.0	107	24.2	103	25.1	113	22.2	99	21.4	99
JUN.	21.3	104	24.3	123	24.4	105	24.5	108	22.6	104	21.3	99
JUL.	22.8	123	24.6	127	23.6	97	21.1	102	23.0	108	22.4	112
AGO.	22.8	123	25.0	132	24.3	104	23.9	100	23.0	108	22.7	116
SEP.	23.0	126	24.2	122	22.4	84	23.8	99	23.6	116	22.7	116
OCT.	22.3	117	23.0	107	23.3	94	23.6	97	23.9	119	22.5	114
NOV.	20.8	98	21.8	93	22.6	86	24.1	102	23.3	112	21.5	101
DIC.	20.0	88	21.1	85	23.3	94	23.2	92	22.3	100	20.7	92
PROM.	21.0	100.2	22.4	100.8	23.9	99.8	22.3	99.8	22.3	100.7	21.4	99.8
P prom net real		70.6		85.0		100		100		83.7		74.2

T Entre la superficie y 900 m de profundidad para ATL-1 y PAL-2, 1 000 m. para Tampa Hawaii y Puerto Rico; 700 para Miami.

Datos para ATL-1 (al este de Recife Brazil) y (PAL-2 surueste de Acapulco Mex.)

III.f.2.- SELECCION DEL FLUIDO DEL TRABAJO.

La mayoría de los investigadores han seleccionado al amoniac como fluido de trabajo para plantas de ciclo cerrado. En la tabla III.8., se muestra un resumen de las características del amoniac, del propano y de hidrocarburos halogenados R-12/31. Las características termodinámicas del amoniac resultan mejores en comparación con las del propano. Los hidrocarburos halogenados requieren de turbinas y cambiadores de calor más grandes que las requeridas para el propano y además traería más serios problemas de contaminación. Los materiales y técnicas para el uso del amoniac se han desarrollado en las industrias de refrigeración y fertilizantes.

TABLA III.8.- COMPARACION DE LOS FLUIDOS DE TRABAJO.

	AMONIACO		PROPANO		R-12/31	
	liq.	vap.	liq.	vap.	liq.	vap.
CONDUCTIVIDAD TERMICA 10-21 °C, W/m.-°C	1.65	0.085	0.40	0.66	0.28	0.054
CAPACIDAD CALORIFICA 10-21 °C, Kj/kg.-°C	4.68	0.700	2.59	1.00	1.00	0.410
CALOR DE EVAPORACION 21 °C, Kj/kg.	1185		325		163	
COMPATIBILIDAD DE MATERIALES	AMONIACO HUMEDO NO ES COMPATIBLE CON COBRE.		EXELENTE ECEPTO CON ALGUNOS PLASTICOS		EXCELENTE	
TOXICIDAD	SEVERAS PERO FACIL DE DETECTAR		LEVE PERO DIFICIL - DE DETECTAR		LEVE PERO DIFICIL DE DETECTAR	
INFLAMABILIDAD	MODERADA		EXPLOSIVO		NO INFLAMABLE	
SOLUBILIDAD EN AGUA	ALTA		BAJA		MUY BAJA HIDROLISIS	
EFFECTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE	DESPRECIABLE		EFFECTOS INDESEABLES LOCALES		PROBLEMAS POTENCIALMENTE SEVEROS	
CONTAMINACION DEL FLUIDO DE TRABAJO	MODERADO					
DISPONIBILIDAD	BUENA		BUENA		NO DISPONIBLE FACILMENTE	

(133)

CAPITULO IV.

IV.- ASPECTOS SOCIO ECONOMICOS.

IV.a.- IMPORTANCIA DE LA ENERGIA EN DESARROLLO DE LOS PUEBLOS.

Es conocido por todos nosotros que el grado de desarrollo de los pueblos, está en proporción directa al consumo de energía. La abundancia de recursos energéticos y su aprovechamiento en forma racionalizada permitirá a los pueblos un desarrollo sostenido.

En el transcurso de éste trabajo bibliográfico, hemos podido apreciar el potencial de energía solar que recibe el territorio nacional, y que puede ser empleado como pilar importante en nuestro desarrollo. México posee grandes litorales, grandes extensiones de territorio áridos y semiáridos que no son otra cosa; sino grandes fuentes de energía que hasta la actualidad no se han sabido explotar.

IV.b.- IMPORTANCIA DE LA PRESERVACION DEL ECO-SISTEMA

Sabemos perfectamente que el petróleo, el carbón, y los materiales radiactivos que se emplean como combustibles actualmente, son altamente contaminantes y que alteran drásticamente nuestro ecosistema; otra de las grandes ventajas de la-

energía solar aparte de ser tan abundante es que no contamina, preservando así nuestro ambiente natural.

En la actualidad debemos estar concientes de que nuestro desarrollo será realmente benéfico, en la medida que no se vea afectada la vida en el planeta.

IV.b.1.- CONTAMINACION DEL AGUA

El agua que es el origen de la vida, ha sufrido un alto grado de contaminación por el uso inmoderado de combustibles; como el carbón, el petróleo, y otras sustancias como los detergentes, aceites, grasas, reactivos químicos de desechos de las industrias, insecticidas, fungicidas, etc. Por lo que es preciso que reflexionemos sobre el camino que estamos siguiendo. El uso de la energía solar en una forma adecuada nos puede ayudar a resolver este gran problema.

Si en lugar de desecharse las aguas contaminadas por las industrias y drenajes públicos a ríos, lagunas, lagos y mares se les sometiera a un proceso de evaporación como el propuesto en la fig. IV.1., podríamos combatir en gran medida la contaminación.

(136)

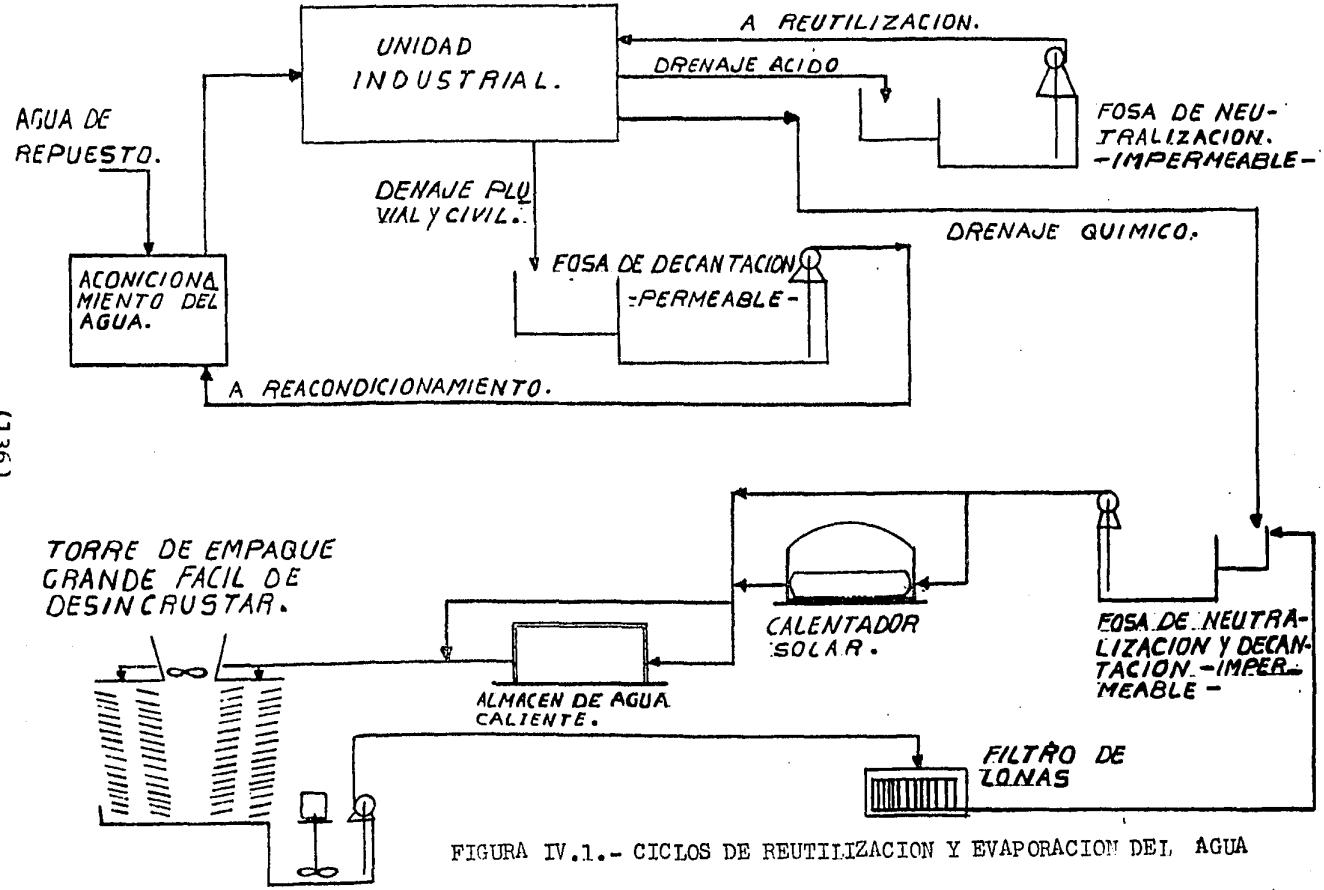


FIGURA IV.1.- CICLOS DE REUTILIZACION Y EVAPORACION DEL AGUA INDUSTRIAL.

IV.b.2.- CONTAMINACION DE LA ATMOSFERA

Sabemos que el uso de la energía solar evita la emisión de gases contaminantes a la atmósfera como lo son los productos de combustión de los combustibles fósiles, lo que traería un alto beneficio debido a los trastornos de salud que esos gases producen.

IV.c.- TODOS SALDREMOS BENEFICIADOS CON EL USO DE LA ENERGIA SOLAR.

Debemos reflexionar en los beneficios socio-económicos que nos representaría el uso de la energía solar, a continuación podemos mencionar los siguientes:

- 1.- Ser una fuente prácticamente inagotable de energía.
- 2.- Ser totalmente gratis.
- 3.- Preservar el ambiente natural ya que no contamina.
- 4.- La posibilidad de desarrollar nuevas tecnologías propias que nos permitan evitar la dependencia tecnológica del exterior.
- 5.- Utilizando la energía solar en calefacción y refrigeración de casas se pueden reforzar los programas de vivienda.

das dignas.

6.- Los programas de salud se verán beneficiados y reforzados.

7.- Al estar al alcance de todos y prácticamente en cualquier parte del territorio nacional, favorecerá el desarrollo de los lugares que por ser inaccesibles han quedado al margen.

8.- La conservación de alimentos es otro beneficio económico y social del uso de la energía solar.

CAPITULO V.

V.- CONCLUSIONES.

En base a lo visto en el transcurso de este estudio biliográfico, podemos concluir lo siguiente:

- 1.- Es este el momento de reflexionar sobre nuestro futuro energético y nuestros sistemas de vida.
- 2.- La energía solar por ser prácticamente inagotable, es la alternativa energética con mayor futuro a largo plazo.
- 3.- Es la energía solar un campo abierto a la investigación al cual nos podemos introducir sin tener que hacer grandes inversiones.
- 4.- Con un desarrollo tecnológico adecuado, la explotación de la energía solar será competitiva en un futuro no lejano.
- 5.- El mantenimiento requerido en las instalaciones para el aprovechamiento de la energía solar, es mínimo.
- 6.- México es un país que posee un gran potencial de captación de energía solar debido a su localización y a sus

características geográficas.

7.- México puede y debe basar en el empleo de la energía solar, gran parte de su desarrollo futuro, preservando así las fuentes de energía no renovables.

8.- Debido a sus características, la energía solar nos permite preservar nuestro ecosistema, dando como resultado final, grandes beneficios socio económicos.

CAPITULO VI.

VI.- BIBLIOGRAFIA.

Marcelo Alonso y Edward J. Finn., "Física, Volúmenes I y -
II.

Fondo Educativo Interamericano, S. A., 1970.

Rafael Almazán y Serafín López., "Radiación Solar Global -
En La República Mexicana Mediante Datos De Insolación", In
forme No. 357.

Instituto de Ingeniería UNAM, Octubre 1976.

Cartillas Nos. 1 a la 13, "Energía Solar",

Boletín de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras-
Públicas.

Joseph J. Loferski (Brown University)., "Photovoltaics I:-
Solar-Cell Arrays", Advanced Technology, IEEE Spectrum ----
February 1980.

Martín Wolf (University Of Pennsylvania)., "Photovoltaics-
II: Flat Panels", Advanced Technology, IEEE Spectrum -----
February 1980.

Charles E. Backus (Arizona State University)., "Photovol-
taics III: Concentrators", Advanced Technology, IEEE -----

Spectrum February 1980.

Joseph J. Loferski (Brown University)., "Photovoltaics IV: Advanced Materials", Advanced Technology, IEEE Spectrum -- February 1980.

D. E. Carlson (Rca. Laboratories)., "Photovoltaics V: Amorphous Silicon Cells", Advanced Technology, IEEE Spectrum -- February 1980.

John I. Yellott. "Passive Solar Progress", Heating/Piping/Air Conditioning, January 1980.

John Strong, Ph. D. "Procedures in Experimental Physics", - Prentice-Hall, Inc., New York.

Dr. Ivan Chambouleyron, "Puentes No Convencionales De Energía En América Latina: Realidad y Perspectiva", Informe, - Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados IPN., Marzo 1979.

Juan José Ambríz García y Fernando Rodolfo Gutiérrez González, "Diseño y Construcción de un Enfriador Nocturno -- el Fenómeno de Radiación Terrestre", Tesis Profesional, - Facultad de Química, UNAM., México, D. F., 1976.

Farrington Daniels., "Uso Directo De La Energia Solar", -- primera edición en español, H. Blume Ediciones, Madrid, España 1980.

Thierry Cabirol, Albert Pelisson y Daniel Roux., "El Calentador Solar de Agua", primera edición en español, Compañía Editorial Continental, S. A., Barcelona, España 1979.

Frank Kreith y Jan F. Kreider., "Principles Of Solar Engineering", Hemisphere Publishing Corporation, Mc Graw Hill, Washington, D.C., 1978.

Jan F. Kreider y Frank Kreith., "Solar Heating and Cooling", Hemisphere Publishing Corporation, Mc Graw Hill, - Washington, D.C., 1975.

Jan F. Kreider y Frank Kreith., "Solar Energy Handbook", - Mc Graw Hill, 1981.

Juan Luis Cifuentes., "Ciclos Energéticos En El Mar", Energía del Fuego al Atomo, Año 1 Número 1, Septiembre.

Paulino López Guzmán, Carlos de Armas Casanova y Gilberto-Llerena Montenegro., "La Caña de Azúcar en el Marco de la Crisis Energética", Energía del Fuego al Atomo, Año 1 Número 6, Marzo 1979.

Iván Belchev., "Fuentes Energéticas Blandas", Energía del-Fuego al Atomo, Año 1 Núm. 10, Agosto 1979.

Richard Merrill And Thomas Gage In Cooperation With Portola Institute, Inc., "Energy Primer Solar, Water, Wind, And Biofuels", Dell Publishing Co., Inc., 1 Dag Hammarskjold - Plaza New York 10017, 1978.

Donald Q. Kern., "Procesos De Transferencia de Calor", primera edición en español, novena impresión, Compañía Editorial Continental, S. A., México, D. F.

"Programa de Energía"., Información Científica y Tecnológica, Consejo de Ciencia y Tecnología, Vol. 3, Núm. 38, --lo., de Febrero de 1981.

"Primera Central Electrosolar Francesa"., Información Científica y Tecnológica, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Vol. 4, Núm. 66, lo., de Abril de 1982.

"Generación Eléctrica Hidrosolar, Triunfo de la Tecnología Israelí"., Información Científica y Tecnológica, Consejo de Ciencia y Tecnología., Vol. 3, Núm. 43, 15 de Abril de 1981.

Engineering Feasibility And Economic Study For Dual-Purpose Electric Power-Water Desalting Plant For Israel., Prepared In Cooperation With Catalytic Construction Co., Philadelphia, 1966, 302 Págs.

Héctor Gómez Vázquez., "Un Aerogenerador En Marcha, El Colibrí Axp"., Información Científica y Tecnológica, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Vol. 5, Núm. 82, Julio de 1983.

Ramón Margalef, "Perspectives In Ecological Theory", University Of Chicago Press, 11030 S. Langley Avenue, Chicago, Illinois 60628, 1968.

S. W. Herman And S. W. Cannon., "Energy Futures=Industry - And The New Technologies"., The National Center For Community Action, 1711 Connecticut Ave., Washington, D. C. ---- 20009, 1976.

D. S. Halacy Jr., "The Coming Age Of Solar Energy"., Harper End Row, Keystone Industrial Park, Scranton, Pennsylvania 18512, 1973.

Donald Watson., "Designing And Building A Solar House"., - Garden Way Publishing, Charlotte, Vt 05445, 1977.