

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

ELEMENTOS DE DISEÑO DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO UTILIZANDO LA ENERGIA  
SOLAR INCIDENTE EN MEXICO.

TRABAJO MONOGRAFICO

NOMBRE DEL SUSTENTANTE: JORGE JOSE PEREZ RIVERA

CARRERA: INGERIERO QUIMICO

AÑO: 1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

## C O N T E N I D O

- I.- INTRODUCCION
- II.- DESCRIPCION DE LOS SUBSISTEMAS
- III.- ORIENTACION DE EL GENERADOR SOLAR
- IV.- MAPAS DE INSOLACION MENSUAL
- V.- DISEÑO DEL SISTEMA
- VI.- CONCLUSIONES
- VII.- BIBLIOGRAFIA

## I.- INTRODUCCION

Uno de los objetivos de este estudio, es el mostrar un método de diseño de un sistema fotovoltaico, visualizando con ello la posible operación, en un futuro cercano de los sistemas fotovoltaicos, en el medio rural sin electrificar de nuestro país.

La operación de sistemas fotovoltaicos en el medio rural nacional, podría ser de gran importancia, si consideramos que contamos, con casi 110 000 comunidades con menos de 500 habitantes, y otras 22 000 con una población entre 500 y 2000 personas, lo que nos da así una población rural estimada en 33 millones de compatriotas (o sea poco menos de la mitad de la población nacional), y de estas comunidades solo el 22 % están electrificadas, por lo que la operación de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad en este medio, podrían implicar desarrollos de beneficio social muy importantes.

El otro objetivo de este estudio, es el discutir la aplicación de los sistemas fotovoltaicos, enfocados a la operación de sistemas de iluminación artificial.

De todas las tecnologías solares, los sistemas fotovoltaicos, parecen ser los que poseen la máxima flexibilidad para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica de las zonas rurales de nuestro país. Se ha reconocido que los sistemas fotovoltaicos poseen muchas características favorables: no tienen partes móviles, no es necesario proporcionarles combustible (es gratis), no contaminan el medio ambiente, tienen una larga vida de operación y aunque su costo es caro, este deberá disminuir con el tiempo al existir una mayor industrialización de los mismos.

## II.- DESCRIPCION DE LOS SUBSISTEMAS

## 2.1 EL SUBSISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1.1 La célula solar. La conversión directa de la luz solar en energía eléctrica se consigue por medio de células solares, en un proceso llamado usualmente "efecto fotovoltaico". El termino fue adoptado para diferenciar el efecto fotovoltaico del efecto fotoconductor, siendo ambos efectos fotoelectricos que ocurren en todas las materias semiconductoras. Los semiconductores son sustancias que tienen resistencias entre 1 y 100 ohms/cm; entre ellos están el silicio y el germanio. En el efecto fotoconductor, los fotones de la luz incidente generan cargas electricas libres. Esto se produce por la fotoionización interna de los átomos o iones que constituyen el cristal del semiconductor. Las nuevas cargas móviles incrementan la conductividad eléctrica de la sustancia. Este efecto no genera energía. El efecto fotovoltaico, por el contrario, puede ocurrir sólo cuando existe una barrera potencial en un semiconductor no iluminado. Tal barrera se halla, por ejemplo, en la interfase entre dos superficies cuando se han introducido dos tipos diferentes de impurezas en concentraciones de menos del 1%.

Si este material está iluminado, las cargas eléctricas -- creadas por la luz mediante el efecto fotoconductor serán separadas por la barrera de cargas positivas de un lado y cargas negativas en el otro. Este es el efecto fotovoltaico que es un generador eléctrico a partir de los fotones de luz. Esta conducta responde al hecho de que los -- fotones de la luz solar transmiten su energía directamente a los electrones.

Hoy en día el silicio es el más importante material semiconductor en la fabricación de las células solares y -- por el momento, las células de silicio son únicas; no están disponibles comercialmente células de otros materiales semiconductores. Sin embargo se están empujando a investigar otros materiales, como el sulfuro de cadmio ---- (CdS) y el arseniuro de galio (GaAs).

Las células solares de silicio, son hechas de obleas de monocristales de silicio de alta pureza.

Una unión "p-n" en las células de silicio, se forma difundiendo un segundo elemento como fósforo o arsénico, en una oblea de silicio que contenga boro (semiconductor tipo "p"), formando una capa de 0.0025 cm de espesor, dicha capa estará en la superficie iluminada de la célula (Fig. 1).

La unión "p-n" produce un campo eléctrico dentro del silicio. Cuando la célula es expuesta a la luz solar los fotones o energía proveniente del sol, son absorbidos liberándose electrones dentro del cristal. El campo eléctrico formado separa los electrones del material y da lugar a un potencial eléctrico de aproximadamente 0.55 volts. Por otra parte la corriente producida por la célula depende de la intensidad de la luz incidente en ella y del área de la misma.

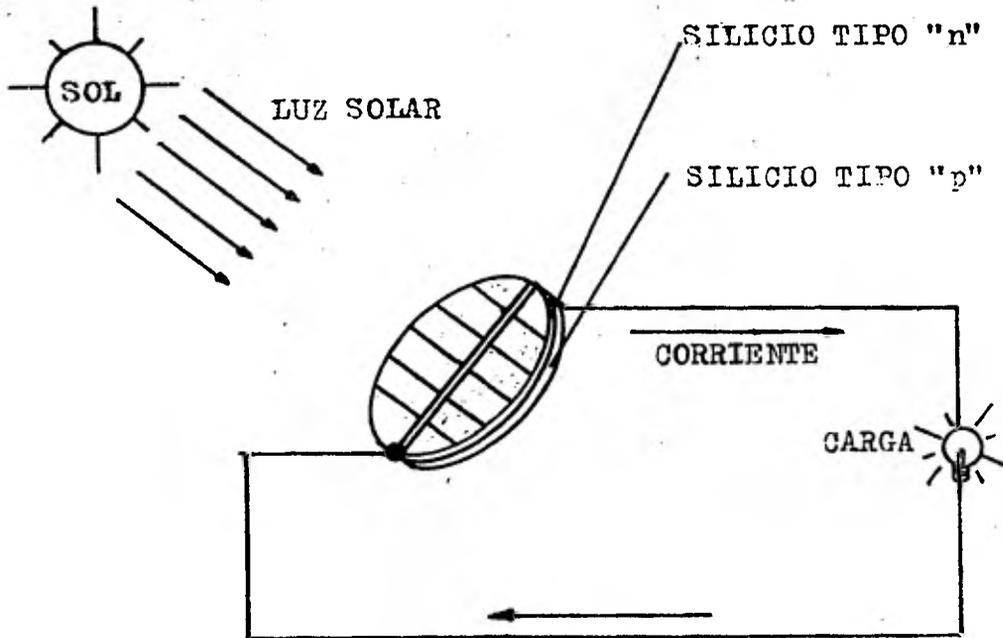


Fig. 1. Célula solar.

La potencia utilizable de una célula solar desciende -- cuando la temperatura aumenta (véase Fig. 2).

En la célula solares típicas, las pérdidas suponen un -- 0.35-0.45 % por cada grado Celsius de incremento de temperatura. En otras palabras, una célula solar de silicio libera aproximadamente un 18 % más de potencia a 20° C -- que a 70° C. En la figura 3 vemos que la causa de esta -- pérdida es principalmente el descenso del voltaje; es -- típico en las células solares que la corriente esté poco afectada por la temperatura (vease Fig. 4)

Para las células de silicio que funcionan a temperatura a una intensidad de iluminación AM0 (luz solar fuera de la atmósfera, llamada "masa de aire 0" con una intensidad de luz de  $1.38 \text{ kW m}^{-2}$ ), los voltajes de circuito -- abierto típicos están alrededor de 550 y 600 mV, y las -- corrientes de corto circuito son de unos  $30 \text{ mA cm}^{-2}$ .

Para la luz visible monocromática, o sea, un rayo de -- luz amarilla o verde el máximo rendimiento teórico de -- una célula solar de silicio es de 45-50 %. Sin embargo --

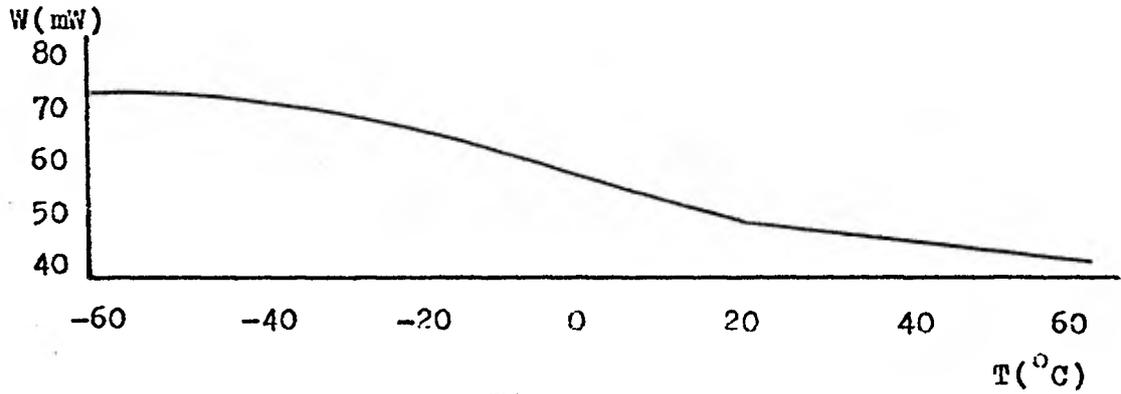


Fig. 2.

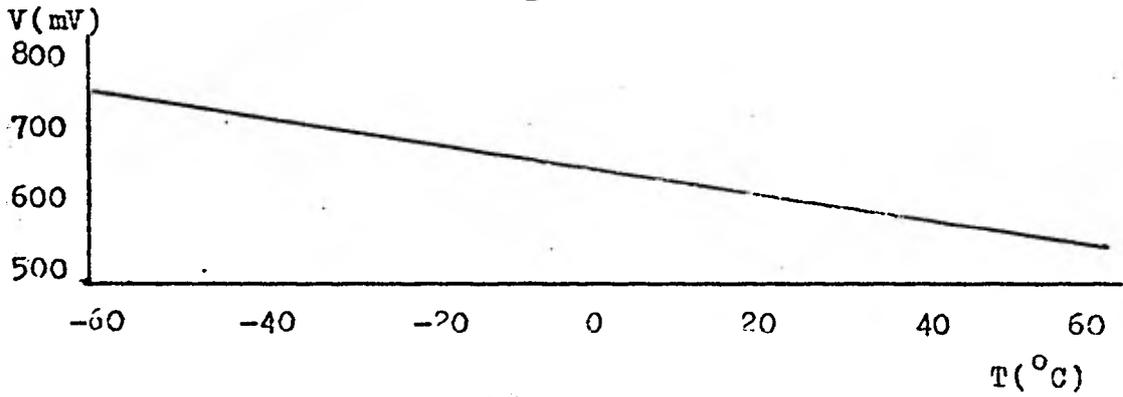


Fig. 3.

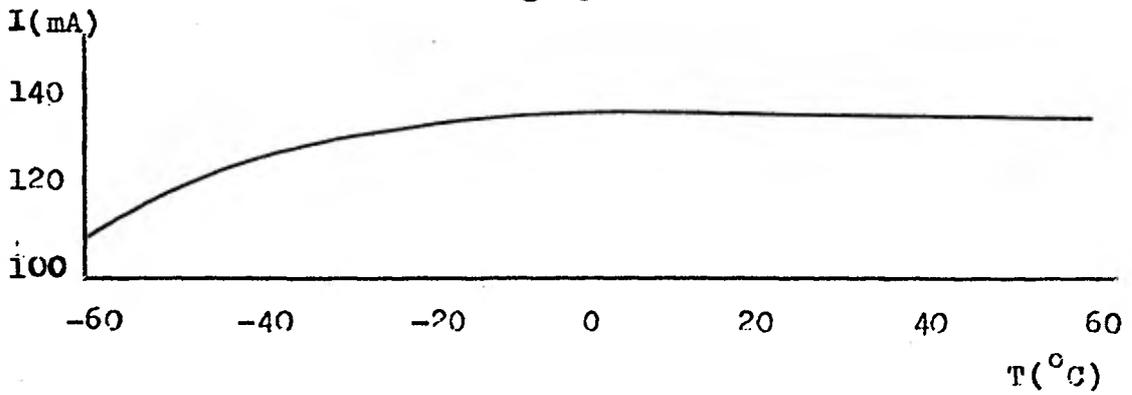


Fig. 4.

los rendimientos obtenibles para la luz solar son más --  
bajos. Esto ocurre por que el espectro de luz solar se --  
extiende desde el ultravioleta, a través de la escala --  
visible, hasta el lejano infrarrojo, mientras que las --  
células solares de silicio son insensibles a la luz no --  
visible y muy cerca de la parte infrarroja del espectro.  
Esta característica se observa en la Fig. 5 , en la que --  
se muestra la curva de respuesta espectral de una célula  
solar de silicio convencional.

Para la luz solar fuera de la atmósfera, llamada masa --  
de aire 0 (AM0), con una intensidad de luz de  $1.38 \text{ kW/m}^2$ ,  
el máximo rendimiento teórico de conversión para las cé--  
lulas solares de silicio es de 19 %.

La máxima luz sobre el suelo a nivel del mar se llama --  
masa de aire 1 (AM1). Su intensidad es de  $1 \text{ kW/m}^2$ . Aunque  
la intensidad de la luz sobre la tierra sea más baja que --  
en el espacio, la distinta composición del espectro al --  
nivel del mar tiene el efecto de concentrar más la ener--  
gía que viene en la parte del espectro donde las células  
solares son más sensibles. Partiendo de experiencias del .  
pasado, podemos decir que el rendimiento de las células --  
de silicio es, como norma general, un 20 % más alto en la

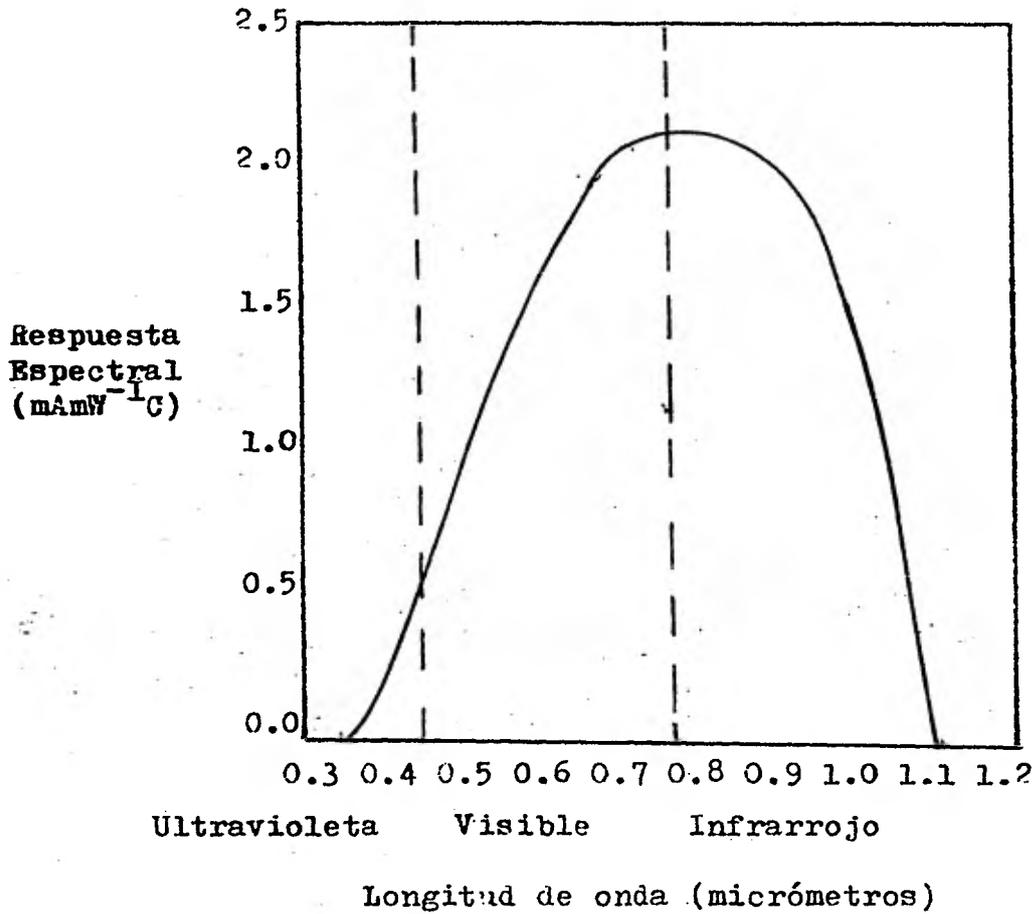


Fig. 5. Curva de respuesta espectral de una célula solar de silicio.

tierra que fuera de la atmósfera. El máximo rendimiento teórico de conversión para las células solares de silicio bajo máxima iluminación de luz solar en el suelo, puede ser de un 23 %.

2.1.2 El panel solar. Para lograr una mayor potencia y/o mayor voltaje se conectan un cierto número de células en un panel. Por ejemplo para duplicar el voltaje, se conectan en serie dos células. Conectando un determinado número células en serie y paralelo, es posible suministrar cualquier voltaje y cualquier potencia (ver Fig 6 y 7).

Se debe prestar una atención especial a la igualación de las características eléctricas de las células que van a ser conectadas. Como norma general, todas las células que van a ser conectadas en paralelo deben tener el mismo voltaje. Las células para ser conectadas en serie deben tener la misma corriente. El despareamiento de las características de las células solares produce malos paneles porque las células con mayor fotocorriente y fotovoltaje disipan su exceso de potencia en las células de menores características eléctricas. Como resultado, la composición global de un panel de células solares está limitado por las células pobres.

La forma más usual no es contruir un generador solar completo de un panel, sino dividirlo en varios paneles de

igual voltaje y potencia. Para varias aplicaciones se --- pueden diseñar módulos estandar cumpliendo condiciones -- específicas. Dado que corrientemente sólo se usan ciertos voltajes estándar, como 1.5 V, 6 V, 12 V, 24 V, 48 V, --- cualquier pedido específico de potencia se puede satisfacer conectando el número adecuado de módulos en serie y -- en paralelo(ver figura 8). La estandarización de los mó-- dulos simplifica el proceso de producción y proporciona -- una considerable flexibilidad a los sistemas de potencia fotovoltaicos; por otra parte se facilita la producción -- y el control del proceso de fabricación.

Otro ejemplo de las ventajas del diseño modular lo ---- constituyen las centrales de energía solar. Una central -- fotovoltaica se puede construir ensamblando un cierto número de módulos idénticos que satisfagan los requerimientos. Las centrales energéticas convencionales, por el --- contrario, requieren un gran número de componentes dis--- tintos, que se deben diseñar y construir separadamente -- antes de ser montados sobre el terreno. A diferencia de -- las centrales convencionales, una central fotovoltaica -- puede empezar a suministrar potencia tan pronto como algunos de sus elementos estén a punto, sin esperar al com-

CELULA SOLAR

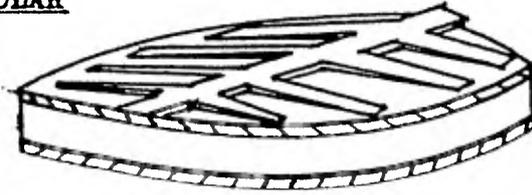


Fig. 6.

PANEL SOLAR

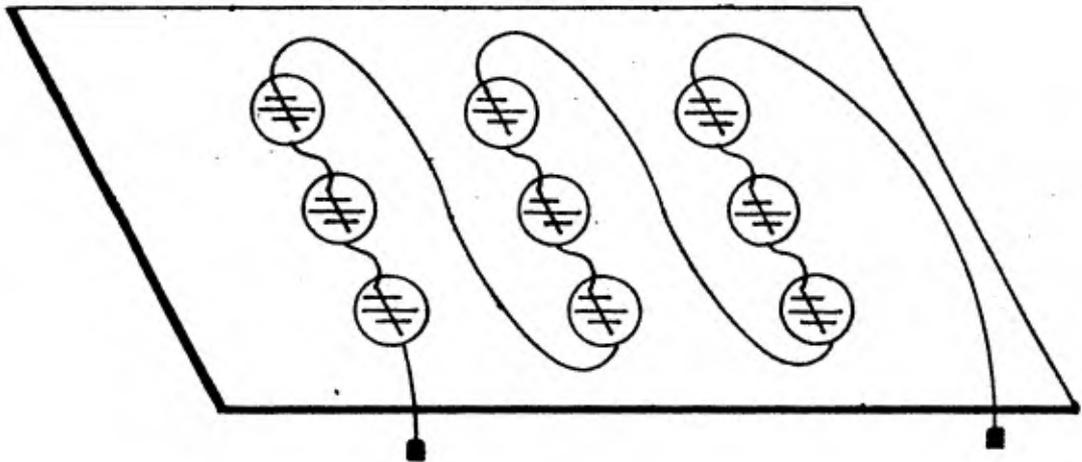


Fig. 7.

MODULO SOLAR

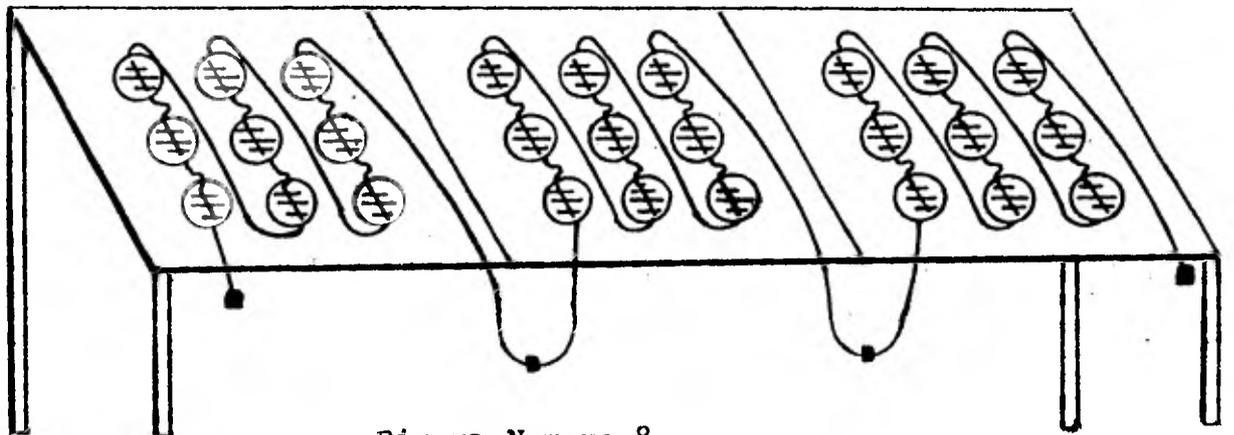


Figura Numero 8

plejo de toda la central.

En la actualidad los módulos comercialmente disponibles son unos platos delgados, comparables en anchura y peso a hojas de vidrio del mismo tamaño. Las células de silicio son frágiles y se deben proteger por ambos lados. Esto se consigue colocandolas entre una capa de protección superior y otra inferior. En la actualidad, los plásticos y el vidrio son los materiales de más amplio uso.

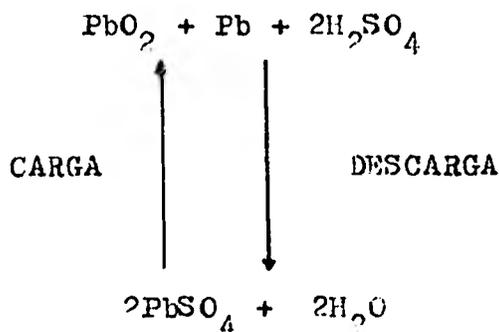
## 2.2 DESCRIPCION DEL SUBSISTEMA BATERIA

2.2.1 Se asocia una batería química recargable a los paneles solares para los períodos de insuficiente insola---ción.

2.2.2 Principios de funcionamiento de una batería. Las partes principales de una batería son las siguientes: un electrodo negativo formado por un grupo de rejillas de plomo esponjoso paralelas, otro electrodo positivo formado de rejillas rellenas con dióxido de plomo y un electrolito formado por ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y agua ( $H_2O$ ).

Cuando la batería está en circuito cerrado produciendo corriente, el  $PbO_2$  de un grupo de rejillas y el  $Pb$  del otro grupo, se combinan con los iones  $H^+$  y  $SO_4^{--}$  disociados del electrólito formando sulfato de plomo ( $PbSO_4$ ) y agua ( $H_2O$ ). Cuando toda la superficie de las placas queda recubierta con sulfato de plomo, ya no se obtiene más corriente de las placas.

Para recargar un acumulador se conectan las dos terminales a una fuente de corriente continua (el generador solar en este caso). Al fluir la corriente por el electrolito se invierten los procesos químicos, retrocediendo todo a su composición original. Químicamente se puede escribir:



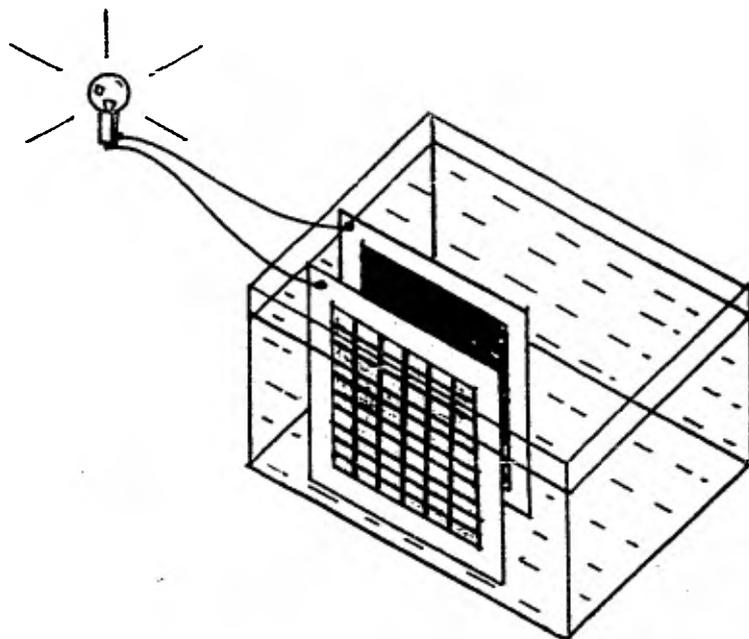


Fig. 9. Generación de corriente que nos permite hacer que ilumine un foco.

2.2.3 Partes de que se compone la batería comercial. Los elementos que componen una batería comercial son los siguientes: recipiente, placas, separadores, electrolito, y conexiones. Su descripción la haremos a continuación.

Recipiente. El recipiente (Figura numero 10), es una cubeta en la cual estan contenidas las placas, los accesorios de las mismas y el electrolito. Se comprende que -

el recipiente deberá ser de un material de tal manera que sus condiciones de resistencia mecánica puedan soportar el peso de las placas de plomo, otra característica será de que no pueda ser atacado por el ácido. Además, -- debiera poseer condiciones de aislante para evitar cortocircuitos que disminuirían el rendimiento. El material -- más idóneo es la bakalita o el hule duro.

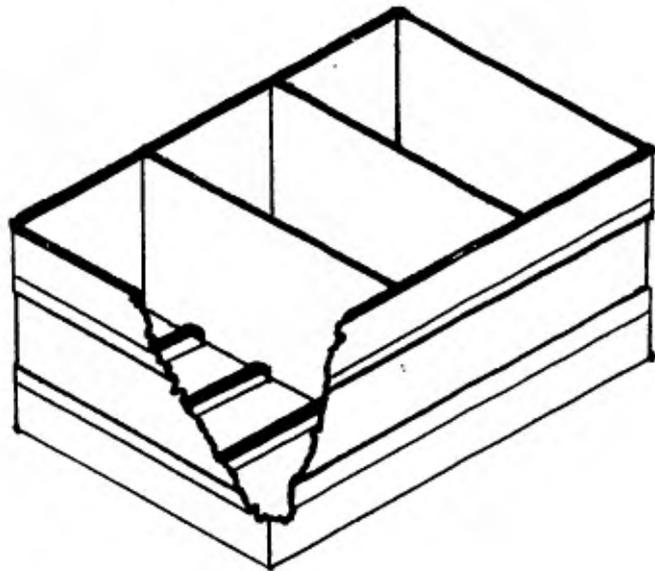


Fig. 10.

En la parte baja del recipiente es necesario que existan una serie de canales sobre los cuales puedan apoyarse las placas (Fig. 10) y al mismo tiempo, el espacio que existe entre estos canales sirva para que se depositen allí las impurezas que con el tiempo las placas de plomo van desprendiendo.

En general estas impurezas son materia activa desprendida durante el proceso de carga y descarga. Estos canales, deben estar calculados de forma que sean lo suficientemente profundos para que la materia desprendida nunca llegue a tocar las placas ya que esta situación podría crear contactos entre las placas positivas y negativas, y con ello cortocircuitos.

Las placas. El elemento de más importancia en la batería y al que hay que dedicar mayor cuidado, son las placas.

Un ejemplo de las placas se puede ver en la Fig. 9, la que nos muestra la placa positiva que es la más oscura de las dos. Otro elemento de juicio para no confundirlas es que las placas positivas siempre son menores en número de una, que las negativas.

El fenómeno de la sulfatación, (que es el peor enemigo - de las baterías) se da en las placas negativas. Cuando esto ocurre la placa se decolora y adquiere un color blanquecino, después de esto ya no sirve la placa.

Para que no exista contacto entre las placas de diferente signo, las placas de un mismo signo se agrupan por medio de una pieza que recibe el nombre de puente de unión (Fig. 11).

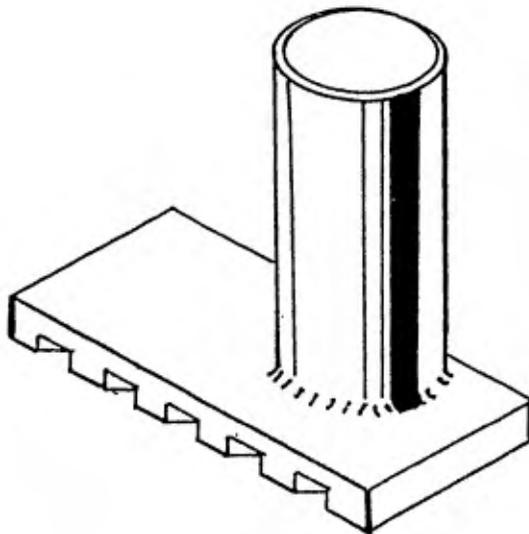


Fig. 11. Puente de unión

Esta pieza es una placa en cuya parte superior sale un borne que saldrá al exterior en la caja de la batería y - por medio del cual se recogerá la corriente de las placas ya sean las positivas o las negativas.

Por la parte inferior del puente de unión, existen unas ranuras donde se acomodan las placas de forma de que queden sólidamente unidas al puente de unión, quedando de -- esta forma a modo de peine para que las placas de dife--- rente signo puedan intercalarse.

Los separadores. Evidentemente si las placas de diferente signo llegan a estar en contacto se producirá el corto--- circuito. Con el fin de evitar tal inconveniente se colocan entre las placas separadores ya que si la separación entre las placas se dejara al arbitrio de los puentes de unión, los contactos entre las placas podrían ocurrir con el tiempo. Se logra de esta forma aproximar hasta el má-- ximo las placas de diferente signo, lo que reduce las dimensiones de la batería.

El electrolito. Junto con las placas, el electrolito es - una de las partes vitales para el buen funcionamiento de la batería.

La mezcla de ácido sulfúrico y agua es forzosa para que el electrolito posea las cualidades requeridas que permitan su transformación en materia activa a través de la -- reacción química que fue explicada anteriormente.

La densidad del electrólito desciende con la descarga y vuelve a aumentar con la carga. En consecuencia si se conoce la densidad, uno puede saber si la batería esta completamente cargada o la cantidad que tiene de descarga.

La densidad del electrolito se mide con ayuda de un --- densímetro. El densímetro es un aparato que tiene en su - extremo superior una pera de goma y es introducido en el acumulador por medio de una boquilla. Al presionar, la - pera de goma absorbe el electrolito, que se deposita en - el interior de la cámara del densímetro. En este lugar -- hay un flotador que está provisto de unos contrapesos y - una escala graduada. Según hasta el punto donde quede el flotador sumergido en el líquido, lo que puede leerse en la escala graduada, nos indicara la densidad del líquido en este caso el electrolito.

Para terminar deberemos decir que a pesar del calor que

se genera en el interior de la batería cuando se produce la carga de la misma, el ácido sulfurico nunca se evapora no ocurre lo mismo con el agua la cual, con el calor si tiende a ser víctima de este fenómeno. Por ello es normal que con el uso, el nivel del electrolito descienda. En tal caso hay que agregar agua destilada.

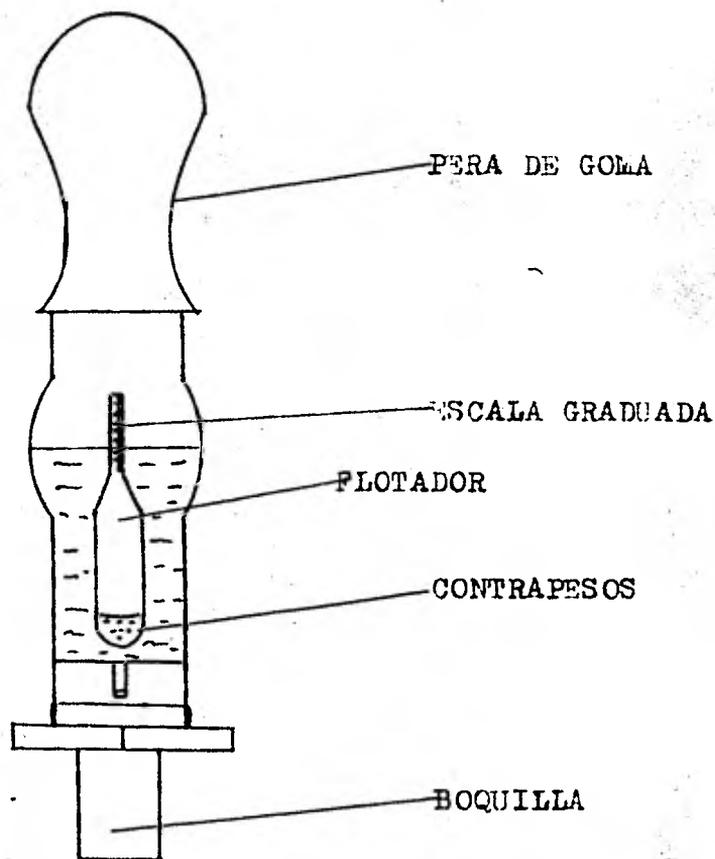


Fig. 12. Densimetro

Conexiones. La tapa del acumulador es una pieza que, una vez colocadas las placas en el interior del recipiente, servira para protegerlas del exterior.

Los conectores son las piezas encargadas de transportar la electricidad de uno a otro elemento de la batería. Tienen la forma que se ve en la Fig. 13 y deben ajustarse perfectamente al borne del acumulador. Además de colocarse entre borne y borne de dos acumuladores (Fig. 14). Es recomendable asegurarse de que exista un buen contacto entre el borne y el conector.

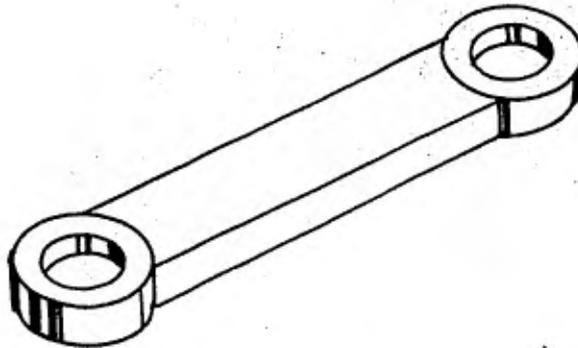


Fig. 13. Conector de acumuladores.

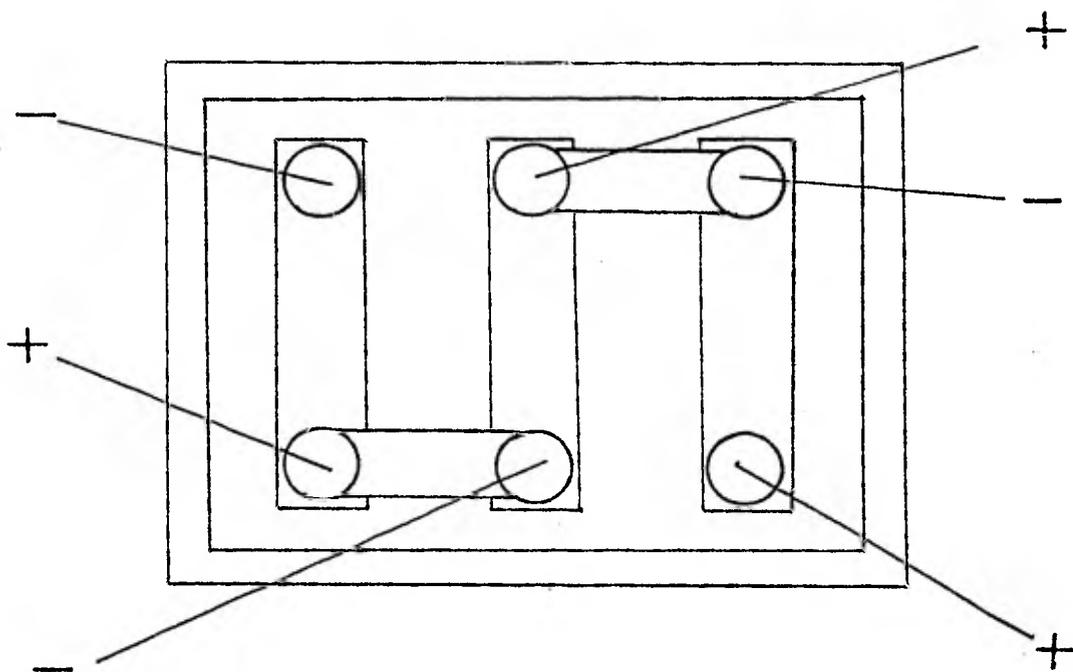


Fig. I4. Conectores en una batería.

Precauciones. Cuando la batería esta en operación, existe un desprendimiento de gases los cuales pueden ser explosivos si se incendian. Por lo cual no es conveniente manejar materiales tales como, cerillos prendidos, cigarros encendidos, u otros materiales en condiciones similares - cerca de la batería.

### 2.3 DESCRIPCION DEL SUBSISTEMA DE ILUMINACION

Naturaleza de la luz. La luz es energía radiante que tiene la propiedad de excitar nuestros órganos de la visión, la cual es una de las radiaciones electromagnéticas conocidas. Las radiaciones electromagnéticas tienen la propiedad fundamental y común a todas ellas de propagarse en el espacio a una gran velocidad que es igual para todas y vale aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/seg.

Las radiaciones electromagnéticas se propagan en el espacio en forma similar a lo que ocurre en una masa de agua, contenida en un recipiente cuando se arroja en él un objeto. Puede comprobarse que al producir las ondas en la superficie del agua, no existe desplazamiento del líquido en sentido horizontal y sí solamente un movimiento ascendente y descendente del líquido en sentido vertical; ello se comprueba fácilmente colocando sobre la superficie del agua un cuerpo flotante, que no se desplazará en sentido horizontal, pero sí subirá y bajará verticalmente.

La ondulación provocada en el agua se asemeja a la forma de una ondulación sinusoidal.

Como sabemos, la longitud de onda es la distancia que abarca una ondulación o ciclo completo y la frecuencia es la cantidad de ondulaciones o ciclos completos que se producen por unidad de tiempo.

Desde luego, si la velocidad de propagación de la onda electromagnética es de  $3 \times 10^8$  m/seg, esto significa que una onda electromagnética recorrerá en un segundo la distancia de  $3 \times 10^8$  m. Al mismo tiempo la onda tiene cierta frecuencia, o sea la cantidad de ondulaciones que por segundo ocupen en el espacio la distancia de  $3 \times 10^8$  m.

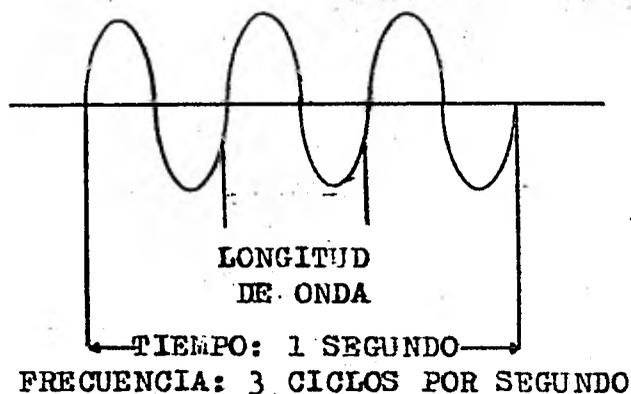


Fig. 15. La figura representa a una frecuencia de 3 ciclos/seg

Generalizando llegaremos a la conclusión de que la longitud de onda de la radiación electromagnética la obtendremos siempre dividiendo la velocidad de propagación por la frecuencia de dicha radiación.

Cuanto mayor sea la frecuencia, es decir, la cantidad de ondulaciones producidas en un segundo, tanto menor será la longitud de ella; esto es lógico, ya que la distancia recorrida en un segundo permanece invariable, pero la cantidad de ondulaciones es mayor.

El espectro de las radiaciones electromagnéticas conocidas abarca longitudes de onda desde  $1 \times 10^6$  cm hasta  $1 \times 10^{-12}$  cm (Fig. 16).

En la figura 16 están indicados los intervalos de las longitudes de onda de cada una de las radiaciones electromagnéticas conocidas con sus nombres respectivos. Como puede verse, el intervalo de longitud de onda que impresiona a nuestros órganos visuales, es reducido y comprende solamente las longitudes de onda desde los 0.70 micrones hasta los 0.40 micrones. La zona correspondiente a la luz está limitada en el extremo de las longitudes de onda mayores por la zona correspondiente a los rayos infrarrojos y en el extremo de las longitudes de onda menores, por la zona correspondiente a los rayos ultravioleta.

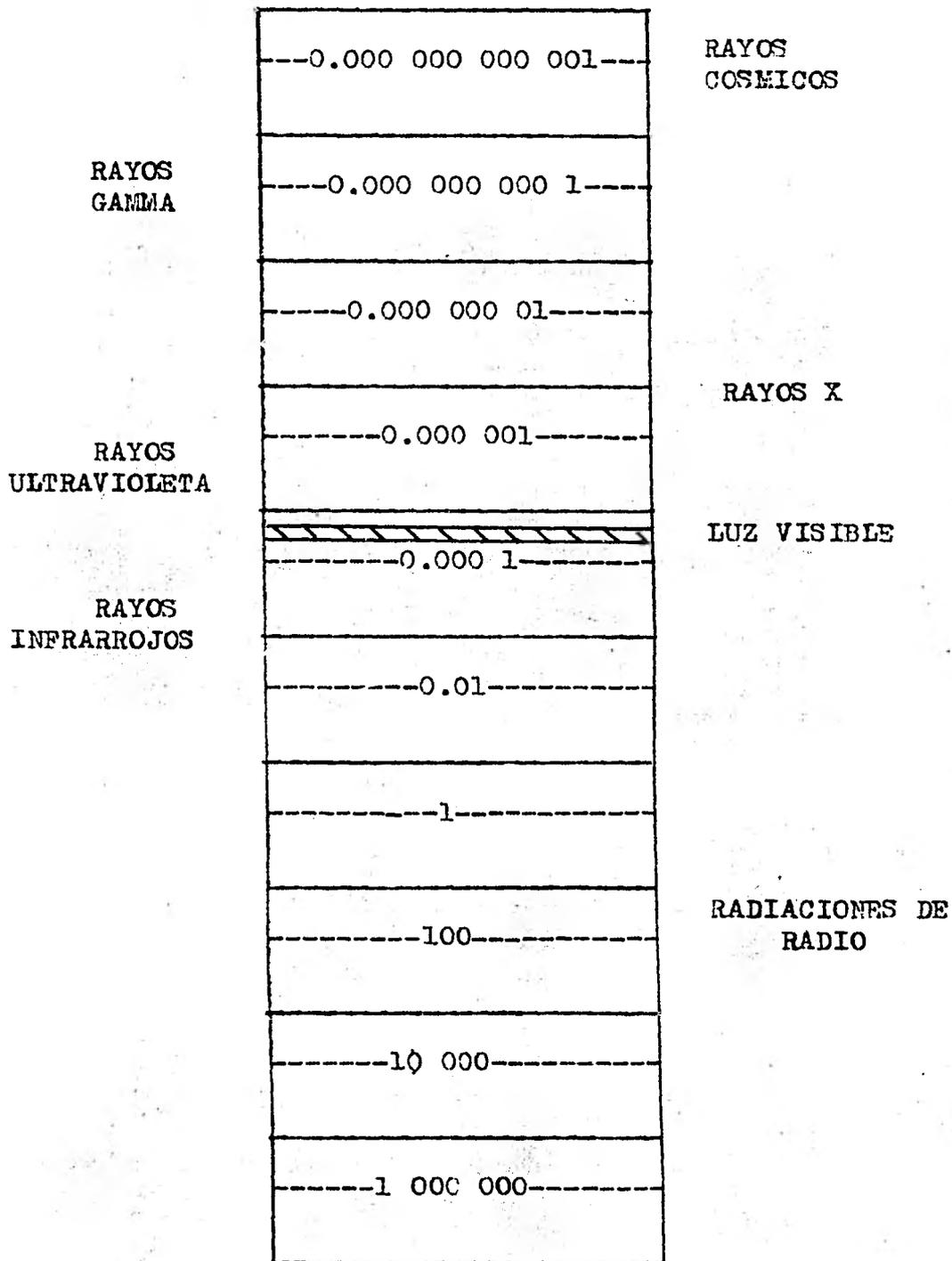


Fig. 16. Espectro de radiaciones electromagnéticas.  
Longitud de onda expresada en centímetros.

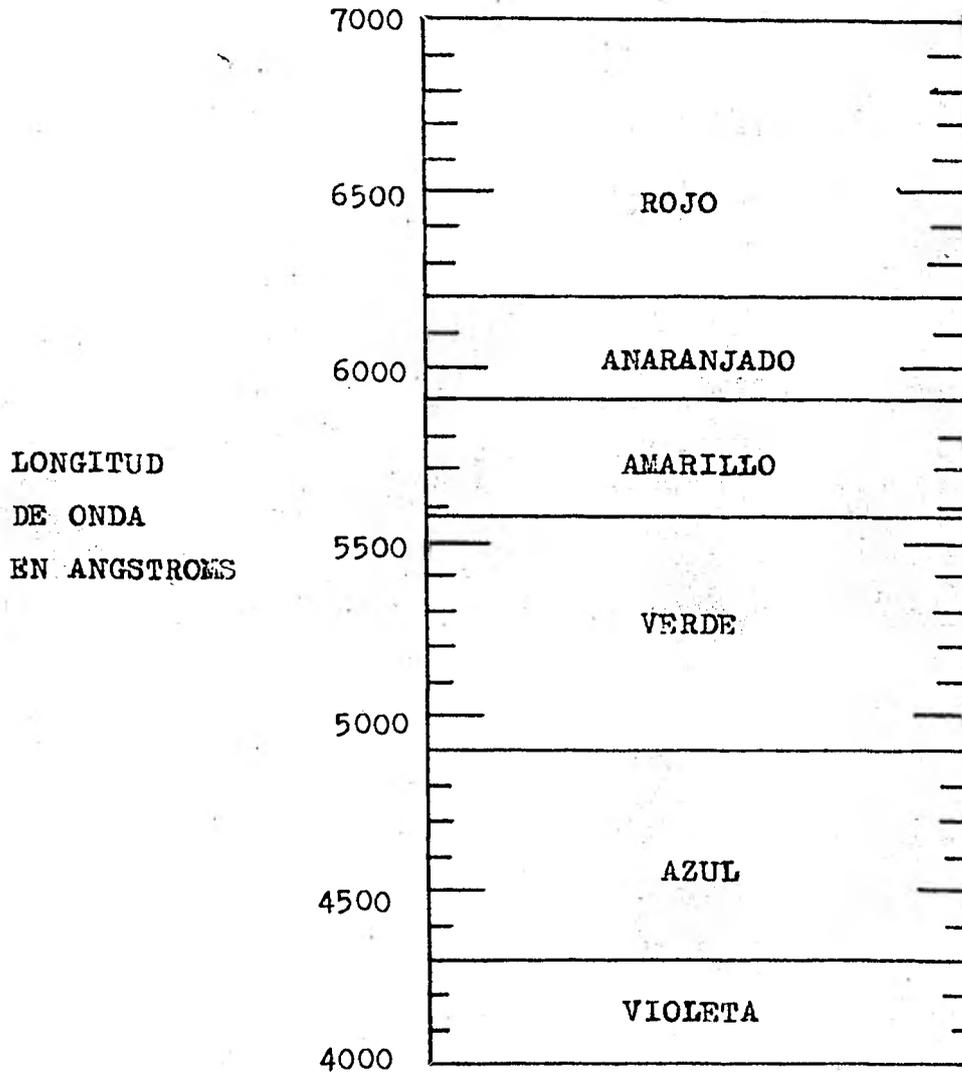


Fig. 17. Parte del espectro correspondiente a la zona de luz.

Para ilustrar sobre la composición de la zona de la luz

en la figura 17 se representan las partes del espectro --- correspondientes a la misma; se indican en la figura las zonas correspondientes a los distintos colores y de su -- estudio se comprendera facilmente el origen del nombre de ultravioleta dado a las radiaciones con longitudes de on- da menores que la del color violeta de la luz visible, y del infrarrojo dado a las radiaciones con longitudes de -- onda mayores que la del color rojo de la luz visible.

El ojo humano medio no responde con igual sensibilidad a los distintos colores del espectro luminoso, tal como -- podemos ver en la Fig. 18, donde la curva representa la -- sensibilidad relativa del ojo para los distintos colores de la luz o longitudes de onda en  $\text{\AA}$  correspondientes. La máxima sensibilidad se produce a una longitud de onda muy proxima al promedio de las longitudes de onda del espec-- tro luminoso, exactamente a los  $5550 \text{\AA}$ , que corresponden al color amarillo.

Las radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los  $7000 \text{\AA}$  y los  $150\ 000 \text{\AA}$  correspon-- den a las radiaciones infrarrojas, que son radiaciones de energía calórica. Las radiaciones electromagnéticas de -- longitudes de onda entre los  $1800 \text{\AA}$  y los  $4000 \text{\AA}$  corres--

penden a las radiaciones ultravioleta, que originan fenómenos fotoquímicos y de fluorescencia. Tal como ya hemos dicho anteriormente ninguna de estas radiaciones es visible al ojo humano.

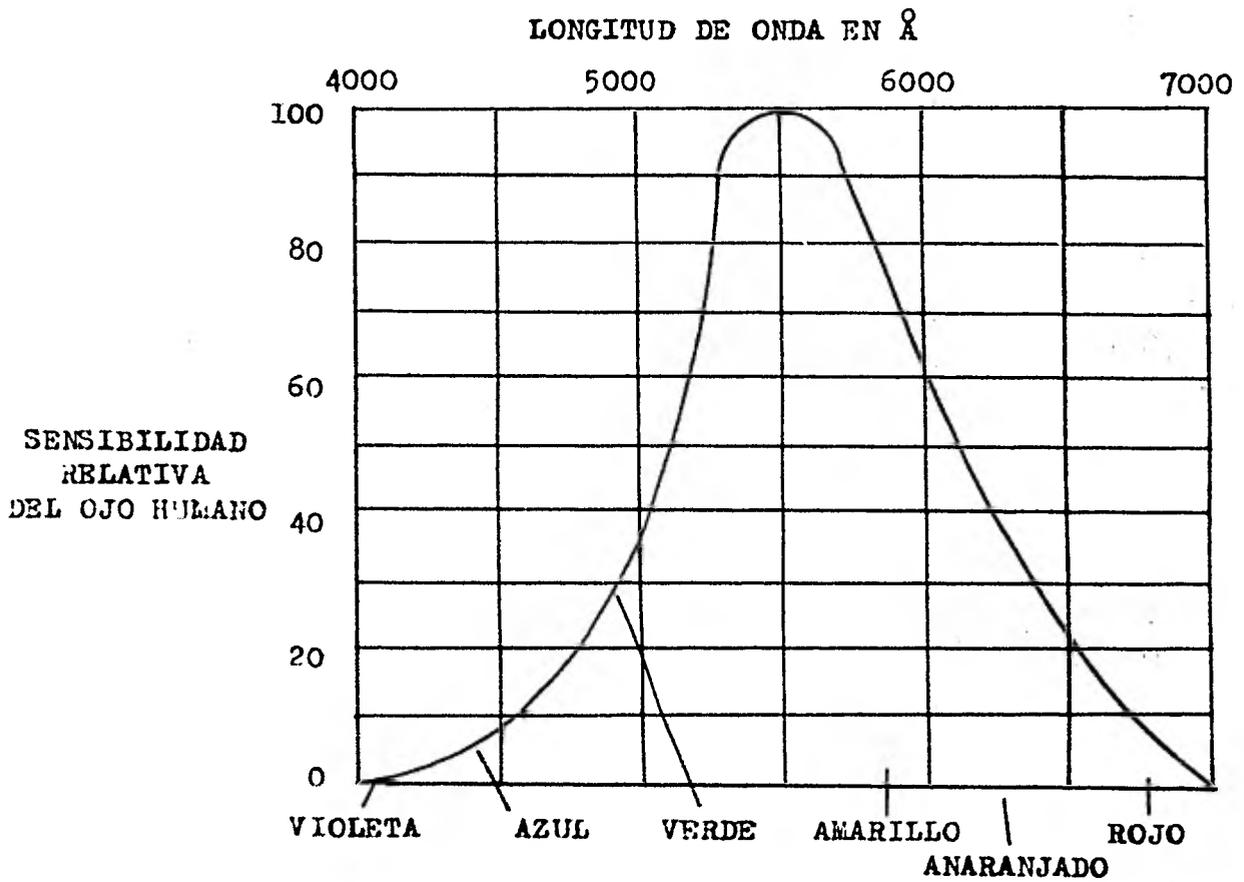


Fig. 18. Sensibilidad relativa del ojo para los distintos colores de la luz.

Luz artificial. Cuando se trata de producir luz en forma artificial, tiene gran importancia la zona del espectro donde se produce la mayor conversión de energía primaria en radiaciones electromagnéticas, por cuanto toda energía que origine rayos infrarrojos o ultravioleta no será de ninguna utilidad para fines de producir luz. Durante muchos años la fuente artificial de luz, utilizando como energía primaria la electricidad, ha estado constituida por la lámpara incandescente, en la cual se obtiene luz por la gran cantidad de calor generada en un filamento metálico adecuado, calor que lo lleva al punto de incandescencia.

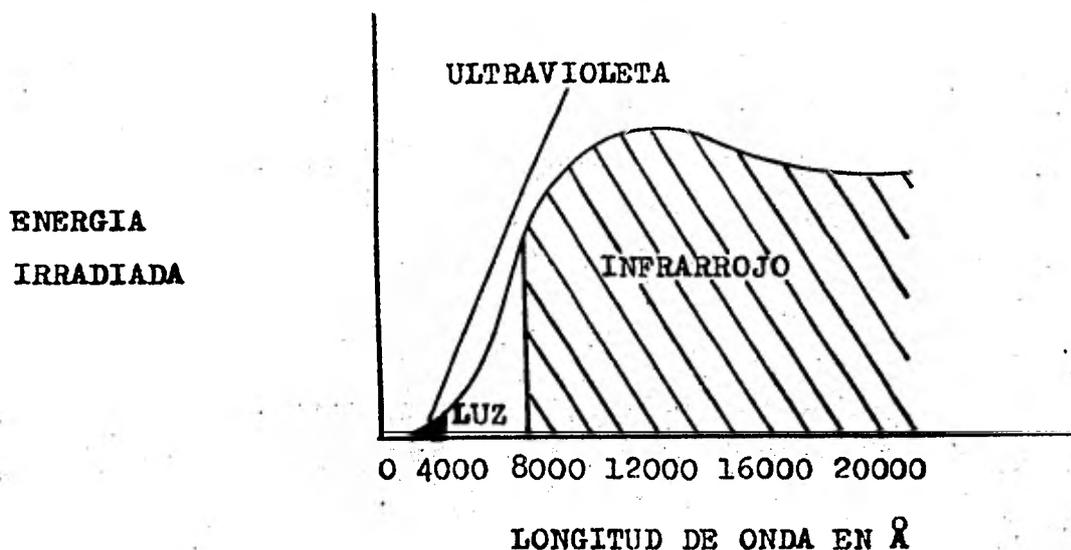


Fig. 19. Irradiación de energía de la lámpara incandescente

Como es lógico suponer, dado el método empleado en esa lámpara para la conversión de la energía eléctrica en --- energía radiante, la lámpara incandescente genera una --- gran cantidad de calor y una gran parte de la energía --- eléctrica que recibe se convierte en radiaciones infrarrojas, cosa que se puede ver la figura 19, donde se representa la energía relativa irradiada en las distintas longitudes de onda por el filamento de una lámpara incandescente.

Debido a la mayor sensibilidad del ojo humano a las radiaciones de  $5550 \text{ \AA}$  (color amarillo), apreciamos la luz --- producida por una lámpara incandescente como ese color, --- pero si nuestro ojo tuviera la misma sensibilidad para --- todas las radiaciones de la lámpara incandescente apreciaríamos su luz de color rojo, ya que en esa longitud de onda tiene la lámpara incandescente la mayor irradiación de energía dentro del espectro luminoso. Sin embargo y --- como podemos comprobar en la figura 19, la máxima irradiación de energía de la lámpara incandescente se produce en la zona del espectro electromagnético correspondiente a los rayos infrarrojos; vemos también que hay una pequeña irradiación de rayos ultravioleta.

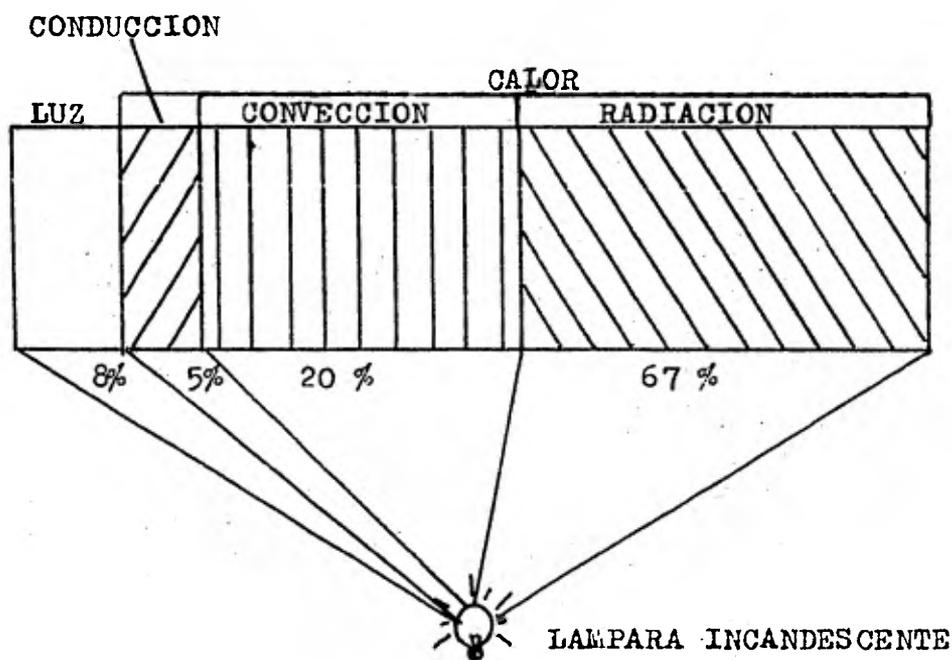


Fig. 20. Porcentaje de conversión de la energía eléctrica que entrega una lámpara incandescente.

La radiación máxima de las lámparas incandescentes en la zona de los rayos infrarrojos determina el bajo rendimiento luminoso de esta fuente de luz artificial que, pese a ello, era siempre superior al de las otras fuentes de luz conocidas. La cantidad de conversión de la energía eléctrica que entrega una lámpara incandescente de 100 Watts se indica en la Fig. 20; solamente se convierte

en luz 8 %, y un 67 % se convierte en rayos infrarrojos o calor radiante. El resto de la energía se convierte en calor que se disipa por conducción (un 5 %) y por convección (un 20 %); quiere decir que, en total, un 92 % de la energía recibida por la lámpara incandescente se transforma en calor bajo distintas formas, pero inútiles todas para el fin de producir luz.

Existe otro tipo de lámpara, la llamada fluorescente, en la cual la energía eléctrica no se utiliza para la producción directa de luz, sino para la generación de rayos ultravioleta de una determinada longitud de onda, dicha radiación ultravioleta se emplea para excitar sustancias fluorescentes adecuadas para convertirlas en luz. Por lo que la generación de luz no se debe a incandescencia y entonces en este tipo de lámpara la generación de rayos infrarrojos es muy reducida.

Veamos ahora en que forma se convierte toda la energía eléctrica que recibe una lámpara de este tipo y luego podremos hacer comparaciones con la Fig. 20. En la figura 21 se representa esquemáticamente los porcentajes de conversión de energía eléctrica de una lámpara fluorescente de 40 Watts, de luz blanca.

En ella, un 18.5 % se convierte en luz. El calor radiado como rayos infrarrojos sólo representa un 27 %, y el calor de convección y conducción es el 54.3 %; por lo tanto, solamente un 81.5 % de la energía se convierte en calor, pero lo más importante es que al contrario de lo que ocurre en la lámpara incandescente, la mayor parte de calor se manifiesta por convección y conducción en lugar de ser calor radiante como aquella. Por ello la luz entregada por la lámpara fluorescente da una sensación mucho menor de calor, puesto que la energía infrarroja irradiada es la mitad o menos de la irradiación infrarroja de la lámpara incandescente.

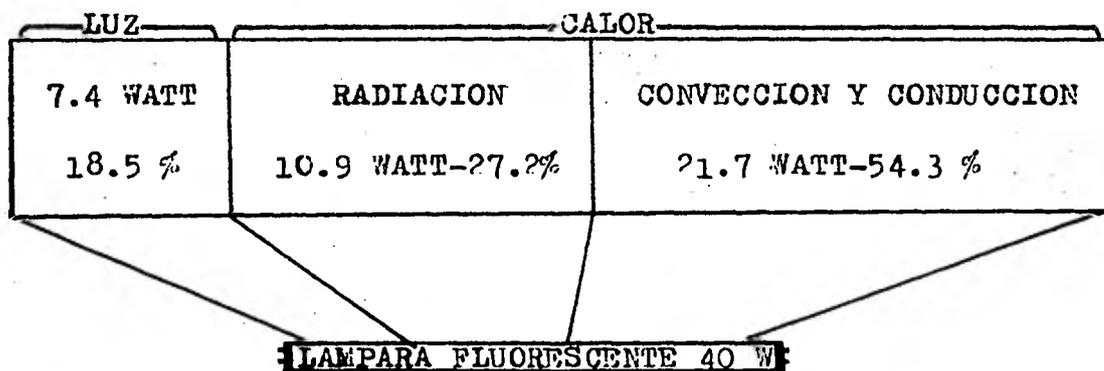


Fig.21. Lámpara fluorescente.

Si a esto agregamos que la conversión en radiación luminosa es el doble o mayor del doble en la primera respecto a la segunda, resulta claro que la sensación de calor irradiado por la lámpara fluorescente sera la cuarta parte de la que corresponde a una lámpara incandescente - que sea capaz de suministrar la misma cantidad que aquella. En rendimiento luminoso, una lámpara fluorescente de 40 Watts es superior a una lámpara incandescente de 100 - Watts puesto que a pesar de que la lampara primera convierte en luz solo 7.4 Watts y la segunda 8 Watts, el color de la luz emitida por la incandescente y la concentración de toda la energía luminosa en una superficie reducida (el filamento), reducen esa diferencia en la energía convertida.

### III.- ORIENTACION DEL GENERADOR SOLAR

3.1 Introducción. No sería adecuado profundizar en el estudio de la orientación que deben tener los paneles solares, sin antes analizar en forma general los movimientos de nuestro planeta; por lo que a continuación se efectúa dicho estudio.

3.2 Movimientos de la Tierra. La Tierra, lejos de estar en reposo, gira en el espacio vértiginosa y complicadamente. Los dos principales movimientos de la Tierra en el espacio son: el de rotación o movimiento giratorio; y el de traslación, o movimiento de desplazamiento en una trayectoria elíptica, en la que el Sol ocupa uno de los focos.

3.2.1 Rotación. La Tierra, a la vez que efectúa su movimiento de traslación en el espacio con todo el sistema solar, gira alrededor de su propio eje (rotación).

3.2.2 Traslación. Al mismo tiempo que la Tierra gira sobre sí misma, se mueve alrededor del Sol. La curva que describe se parece a una elipse y recibe el nombre de elíptica (fig. 22). No hay que confundir la elíptica con la eclíptica, porque la elíptica, es una línea curva cerrada y de dimensiones finitas (fig. 22) y la eclíptica es el plano contenido en esa línea, fig. 23.

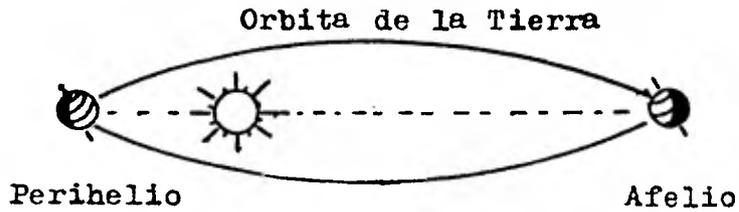


Figura 22



Figura 23

Examinemos ahora el fenómeno en su fase real. Tanto la Tierra como el Sol se encuentran permanentemente en la eclíptica puesto que este plano está contenido en la órbita de la primera.

El cambio de declinación del Sol durante su movimiento aparente anual, es causado por el hecho de que el eje de la Tierra no forma un ángulo recto con la eclíptica, --

sino que está inclinado  $23^{\circ}27'$  y orientado permanentemente hacia un punto fijo del firmamento, muy cercano a la estrella polar.

Esto último da como resultado que dicho eje guarde diferentes posiciones con respecto al Sol en el curso del movimiento de translación de la Tierra alrededor de este astro, que es el centro gravitacional de este movimiento, fig. 24.



Figura 24

En cada una de las cuatro posiciones en que se representa a la Tierra, el eje terrestre permanece paralelo a sí mismo durante todo el recorrido de la órbita.

Cuando la Tierra se encuentra en la posición 2, está de tal modo colocada que el polo Norte está inclinado hacia el Sol y el polo Sur hacia el lado opuesto de este astro.

fig.25.

Cuando la Tierra se encuentra en la posición 4, el polo Norte está inclinado hacia el lado opuesto del Sol y lo contrario sucede con el polo Sur, aunque el eje está colocado de igual manera que en la posición 2 fig. 29.

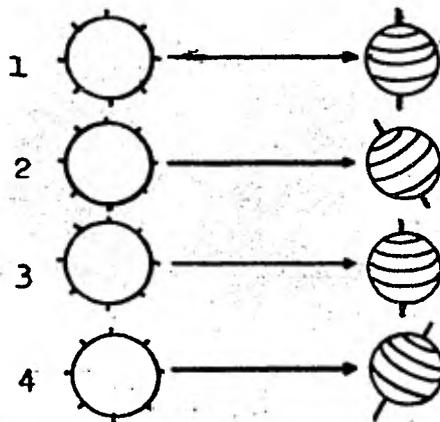


Figura 25

En las posiciones 1 y 3 ninguno de los polos está inclinado hacia el Sol ni hacia su lado opuesto.

Recuérdese que estamos viendo la inclinación del eje y de los polos con relación al Sol. El hecho de que en las posiciones 1 y 3 no estén inclinados con respecto a este astro, no quiere decir que no lo estén sobre la eclíptica:

es con respecto al Sol con el que guardan una posición -- "neutra".

Al moverse la Tierra de una a otra posición en su órbita, el polo Norte va disminuyendo su inclinación hacia el Sol, desde la máxima en 2, hasta la nula en 3, fig 28; -- para luego ir la aumentando en sentido contrario, llegando al máximo en 4 y volver a ser neutra en 1.

Al pasar de 1 a 2, el polo Norte vuelve a inclinarse -- hacia el Sol, hasta llegar a su máxima en 2. En cada uno de los casos, el polo Sur va adquiriendo puntualmente las inclinaciones opuestas y el ciclo se va repitiendo en cada revolución de la Tierra.

3.3 Orientación del generador solar. La combinación de el movimiento de rotación de la Tierra, el de revolución, la esfericidad de la misma, la inclinación del eje con respecto a la eclíptica y la excentricidad del Sol, determinaran cómo y cuando caen los rayos solares en cada lugar de nuestro planeta. Debido al enorme tamaño del Sol, comparado con la Tierra, y a la distancia que nos separa de aquel astro, se considera que los rayos solares nos llegaran prácticamente paralelos unos de otros. La redondez de la Tierra trae como consecuencia, que en un momento dado

dichos rayos caen perpendicularmente al horizonte solo en determinados lugares de ella; mientras que en los demás -- caen más oblicuos a medida que se alejan del lugar donde caen verticalmente. Es un fenomeno físico el hecho de que los rayos solares proporcionen más calor e iluminación -- por unidad de superficie, cuando llegan perpendicularmente al horizonte de un lugar, que cuando llegan a él oblicuamente: porque un haz luminoso de cierta sección, abarcará mayor superficie mientras más inclinado llegue a un plano e, inversamente el área se reduce al mínimo cuando dicho haz llega perpendicularmente, Fig. 26, al distribuirse la misma cantidad de luz, en mayor superficie --- iluminara menos cada centimetro cuadrado.

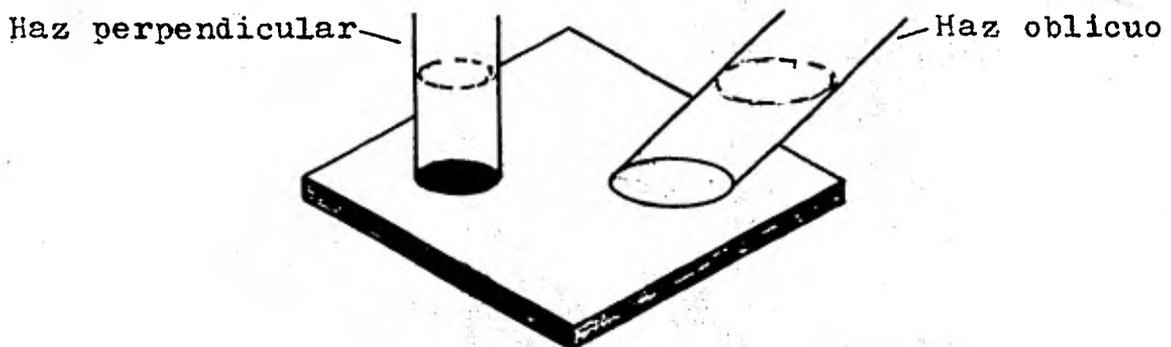


Figura. 26

Las conclusiones resultantes de las observaciones anteriores, son que, la mejor posición para los paneles solares es la que queda orientada a la trayectoria media del Sol. Así, para la trayectoria de ascenso-descenso diario del Sol, la mejor posición media es horizontal. Para la trayectoria de inclinación de la órbita del Sol durante el año, la posición media corresponde a una orientación del modulo solar de  $\lambda$  grados hacia el Sur, (con una orientación longitudinal este-oeste, fig. 27, donde  $\lambda$  es la latitud del lugar. La latitud es una coordenada terrestre

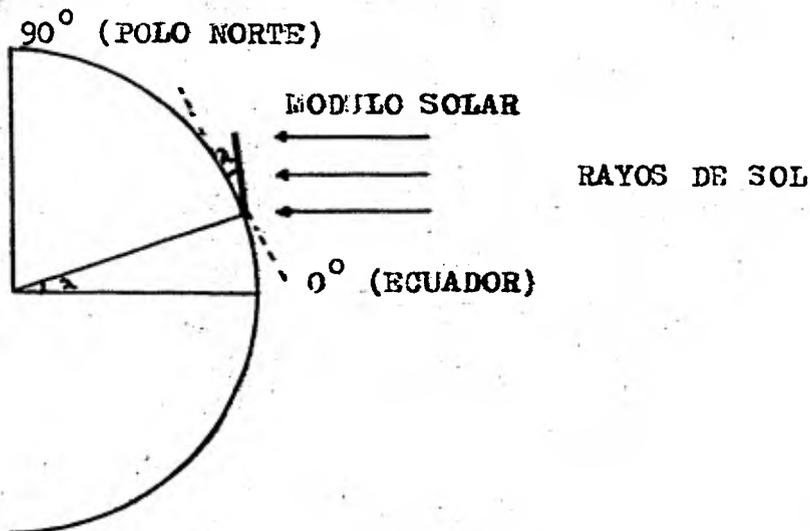


Figura. 27.

la cual es la distancia angular entre el Ecuador y un punto de la superficie terrestre. La latitud se mide a partir del Ecuador hacia el Norte o hacia el Sur y tiene un valor de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  grados.

Para determinar la situación de cualquier punto de nuestro país, es preciso buscar la latitud y la longitud (que es otra coordenada terrestre), que pasan por tal punto; la intersección de ambas coordenadas debiera ser el punto en cuestión. En la tabla 1 se los nombres de diferentes poblaciones de nuestro país con sus respectivas coordenadas de longitud y latitud, como un ejemplo.

IV.- MAPAS DE INSOLACION MENSUAL

La mayoría de nosotros sabemos que nuestro sol es en -- realidad una estrella, una "enana" anaranjada para más -- datos, aunque el termino "enana" es relativo, ya que la -- masa del sol es 330 000 veces mayor que la de la tierra. Comparativamente si la tierra pesara un gramo solamente, el sol pesaria 330 kilogramos. Sabemos de la existencia -- del sol principalmente por su brillo. El brillo del sol -- viaja alrededor de 150 millones de kilometros en poco más de ocho minutos, porque se trata de radiacion electromagnética que avanza a la velocidad de la luz. La mayor parte de esta radiación electromagnética ocupa la región del espectro comprendida entre 1/4 de micrón y 3 micrones o -- millonésimos de metro. Una pequeña parte de ella se halla en la región de ondas extremadamente cortas e invisibles de los rayos ultravioleta, la mitad aproximadamente es la luz visible y el resto son ondas largas o infrarrojas, -- estas ultimas explican el calor del sol. "

La energía solar que capta nuestro planeta, o insola--- ción, es de aproximadamente  $5.5 \frac{\text{Kw-h}}{\text{m}^2 \text{ día}}$  : en promedio -- anual.

Diferentes tipos de unidades son usadas para medir la -- insolación y a continuación presentamos algunas.

|                          | cal/cm <sup>2</sup> /día | MJ/m <sup>2</sup> /día | kWh/m <sup>2</sup> /día |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| cal/cm <sup>2</sup> /día | 1                        | 0.041                  | 0.012                   |
| MJ/m <sup>2</sup> /día   | 23.90                    | 1                      | 0.278                   |
| kWh/m <sup>2</sup> /día  | 85.93                    | 3.60                   | 1                       |

Para diseñar nuestros sistemas fotovoltaicos es necesario obviamente conocer la insolación del lugar donde nos proponemos instalar nuestro sistema.

Es por ello que a continuación, presentamos una serie de 12 mapas mensuales y uno anual de la insolación solar total sobre una superficie horizontal que comprenden toda la República Mexicana, elaborados por Rafael Almanza y Serafin Lopez, investigadores del instituto de ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Los datos procesados para obtener los niveles de radiación se dedujeron de 38 localidades, 14 de las cuales tienen promedios mensuales de 30 años; 11 tienen promedios de más de 25 años; 4 tienen promedios mayores de 20 años; 3 más de 15 años; 2 con diez o más años y las cuatro restantes alrededor de siete años.

Del mapa anual se dedujo que aproximadamente 70 % del

territorio nacional recibe más de 400 Langleyes por día - (1 langley/día = 1 cal/cm<sup>2</sup> día) en el año. Las regiones - de el norte de Sonora y Chihuahua son particularmente ricas en energía solar, ya que cuentan con una incidencia - de más de 500 Ly/día en el año.

Ahora bien se conocen 12 valores de insolación considerando un captador horizontal y nos es necesario conocer - los valores de insolación considerando la latitud del lugar donde se instalara nuestro generador solar (sección - 3.3). Lo cual se logra con la siguiente formula:

$$E_{\lambda} = E \frac{\cos \delta}{\cos (\delta + \lambda)}$$

en donde:

$\lambda$  = latitud

$\delta$  = declinación (ángulo del sol respecto al ecuador)

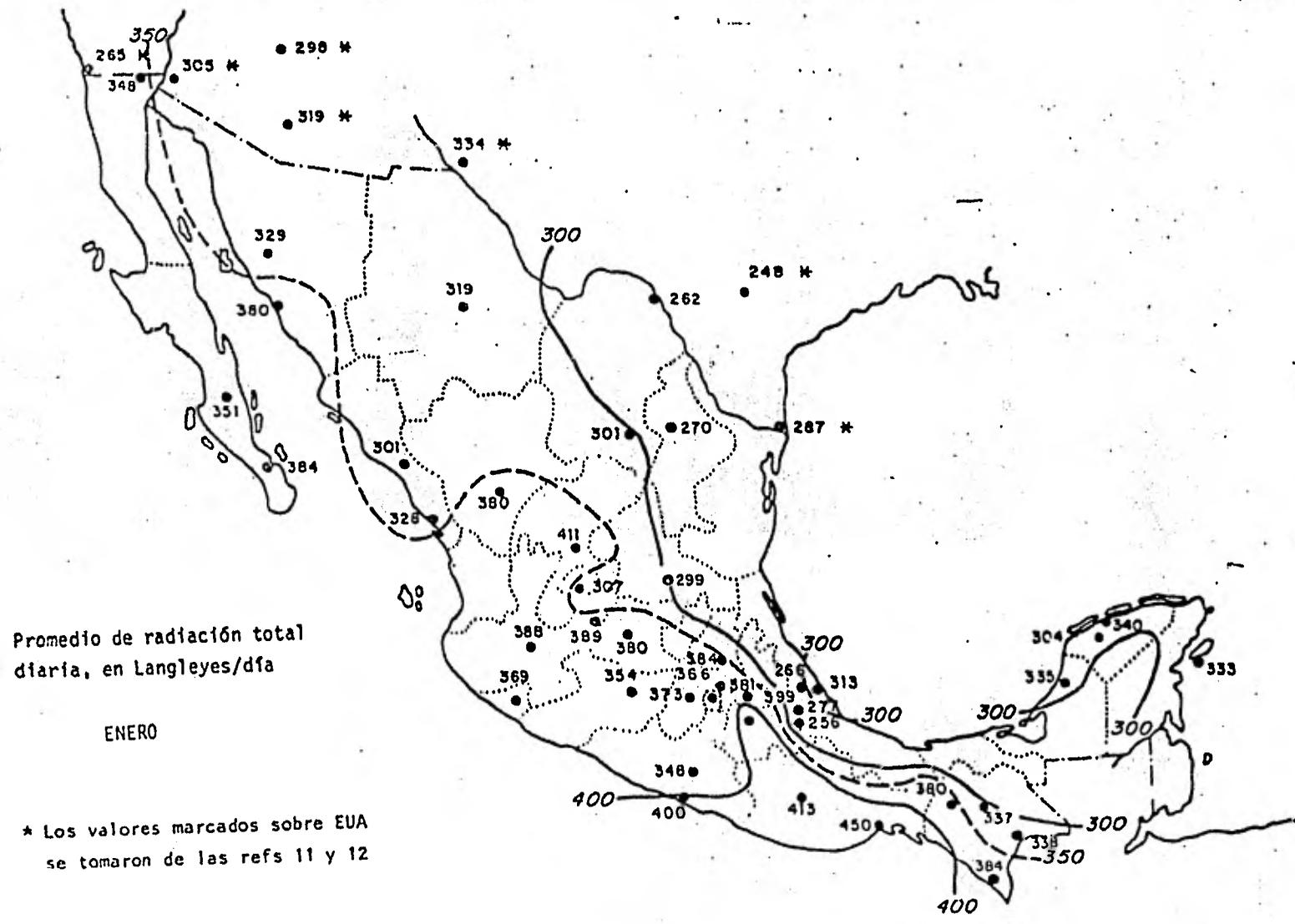
E = insolación recibida en un captador horizontal

$E_{\lambda}$  = insolación recibida en un captador a un ángulo de orientación " $\lambda$ ".

La declinación esta dada por:

$$\delta = -23.45^{\circ} \text{ sen } (360(284 + n)/365)$$

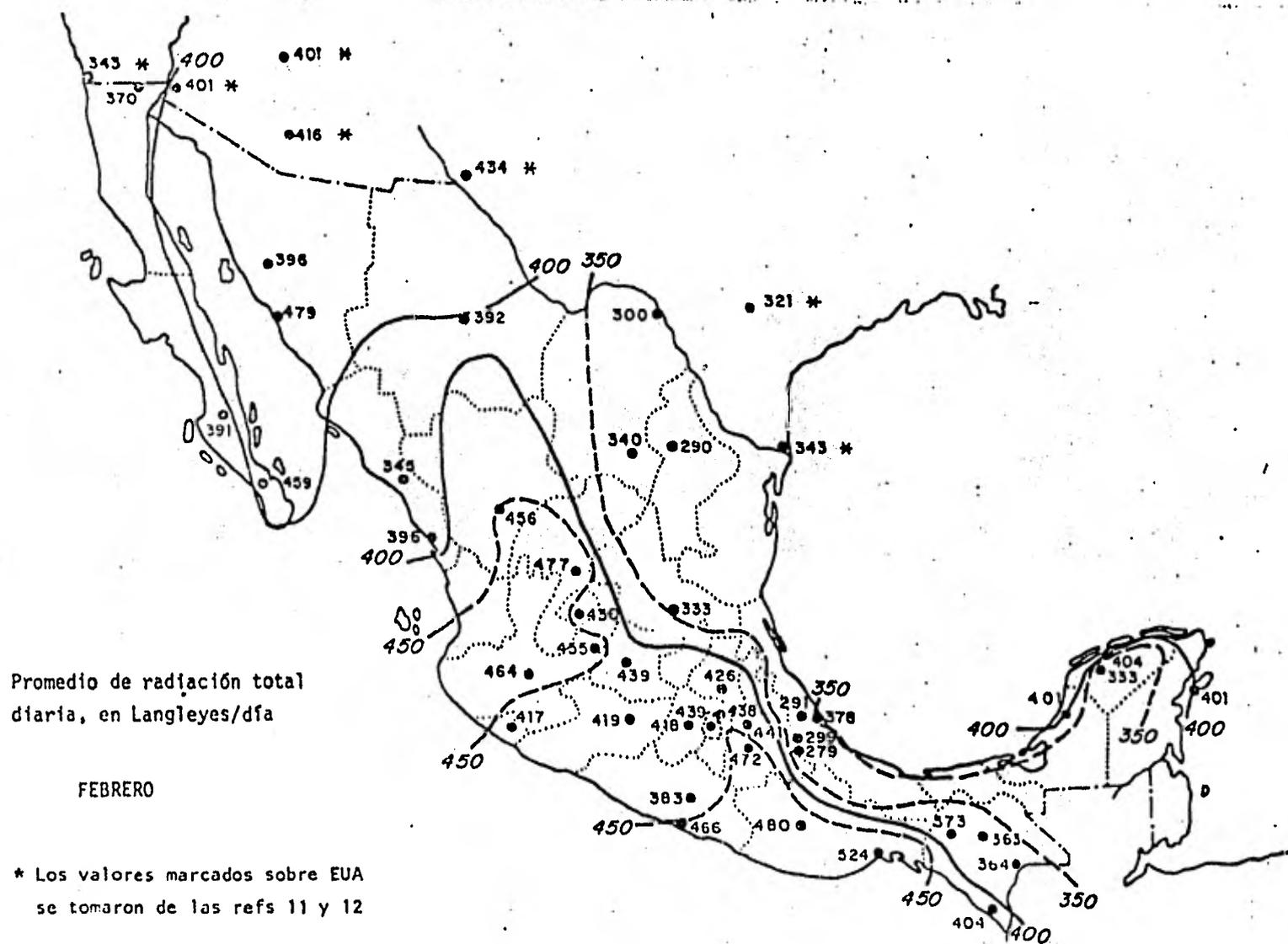
en la cual "n" es el día, en numeración progresiva del año. Así el 15 de septiembre equivaldra a n = 288.



Promedio de radiación total  
diaria, en Langleyes/dfa

ENERO

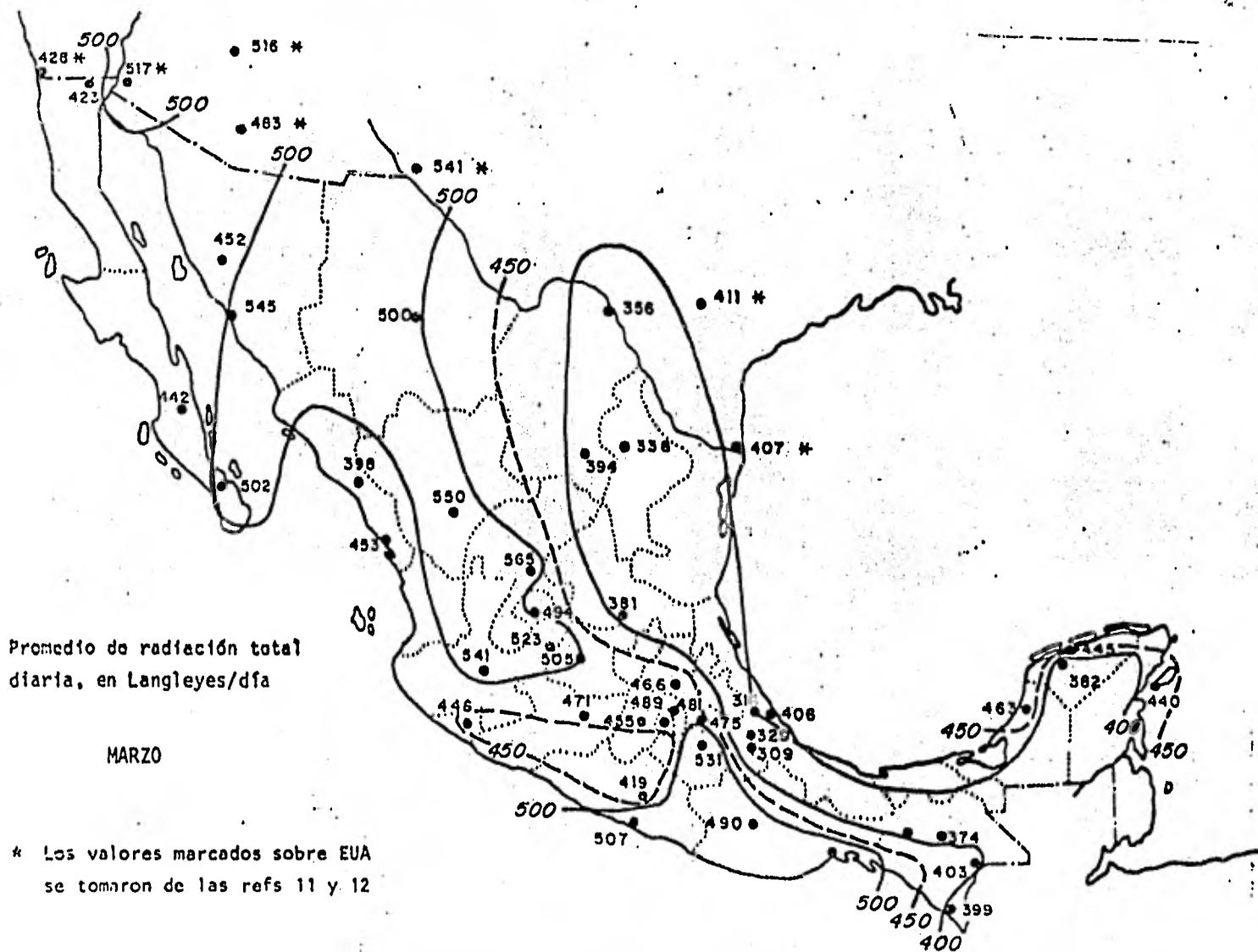
\* Los valores marcados sobre EUA  
se tomaron de las refs 11 y 12



Promedio de radiación total  
diaria, en Langleyes/dfa

FEBRERO

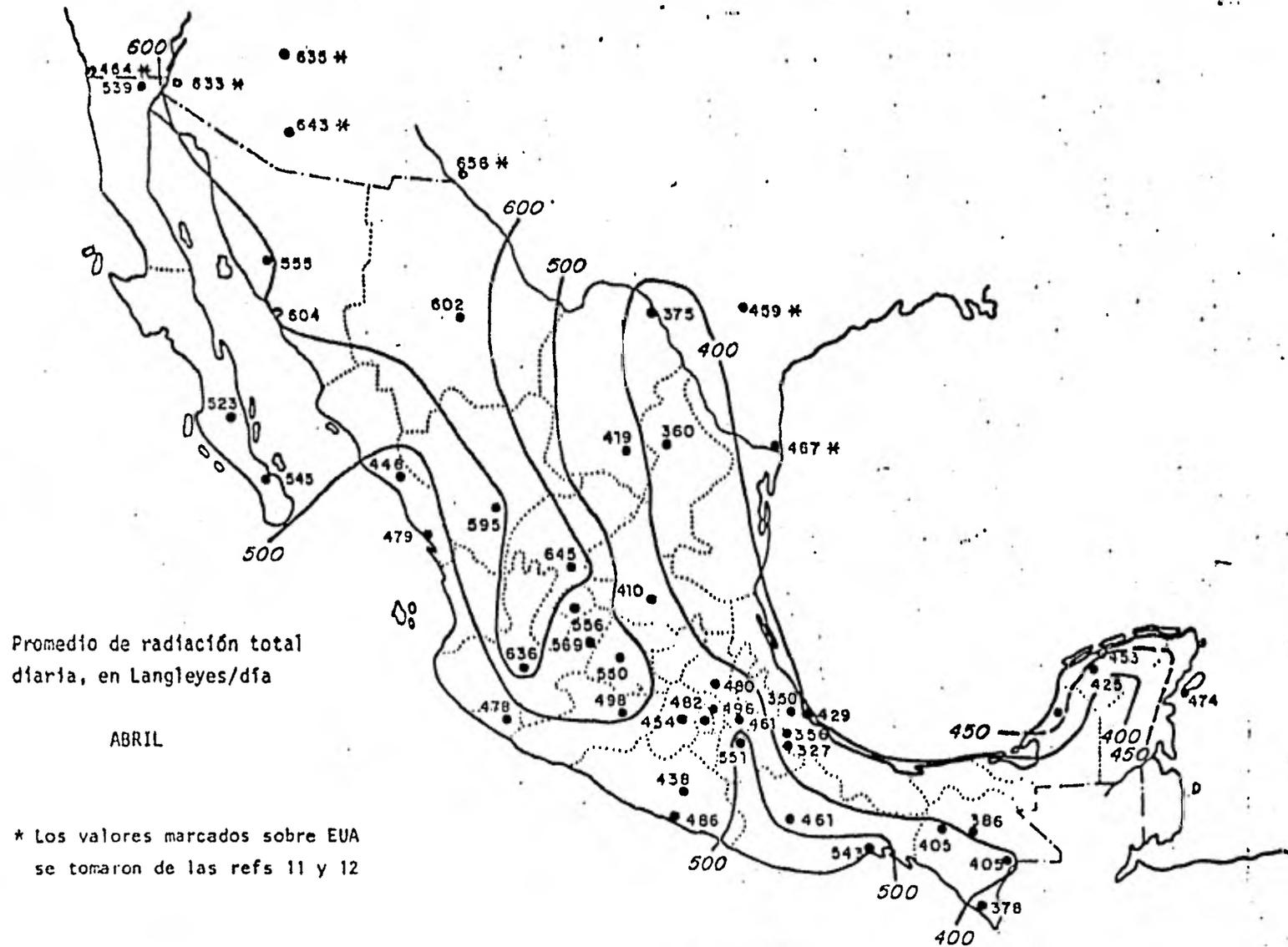
\* Los valores marcados sobre EUA  
se tomaron de las refs 11 y 12

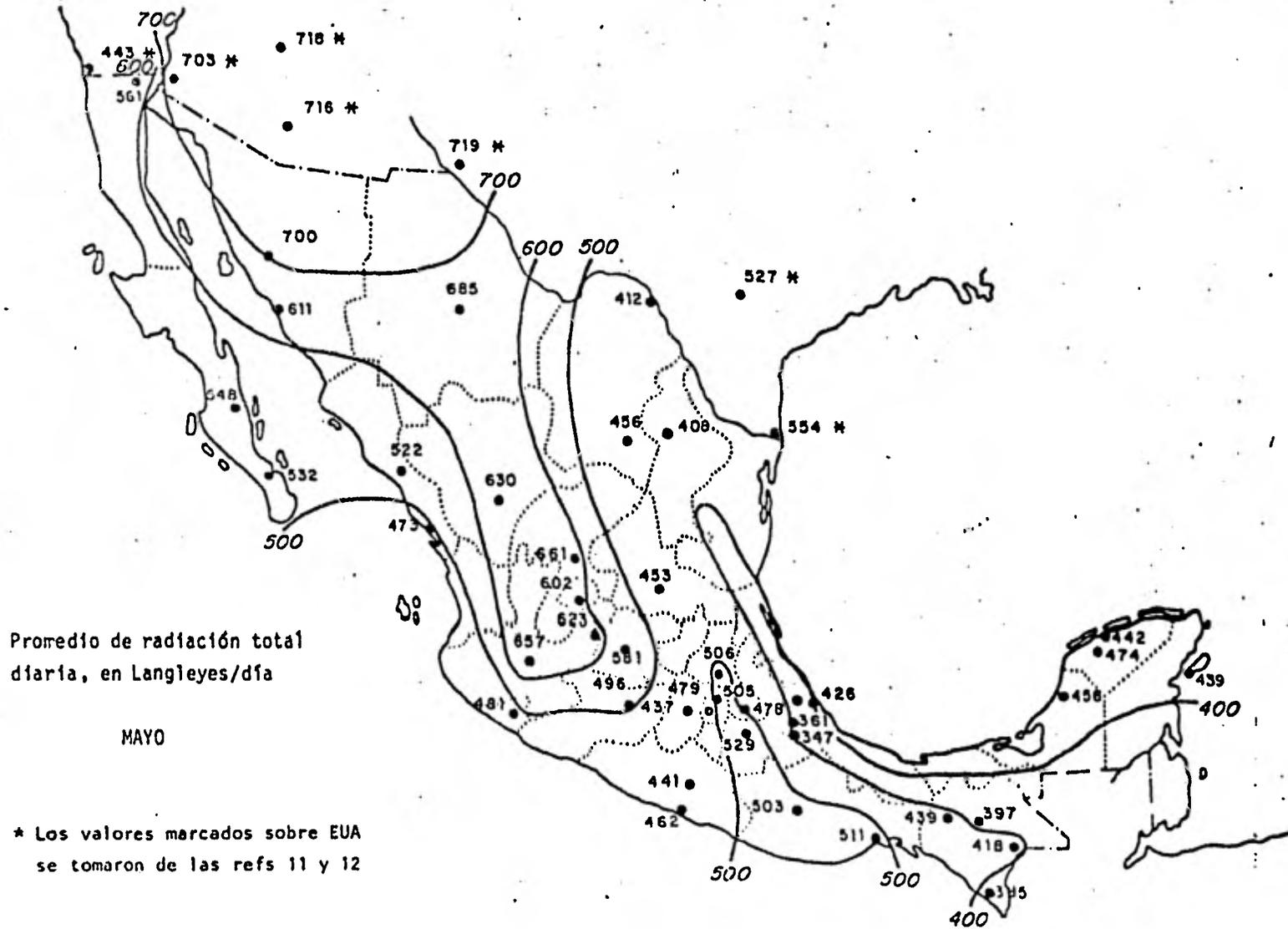


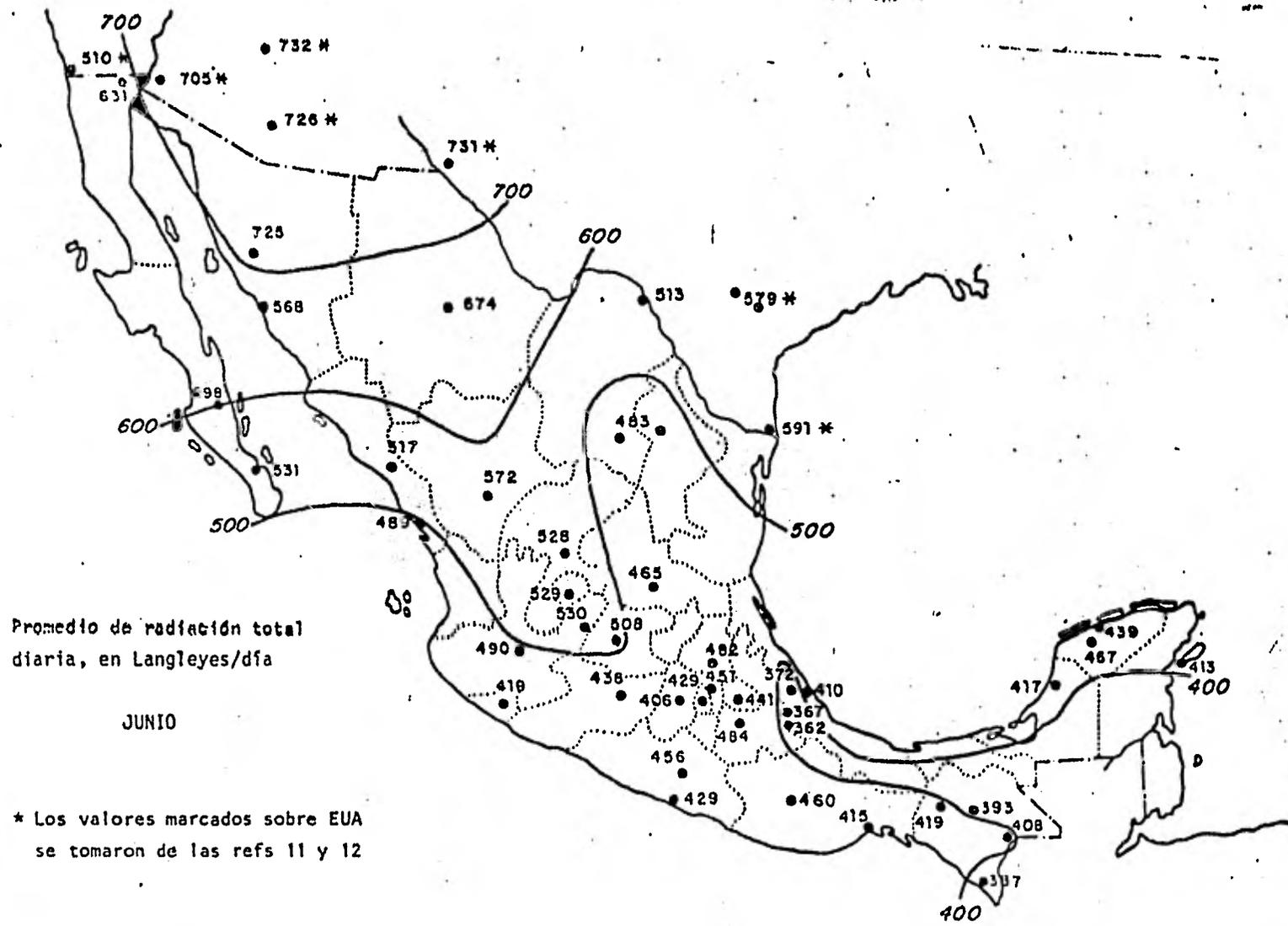
Promedio de radiación total  
diaria, en Langleyes/dfa

MARZO

\* Los valores marcados sobre EUA  
se tomaron de las refs 11 y 12



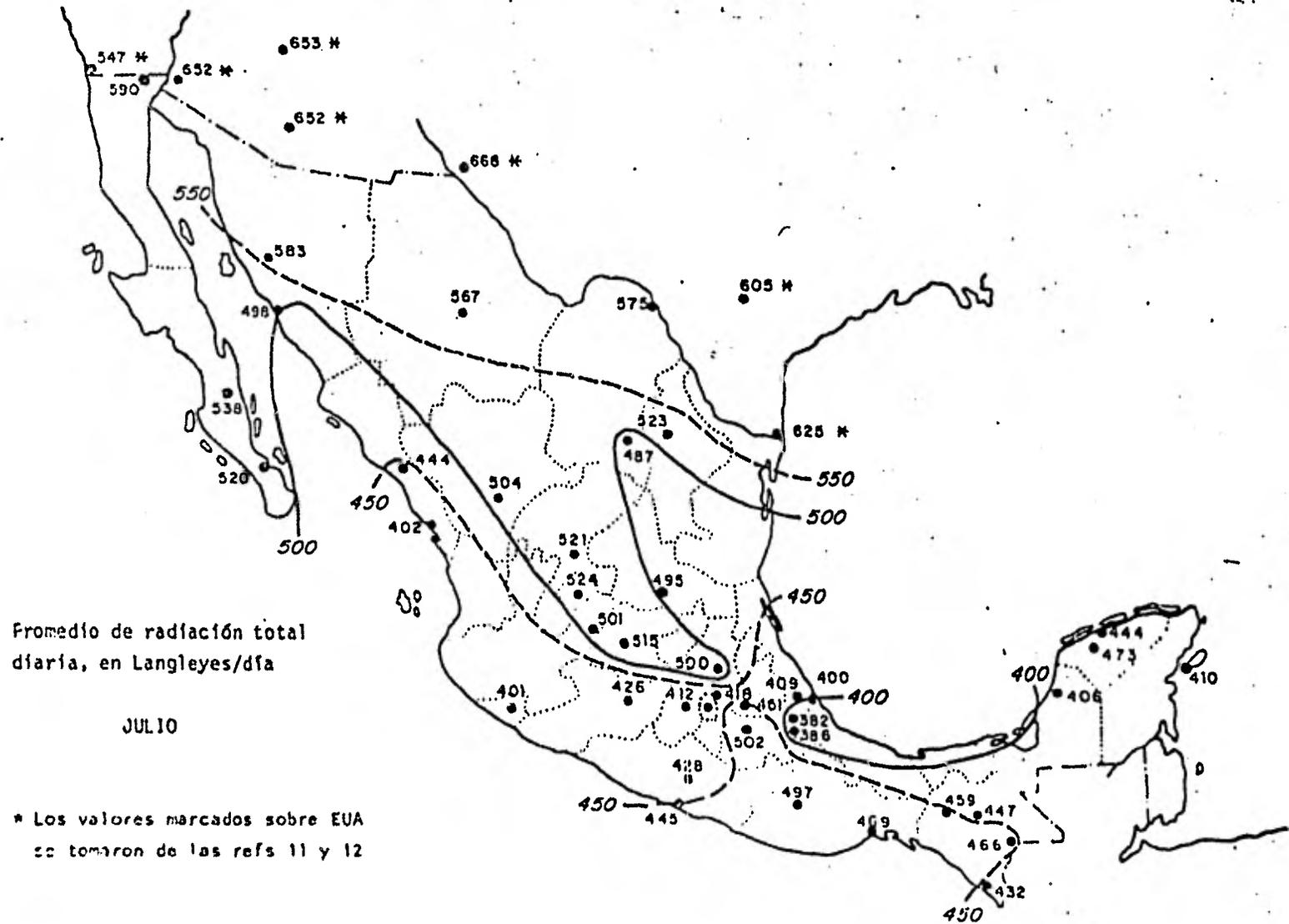


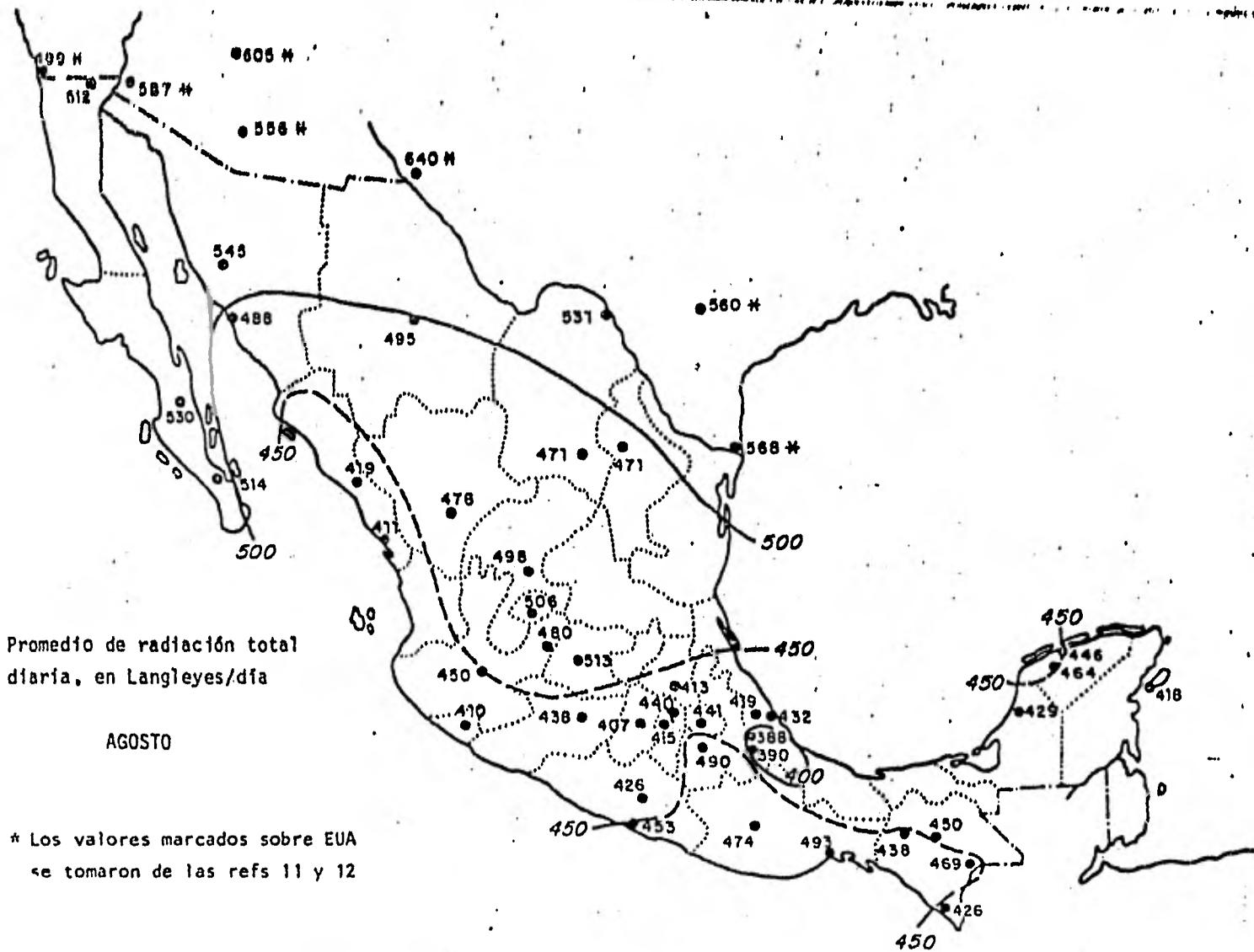


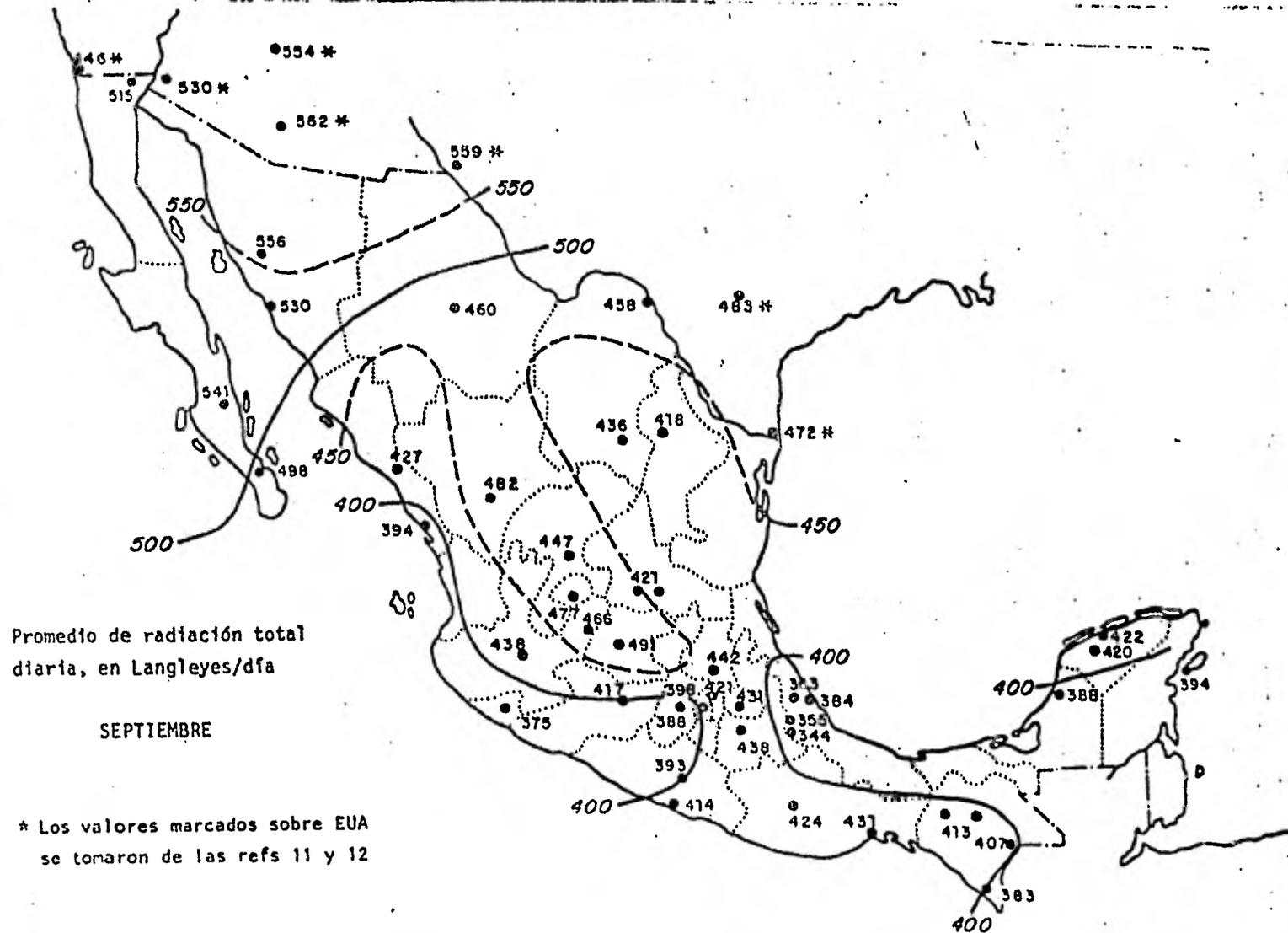
Promedio de radiación total  
diaria, en Langleyes/dfa

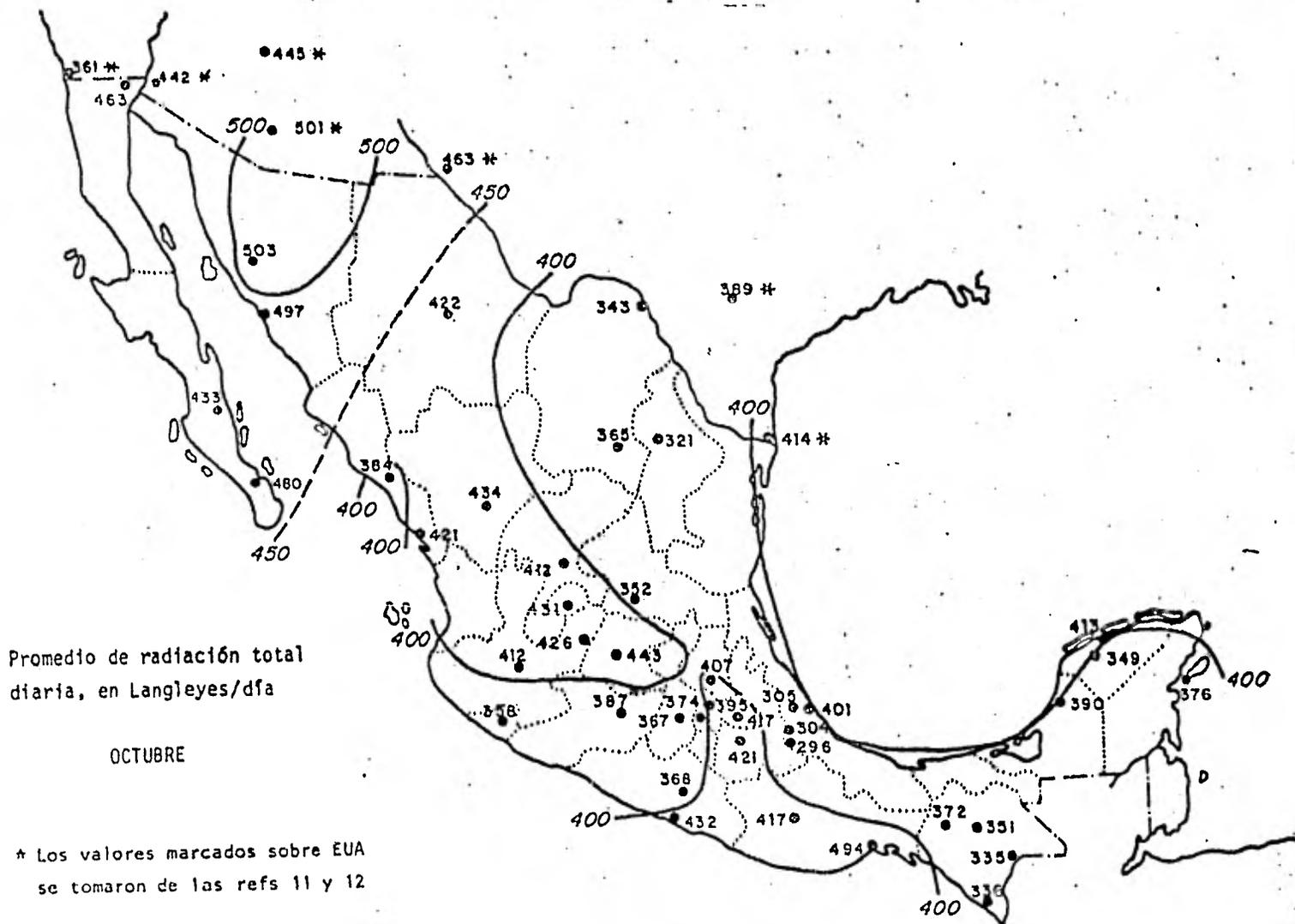
JUNIO

\* Los valores marcados sobre EUA  
se tomaron de las refs 11 y 12





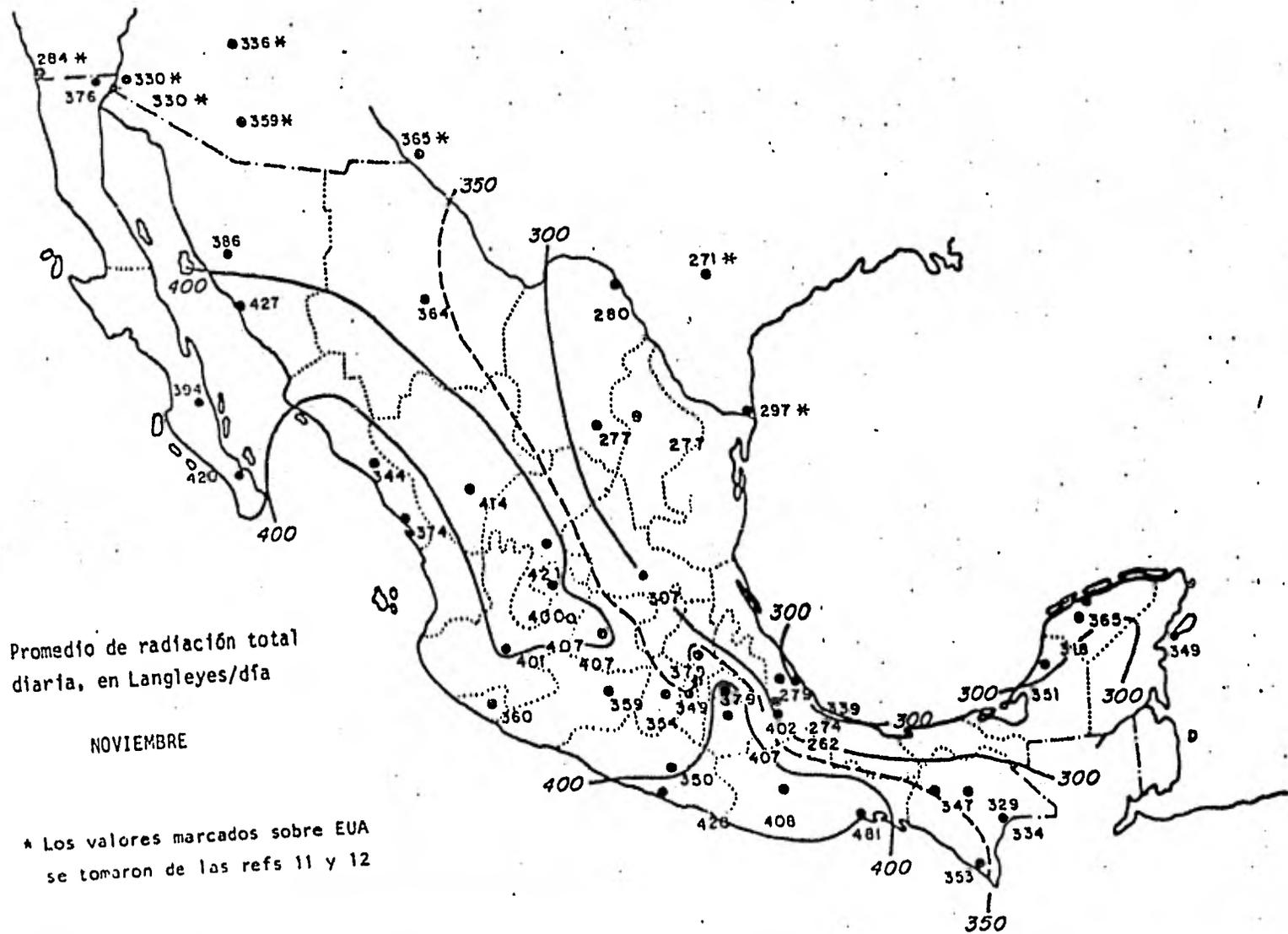




Promedio de radiación total diaria, en Langleyes/dfa

OCTUBRE

\* Los valores marcados sobre EUA se tomaron de las refs 11 y 12

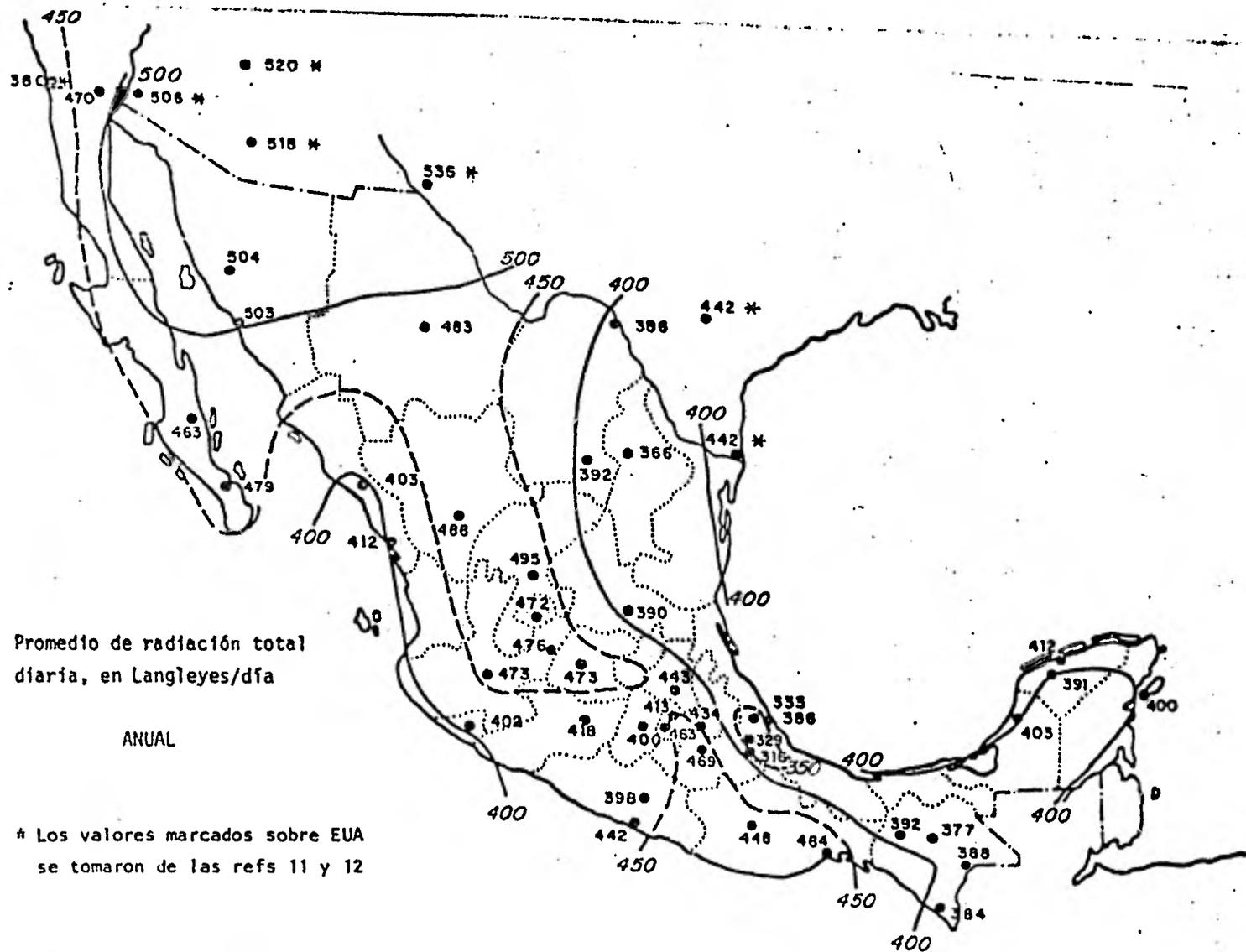


Promedio de radiación total  
diaria, en Langleyes/día

NOVIEMBRE

\* Los valores marcados sobre EUA  
se tomaron de las refs 11 y 12





Promedio de radiación total  
 diaria, en Langleyes/dfa

ANUAL

\* Los valores marcados sobre EUA  
 se tomaron de las refs 11 y 12

## V.- DISEÑO DEL SISTEMA

## PROLOGO

En este capítulo se emprende el diseño del sistema fotovoltaico en su parte más técnica, como lo es el diseño del sistema del generador solar y su batería de almacenamiento.

## METODOLOGIA DEL DISEÑO

La metodología es apropiada, para evaluar sistemas de generadores solares constituidos de células de silicio.

Se utiliza la tabla 2, para facilitar el diseño del sistema, los pasos siguientes ayudaran a completarla.

- 1) Estimar la demanda diaria de carga (Amp-h) para cada mes completando las columnas A, B, C, D, E y F. Los requerimientos de corriente durante el día y noche, columnas A y D, son estimadas por el usuario, así como las horas de operación durante el día y noche, columnas B y E.

| COLUMNA | A                               | B                            | C               | D                                 | E                              | F                 | G                          | I                    | J   | K*       | L**     |
|---------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|-----|----------|---------|
|         | PROMEDIO DE CORRIENTE EN EL DIA | HORAS DE OPERACION EN EL DIA | CARGA EN EL DIA | PROMEDIO DE CORRIENTE EN LA NOCHE | HORAS DE OPERACION EN LA NOCHE | CARGA EN LA NOCHE | DEMANDA DE CARGA ELECTRICA | INSOLACION           | G/I | SAL ELEC | DEFICIT |
| UNIDAD  | Amp                             | Horas                        | Amp-h           | Amp                               | Horas                          | Amp-h             | Amp-h/día                  | Kwh/m <sup>2</sup> d | A-p | AH/d     | Amp-h/d |
|         | Estimada                        | Estimadas                    | AxB             | Estimada                          | Estimadas                      | DxE               | C+(1.1) F                  |                      | G/I | P6xI     | L       |
| ENE     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| FEB     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| MAR     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| ABR     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| MAY     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| JUN     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| JUL     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| AGO     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| SEP     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| OCT     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| NOV     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |
| DIC     |                                 |                              |                 |                                   |                                |                   |                            |                      |     |          |         |

\* COLUMNA K = (PASO 6) X (COLUMNA I)

\*\* COLUMNA L =  $\begin{cases} \text{Si } K \geq G \Rightarrow L = 0 \\ \text{Si } K < G \Rightarrow L = K(\text{PROMEDIO}) \end{cases}$

NOTA: La carga en Amp-pico se basa en las siguientes consideraciones:

- 1) Amp-pico = Amp-h/día ÷ h/día de operación
- 2) h/día de operación = Kw-h/m<sup>2</sup>día ÷ Kw-pico/m<sup>2</sup>
- 3) Kw-pico/m<sup>2</sup> ≈ 1 para todas las localidades

- 2) Calcular la carga total, columna G, para cada mes ----  
( $G = C + (1.1)F$ ). El factor 1.1 es asumido considerando un 90 % de eficiencia de la batería.
- 3) Determinar la insolación del lugar donde operara el --  
sistema, con los mapas proporcionados en el capítulo 4.
- 4) Recalcular la insolación del lugar considerando la ---  
orientación del generador solar (latitud) columna I.  
En estos calculos se utiliza la siguiente formula:

$$E_{\lambda} = E \frac{\cos \delta}{\cos (\delta + \lambda)}$$

$\lambda$  = latitud

$\delta$  = declinación (ángulo del sol respecto al ecuador)

E = insolación recibida por un captador horizontal

$E_{\lambda}$  = Insolación recibida en un cantador a ángulo de  
orientación " $\lambda$ ".

La declinación esta dada por:

$$\delta = -23.45^{\circ} \text{ sen } (360(284 + n)/365)$$

en donde "n" es el día, en numeración progresiva del --  
año. Los días 15 de cada mes se recomiendan para "n".

5) Calcular los cocientes G/I, para cada m3s, columna J y seleccionar los dos meses, con los cocientes m3s -- altos para su utilizaci3n en el paso siguiente.

6) Estimar el tama1o del generador solar en Amp-pico, -- considerando los dos meses peores en cuanto a insolaci3n se refiere, como sigue:

$$\text{Generador Solar (Amp-pico)} = \frac{\text{Suma de la demanda el3ctrica para los dos meses peores, columna G.}}{\text{Suma de la insolaci3n para los mismos dos meses, columna I.}}$$

7) La capacidad de la bater3a es estimada en base a dos -- consideraciones: los requerimientos a largo y corto -- plazo. Lo primero para algunas estaciones del a1o y lo segundo para periodos de d3as nublados. La capacidad -- se estima como sigue:

a) Calcular la demanda diaria el3ctrica del generador solar, columna K, y determinar los meses con d3fi-- cit, columna L. Los requerimientos a largo plazo, -

son la suma de los meses con déficit.

b) Usando la tabla 1, determinar los días nublados máximos que se pueden presentar para la localidad en ---- cuestión. Los requerimientos para corto plazo son determinados multiplicando la carga eléctrica demandada, columna G, por los días nublados.

c) Calcular la capacidad total de la batería dividiendo la suma de requerimientos de corto plazo entre 0.5, el cual es un 50% profundidad de descarga -- sobre el tiempo de vida de la batería.

$$\text{Capacidad de la batería (Amp-h)} = \frac{(\text{corto plazo} + \text{largo plazo})}{0.5}$$

d) Calcular el tamaño de la batería en Watt-hora:

$$\text{Tamaño de la batería en Watt-h} = \text{capacidad (Amp-h)} \times \text{voltaje nominal (volt)}$$

8) Incrementar el tamaño del generador solar con un factor - de seguridad y convertir los Amp-pico en Watt-pico.

$$\text{Tamaño del generador solar (Amp-pico)} = \text{estimado} \times \begin{cases} 1.2 & \text{con asistencia} \\ 1.25 & \text{sin asistencia,} \\ & \text{accesible.} \\ 1.3 & \text{sin asistencia,} \\ & \text{inaccesible} \end{cases}$$

La conversión de Amp-pico a Watt-pico involucra tres pasos:

- a) Calcular el número de celdas de la batería para operar al voltaje nominal del sistema:

$$\text{número de celdas} = \frac{\text{voltaje nominal del sistema}}{2 \text{ volts por celda}}$$

- b) Calcular el voltaje requerido para la carga de la batería:

$$\text{Voltaje del generador solar} = 2.45 \text{ volts/celda} \times \text{número de celdas}$$

- c) Tamaño del generador solar en Watt-pico:

$$\text{T.G.S. (Watt-pico)} = (\text{Amp-pico del generador solar} \times \text{voltaje del generador solar}) + 1 \text{ Volt}$$

Nota: La carga en Amp-pico se basa en las siguientes consideraciones:

- 1) Amp-pico = Amp-h/día ÷ h/día de operación
- 2) h/día de operación = Kw-h/m<sup>2</sup> día ÷ Kw-pico/m<sup>2</sup>
- 3) Kw-pico/m<sup>2</sup> ≈ 1 para todas las localidades

Nota: Durante períodos de insolación débil o nula, en que el voltaje de circuito abierto del generador es menor que el voltaje de las baterías, no hay corriente de carga I<sub>c</sub>. Esta condición propicia la descarga de las baterías sobre los módulos solares.

Para prevenir este efecto, basta con colocar un diodo entre el generador y las baterías, Fig. 28.

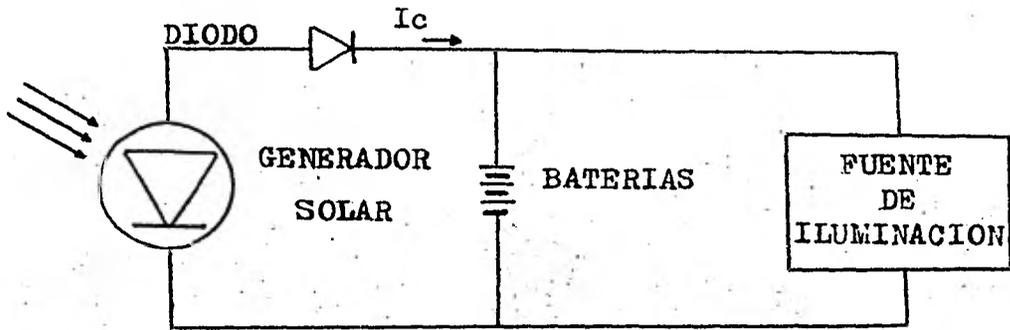


Fig. 28. Diagrama que muestra la interconexión del Generador Solar y la Fuente de Iluminación.

EJEMPLO PRACTICO

Supongase que se quiere alimentar, con un sistema fotovoltaico, un sistema de iluminación de:180 Watts, 12 Volt el cual tendra una operación de 3 horas durante el día y 4 horas durante la noche, en la localidad de Hermosillo, Sonora.

1) Demanda de corriente (Amp) =  $\frac{180 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 15 \text{ Amp}$

Carga en el día =(15 Amp)(3 horas) = 45 Amp-hora

Carga en la noche =(15 Amp)(4 horas) = 60 Amp-hora

2) Demanda diaria promedio =(15 Amp)(3 h) + (15 Amp)(4 h) 1.1  
= 111 Amp-h/día

3) De los mapas del capítulo número 4 :

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |  |
| 3.8 | 4.6 | 5.3 | 6.5 | 8.1 | 8.4 | 6.8 | 6.3 | 6.5 | 5.8 | 4.8 | 3.8 | $\frac{\text{Kw-h}}{\text{m}^2 \text{ día}}$ |

4) De la tabla número 1: LATITUD = 29° 04'

La insolación considerando la latitud, se encuentra en la columna I.

5) Columna J, los dos meses con los cocientes más grandes son: Diciembre y Enero

$$6) \text{ Generador Solar (Amp-pico)} = \frac{111 + 111}{5.55+5.72} = 19.82 \text{ Amp-pico}$$

7) a) Los requerimientos a largo plazo de la batería son:

$$131.33 \text{ Amp-hora/día (Tabla 2)}$$

b) Los requerimientos a corto plazo son:

$$(4 \text{ días})(111 \text{ Amp-hora/día}) = 444 \text{ Amp-hora}$$

$$c) \text{ Capacidad de la Batería (Amp-h)} = \frac{131.33 + 444.00}{0.5} = 1150.66 \text{ Amp-hora}$$

$$d) \text{ Potencia Requerida} = 1150.66 \text{ Amp-h} \times 12 \text{ Volt} = 13\ 808 \text{ Watt-h}$$

$$8) \text{ Tamaño del Generador Solar} = (19.82 \text{ Amp-pico})(1.2)$$

$$= 23.78 \text{ Amp-pico}$$

$$a) \text{ Número de celdas} = \frac{12 \text{ Volt}}{2 \text{ Volt celda}} = 6 \text{ celdas}$$

$$b) \text{ Voltaje del Generador Solar} = (2.45 \text{ Volt/celda})(6 \text{ celdas}) + 1 \text{ V}$$
$$= 15.7 \text{ Volts}$$

$$c) \text{ Tamaño del Generador Solar (Watt-pico)} = (23.78 \text{ Amp-p})(15.7 \text{ V})$$
$$= 373.34 \text{ Watts-pico}$$

| COLUMNA | A                                     | B                                  | C                     | D                                       | E                                    | F                       | G                                | I                    | J    | K*          | L**     |
|---------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---|--------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------|------|-------------|---------|
|         | PROMEDIO DE<br>CORRIENTE<br>EN EL DIA | HORAS DE<br>OPERACION<br>EN EL DIA | CARGA<br>EN EL<br>DIA | PROMEDIO DE<br>CORRIENTE<br>EN LA NOCHE | HORAS DE<br>OPERACION<br>EN LA NOCHE | CARGA<br>EN LA<br>NOCHE | DEMANDA<br>DE CARGA<br>ELECTRICA | INSO-<br>LACION      | G/I  | SAL<br>ELEC | DEFICIT |
| UNIDAD  | Amp                                   | Horas                              | Amp-h                 | Amp                                     | Horas                                | Amp-h                   | Amp-h/día                        | Kwh/m <sup>2</sup> d | A-p  | AH/d        | Amp-h/d |
|         | Estimada                              | Estimadas                          | AxB                   | Estimada                                | Estimadas                            | DxE                     | C+(1.1) F                        |                      | G/I  | P6xI        | L       |
| ENE     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 5.55                 | 20.0 | 110         | 131.33  |
| FEB     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 6.06                 | 18.3 | 120         | 0.00    |
| MAR     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 6.23                 | 17.8 | 123         | 0.00    |
| ABR     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 6.81                 | 16.3 | 135         | 0.00    |
| MAY     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 7.79                 | 14.2 | 154         | 0.00    |
| JUN     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 7.75                 | 14.3 | 154         | 0.00    |
| JUL     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 6.38                 | 17.4 | 126         | 0.00    |
| AGO     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 6.34                 | 17.5 | 126         | 0.00    |
| SEP     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 7.28                 | 15.2 | 144         | 0.00    |
| OCT     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 7.32                 | 15.2 | 145         | 0.00    |
| NOV     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 6.38                 | 17.4 | 126         | 0.00    |
| DIC     | 15.00                                 | 3                                  | 45.00                 | 15.00                                   | 4                                    | 60.00                   | 111.00                           | 5.72                 | 19.4 | 113         | 0.00    |

\* COLUMNA K = (PASO 6) X (COLUMNA I)

\*\* COLUMNA L =  $\begin{cases} \text{Si } K \geq G \Rightarrow L = 0 \\ \text{Si } K < G \Rightarrow L = K(\text{PROMEDIO}) \end{cases}$

NOTA: La carga en Amp-pico se basa en las siguientes consideraciones:

- 1) Amp-pico = Amp-h/día + h/día de operación
- 2) h/día de operación = Kw-h/m<sup>2</sup> día + Kw-pico/m<sup>2</sup>
- 3) Kw-pico/m<sup>2</sup> ≈ 1 para todas las localidades.

El dimensionamiento del banco de baterías quedaria resumido como:

Banco de baterías formado por 11 baterías plomo-ácido de 12 Volts y 110 amp-horas, cada una conectadas en paralelo.

El dimensionamiento del generador solar queda especificado como:

Generador solar formado por 16 paneles solares de 16 Volts y 25 Watts-pico, cada uno, conectados en paralelo.

NOTA: El area del generador solar será la de un rectángulo de 0.575 m X 9.20 m.

TABLA 1

| Localidad                      | Latitud | Longitud | Días Nublados |
|--------------------------------|---------|----------|---------------|
| Aguascalientes, Ags.           | 21° 53' | 102° 18' | 9             |
| Mexicali, B.C.N.               | 32 40   | 115 36   | 6             |
| San Borja, B.C.N.              | 28 32   | 113 40   | 6             |
| San Fernando, B.C.N.           | 29 55   | 115 20   | 1             |
| San Pedro Martir, B.C.N.       | 31 03   | 115 27   | 2             |
| Bahía Tortugas, B.C.S.         | 27 40   | 114 50   | 8             |
| Cerro de la Giganta, B.C.S.    | 26 10   | 111 35   | 1             |
| La Paz, B.C.S.                 | 24 10   | 110 21   | 2             |
| Punta Sto. Domingo, B.C.S.     | 26 20   | 112 35   | 2             |
| San Javier, B.C.S.             | 25 50   | 111 35   | 6             |
| San Luis Conzaga, B.C.S.       | 24 55   | 111 20   | 2             |
| Volcán de las Virgenes, B.C.S. | 27 30   | 112 35   | 4             |
| Pustunich, Camp.               | 19 07   | 90 25    | 6             |
| Tenalso, Camp.                 | 20 02   | 90 15    | 9             |
| Las Animas, Coah.              | 28 20   | 103 30   | 6             |
| Palo Verde, Coah.              | 26 21   | 101 29   | 11            |
| Saltillo, Coah.                | 25 17   | 100 54   | 12            |
| Sierra Mojada, Coah.           | 27 17   | 102 04   | 4             |
| Unión, Coah.                   | 28 14   | 100 44   | 16            |
| Colima, Col.                   | 19 14   | 103 45   | 16            |
| Comitan, Chis.                 | 16 15   | 92 44    | 14            |
| Ocosingo, Chis.                | 16 55   | 92 02    | 15            |
| Tuxtla, Chis.                  | 16 45   | 93 07    | 14            |
| Villa Flores, Chis.            | 16 14   | 93 16    | 15            |
| Ahumada, Chih.                 | 30 37   | 106 32   | 7             |
| Allende, Chih.                 | 26 55   | 105 25   | 6             |
| Cerro Mahinora, Chih.          | 25 58   | 107 03   | 4             |
| Jorisal, Chih.                 | 30 30   | 106 35   | 2             |
| Chapo, Chih.                   | 29 20   | 104 25   | 6             |
| Chihuahua, Chih.               | 28 38   | 106 05   | 10            |
| Delicias, Chih.                | 28 15   | 105 45   | 4             |
| Flores Magon, Chih.            | 29 55   | 106 55   | 3             |
| Gomez Flores, Chih.            | 30 32   | 105 50   | 6             |
| Guachochic, Chih.              | 26 52   | 107 10   | 6             |
| Maguariche, Chih.              | 27 50   | 108 03   | 6             |
| Sierra Tasajera, Chih.         | 29 20   | 105 35   | 3             |
| México, D.F.                   | 19 26   | 99 08    | 14            |
| Ciudad Lerdo, Dgo.             | 25 32   | 103 31   | 6             |
| Cuencame, Dgo.                 | 24 52   | 103 58   | 9             |
| Durango, Dgo.                  | 24 02   | 104 40   | 10            |
| Nombre de Dios, Dgo.           | 23 52   | 104 20   | 12            |
| Sta. Ma. de Otaez, Dgo.        | 24 40   | 105 50   | 10            |
| Sta. Ma. del Oro, Dgo.         | 25 57   | 105 20   | 2             |
| Chipancingo, Gro.              | 17 33   | 99 30    | 12            |
| San Luis de la Loma, Gro.      | 17 55   | 100 54   | 15            |

TABLA 1 (continuación)

| Localidad                | Latitud | Longitud | Días Nublado |
|--------------------------|---------|----------|--------------|
| Teloloapan, Gro.         | 18°22'  | 99°53'   | 15           |
| Tepocoacuilco, Gro.      | 18 17   | 99 28    | 14           |
| Guanajuato, Gto.         | 21 02   | 101 15   | 14           |
| San Luis de la Paz, Gto. | 21 18   | 100 32   | 19           |
| Izmiquilpan, Hgo.        | 20 29   | 99 13    | 15           |
| Pisaflores, Hgo.         | 21 12   | 99 00    | 18           |
| Cihuatlán, Jal.          | 19 14   | 104 34   | 13           |
| Guadalajara, Jal.        | 20 41   | 103 23   | 14           |
| Talpa de Allende, Jal.   | 20 24   | 104 50   | 14           |
| Toluca, Mex.             | 19 27   | 99 37    | 17           |
| Aguililla, Mich.         | 18 44   | 102 44   | 17           |
| Huajumbaro, Mich.        | 19 41   | 100 44   | 17           |
| Morelia, Mich.           | 19 42   | 101 12   | 16           |
| Tequicheo, Mich.         | 18 54   | 100 44   | 14           |
| Zacatepec, Mor.          | 18 41   | 99 15    | 17           |
| Acanoneta, Nay.          | 22 29   | 105 22   | 12           |
| Huajimic, Nay.           | 21 41   | 104 18   | 11           |
| Jesus María, Nay.        | 22 15   | 104 32   | 12           |
| Ruiz, Nay.               | 21 27   | 105 09   | 10           |
| Los Aldama, N.L.         | 26 04   | 99 11    | 16           |
| Galeana, N.L.            | 24 50   | 100 04   | 8            |
| Monterrey, N.L.          | 25 44   | 100 18   | 13           |
| Villaldama, N.L.         | 26 30   | 100 26   | 9            |
| Juquilla, Oax.           | 16 14   | 97 18    | 17           |
| Juxtlahuaca, Oax.        | 17 20   | 98 01    | 17           |
| Oxaca, Oax.              | 17 06   | 96 39    | 22           |
| Tecomaya, Oax.           | 17 58   | 97 01    | 20           |
| Tequisistlan, Oax.       | 16 24   | 95 36    | 21           |
| Chiautla, Pue.           | 18 17   | 98 36    | 16           |
| Huachinango, Pue.        | 20 11   | 98 03    | 14           |
| La Malinche, Pue.        | 19 14   | 98 02    | 15           |
| Queretaro, Gro.          | 20 36   | 100 23   | 14           |
| Cozumel, C.R.            | 20 32   | 86 27    | 7            |
| Polyue, Q.R.             | 19 37   | 88 34    | 11           |
| Cerritos, S.L.P.         | 22 26   | 100 17   | 13           |
| Matehuala, S.L.P.        | 23 39   | 100 38   | 14           |
| Sto, Domingo, S.L.P.     | 23 20   | 101 44   | 18           |
| Vieja, S.L.P.            | 22 04   | 99 25    | 13           |
| Cruz, Sin.               | 23 55   | 106 55   | 11           |
| Culiacan, Sin.           | 24 49   | 107 24   | 6            |
| La Laguna, Sin.          | 26 35   | 108 27   | 3            |
| Topolobampo, Sin.        | 25 36   | 109 03   | 5            |
| Altar, Son.              | 30 41   | 111 44   | 1            |
| Bacadehuachi, Son.       | 29 37   | 109 27   | 5            |
| Bacanora, Son.           | 28 59   | 109 23   | 3            |

TABLA 1 (continuación)

| Localidad                | Latitud | Longitud | Días Nublados |
|--------------------------|---------|----------|---------------|
| Cerro Viejo, Son.        | 30° 20' | 112° 15' | 5             |
| Hermosillo, Son.         | 29 04   | 110 04   | 4             |
| Libertad, Son.           | 29 54   | 112 45   | 1             |
| Onabas, Son.             | 28 23   | 109 15   | 1             |
| Punta Peñasco, Son.      | 29 55   | 113 33   | 3             |
| Quiriego, Son.           | 27 32   | 109 15   | 1             |
| Comacalco, Tab.          | 18 16   | 93 14    | 14            |
| Villahermosa, Tab.       | 17 59   | 92 55    | 9             |
| Abasolo, Tam.            | 24 04   | 98 23    | 11            |
| Camargo, Tam.            | 26 19   | 98 50    | 14            |
| Casas, Tam.              | 23 44   | 98 44    | 11            |
| Guerrero, Tam.           | 26 47   | 99 20    | 9             |
| Jaumave, Tam.            | 23 24   | 99 22    | 15            |
| Jimenez, Tam.            | 24 13   | 99 29    | 15            |
| Matamoros, Tam.          | 22 12   | 97 52    | 17            |
| Tampico, Tam.            | 22 14   | 97 42    | 12            |
| Coatzacoalcos, Ver.      | 18 09   | 94 25    | 16            |
| Coatzintla, Ver.         | 20 29   | 97 26    | 15            |
| Cosamaloapan, Ver.       | 18 22   | 95 48    | 21            |
| Ozuluama, Ver.           | 21 02   | 97 56    | 15            |
| Pico de Orizaba, Ver.    | 19 04   | 97 16    | 11            |
| San Felipe, Yuc.         | 21 34   | 89 13    | 5             |
| Sisal, Yuc.              | 21 10   | 90 02    | 12            |
| Valladolid, Yuc.         | 20 41   | 89 14    | 9             |
| Concepción del Oro, Zac. | 24 37   | 101 26   | 11            |
| Ojo Caliente, Zac.       | 22 35   | 102 15   | 15            |
| Pinos, Zac.              | 22 18   | 101 34   | 12            |
| Valparaiso, Zac.         | 22 46   | 103 35   | 12            |
| Villa de Cos, Zac.       | 23 18   | 102 21   | 11            |

### COMPARACION DEL COSTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y DIESEL

El costo del sistema fotovoltaico está dividido entre gastos asociados con (1) el módulo fotovoltaico y (2) con el resto del sistema (montaje, estructura, conexiones eléctricas, baterías, instalación).

En cuanto al generador diesel es necesario considerar su costo, junto con los gastos de mantenimiento y de funcionamiento (combustible).

La figura 29, muestra el costo de energía de un sistema fotovoltaico y un generador diesel de 3 kW en 1980.

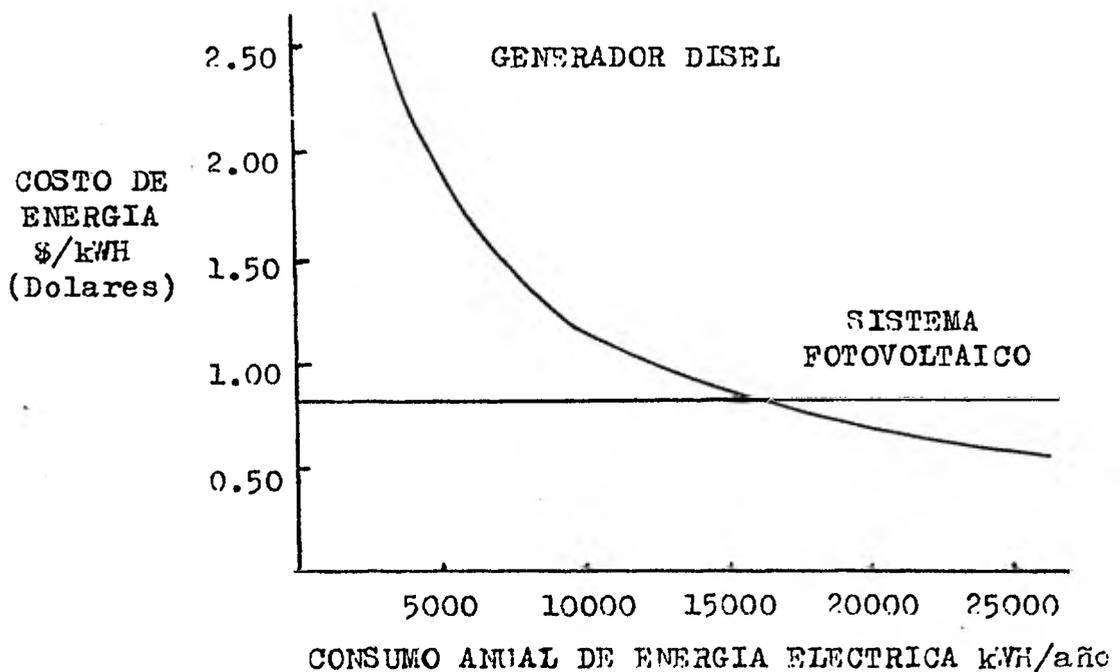


Fig. 29. Comparación del costo de los sistemas fotovoltaicos y diesel.

## VI.- CONCLUSIONES

La experiencia con los sistemas fotovoltaicos ya instalados, y que están en la actualidad proporcionando una serie de servicios para los usuarios en las zonas rurales prueba que los sistemas fotovoltaicos pueden proporcionar una forma viable para cumplir con las necesidades eléctricas básicas de dichas zonas, lo cual les permitiría a su vez disponer de una fuente con que lograr la iluminación adecuada de luz artificial de sus viviendas. El desarrollo técnico de los sistemas fotovoltaicos es maduro, esto se refleja en que usa materiales que se encuentran ya en el mercado para los subsistemas antes descritos. La fiabilidad de los sistemas fotovoltaicos, basados en los datos acumulados hasta la fecha, parece ser satisfactoria. El costo del sistema energético fotovoltaico, hoy, puede competir con otras fuentes alternativas de energía. Se puede anticipar que en los próximos años el costo del sistema fotovoltaico tenderá a disminuir, debido al constante avance tecnológico de nuestra época. Por lo que es muy posible que para un futuro cercano los sistemas fotovoltaicos constituirán la fuente más económica para la producción de iluminación artificial en las zonas rurales de nuestro país.

El uso de módulos permite que el sistema fotovoltaico - se ajuste a las necesidades del consumidor, desde Watts - hasta Kilowatts. Igualmente, debido a su estructura modular, se puede incrementar el sistema de iluminación según se requiera en el futuro. Esta opción para incrementar la potencia asociada con el sistema fotovoltaico está en --- marcado contraste con los requisitos que se asocian con - los montajes de generación centralizada.

En conclusión el sistema fotovoltaico se debe enfocar - como una alternativa realista para los sistemas de iluminación de las zonas rurales. Y, a largo plazo, los sistemas fotovoltaicos suponen una fuente de energía renovable que podría reducir grandemente el que se dependa de combustibles para la generación de energía eléctrica en dichas zonas de nuestro país.

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

1. Abell, George, Exploration of Universe, Holt and Winston, Nueva York, 1969.
2. Almanza y Lopez, Radiacion Solar en la Republica Mexicana, U.N.A.M., México, D.F., 1978.
3. Baker and Fredrick, Astronomy, Van Nostran, Princeton, 1968.
4. Febrer, J., Lecciones de Astronomia, Reverte S.A., -- México, D.F., 1959.
5. Ferrer, Antonio, Lámparas Eléctricas, Calpe, Madrid -- 1959.
6. Groba, Adolfo, Manual Practico de Iluminación, Futuro, Buenos Aires, 1956.
7. Gurrola, Jesús, La Cosmografía, Diana, México, D.F., - 1971.
8. Harvey, Robert, Empleo y Carga de Acumuladores, Hispano-Americana, Barcelona, 1959.
9. Keyser, Carl, Cincia de Materiales, Limusa, México, -- D.F., 1975.
10. Kraehenbuehl, John, Electrical Ilumination, John Wiley & Sons, Londres, 1952.
11. Office of Technology Assessment, Congress of the United States, Solar Technology, Washington, D.C., 1978.
12. Ramírez, V.J., Pilas y Acumuladores, CEAC, S.A., Barcelona, 1959.
13. Solarex Corporation, Building Blocks for Solar Electricity, Solarex Corporation, Maryland, 1980.
14. Telefunken, Solar Power, Telefunken, Alemania, 1978.