



9  
24  
UNAM

**Universidad Nacional Autónoma de México**

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
"ACATLAN"

**"APLICACION DE LA ENERGIA SOLAR  
EN LA EDIFICACION"**

**TESIS CON  
RALLA DE ORIGEN**

**Tesis Profesional**

Que para obtener el título de:

**INGENIERO CIVIL**

**P r e s e n t a :**

**Ignacio Said Fayad Minaburo**



Acatlán, Edo. de México



1990



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

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

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

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

## I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1. FUENTES NATURALES DE ENERGIA.	
1.1 ENERGIA HIDRAULICA.	3
1.2 ENERGIA EOLICA.	5
1.3 ENERGIA DE LOS MARES.	8
1.4 ENERGIA GEOTERMICA.	14
1.5 COMBUSTIBLES FOSILES.	16
1.6 ENERGIA NUCLEAR.	18
CAPITULO 2. LA ENERGIA SOLAR.	
2.1 GENERALIDADES.	22
2.2 CONVERSION TERMICA.	29
2.3 CONVERSION ELECTRICA.	34
CAPITULO 3. APLICACIONES PARA CASAS HABITACION Y EDIFICIOS.	
3.1 SISTEMAS DE ELECTRIFICACION.	41
3.2 SISTEMAS PARA CALENTAMIENTO DE AGUA.	47
3.3 SISTEMAS PARA CALEFACCION.	56
CAPITULO 4. PROCESO CONSTRUCTIVO.	
4.1 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR.	70
4.2 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES PARA LOS CAPTADORES.	82

4.3 RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION, MANTENIMIENTO Y USO DE LOS SISTEMAS SOLARES.	88
CAPITULO 5. EJEMPLO DE UTILIZACION	
5.1 EJEMPLO DE UTILIZACION, ANALISIS DE COSTOS Y COMPARACION CON LOS SISTEMAS CONVENCIONALES.	92
CONCLUSIONES.	108
BIBLIOGRAFIA.	111

## I N T R O D U C C I O N

El tema de la energía reviste gran importancia, ya que a través de ésta se llevan a cabo todas las actividades de la humanidad.

En las sociedades de mayor desarrollo tecnológico, se tiene un mayor consumo de energía ; comparada con otras partes del mundo que se encuentran en desarrollo. Nuestro país, es una sociedad en desarrollo y como tal requiere consumir mayores cantidades de energía. En la actualidad, esto no representa un gran problema ya que México, además de ser uno de los principales productores de petróleo, ha desarrollado otras fuentes energéticas como son: la hidroeléctrica, la geotérmica, la nuclear y la termoeléctrica. Sin embargo, se debe considerar que en la actualidad, las fuentes energéticas fundamentales en el mundo son los combustibles fósiles y que éstos son recursos no renovables cuya vida se acerca a su fin. De todo lo anterior, se desprende que si no se desarrollan otras fuentes energéticas capaces de satisfacer las demandas futuras de la sociedad; se estará en los umbrales de una crisis energética de severas consecuencias. Se debe decir, que se han venido investigando y desarrollando diversas fuentes energéticas no convencionales, que podrían llegar a cubrir conjuntamente las necesidades energéticas de la sociedad. Dentro de esta consideración se encuentra la energía solar, la cual por sus características representa una alternativa considerable dentro de las posibilidades energéticas no convencionales.

En este trabajo se presentan las características generales de la energía solar así como sus diversas aplicaciones a la edificación. La finalidad del uso de este tipo de energía en la edificación será la de satisfacer las necesidades de : calentamiento de agua, calefacción o climatización de espacios y la generación de energía eléctrica.

Para hacer una descripción de la energía solar aplicada a la edificación se presentan desde los diversos dispositivos que se emplean para captar este recurso hasta la integración de sistemas que buscarán cubrir los diversos requerimientos ya mencionados. También se hace referencia a la disponibilidad que de este recurso se tiene en la República Mexicana para ver la factibilidad de su utilización, y se presentan algunos métodos que permitan evaluar la eficiencia de los diversos sistemas.

Para usar actualmente estas alternativas energéticas no convencionales, en este caso particular la energía solar, es necesario conocer si su uso se justifica económicamente por lo que se presenta un análisis comparativo con los métodos convencionales que se usan para cubrir los requerimientos habitacionales.

En resumen, el objetivo del presente trabajo es analizar el aprovechamiento de la energía solar en casas habitación y edificios como sistemas alternos de: electrificación, calentamiento de agua y calefacción. Comparando con los sistemas convencionales.

## C A P I T U L O 1

### FUENTES NATURALES DE ENERGIA



## 1.1 ENERGIA HIDRAULICA

El aprovechamiento de este tipo de energía se remonta al uso de la rueda hidráulica, cuya función era la de moler diversos productos agrícolas. Dicho empleo tiene antecedentes hacia el siglo I a. de C.

En la actualidad el empleo de la energía hidráulica se enfoca a la conversión de ésta en energía eléctrica principalmente.

Para obtener energía del agua, se aprovecha primordialmente la energía de posición del agua. Esto se consigue propiciando una caída de agua a través de la construcción de una presa o aprovechando una caída natural, como se hizo en las cataratas del Niágara.

Este concepto se lleva a cabo en las plantas hidroeléctricas cuyo funcionamiento descrito de manera general es el siguiente: al abrir las compuertas de la presa, se hace pasar el agua a través de las turbinas, las cuales se encargan de transformar la energía cinética del agua en energía rotativa. Las turbinas se encuentran conectadas a un generador el cual producirá la energía eléctrica.

Las partes principales que constituyen una planta de este tipo son los conductos a presión que se inician en la obra de toma y las turbinas, que son donde terminan éstos.

Las turbinas a utilizar pueden ser de varios tipos: las turbinas de reacción, en las que el agua después de pasar a través de los álabes entra al tubo de aspiración y sale al cárcamo de desfogue, regresando de ahí al río. Las turbinas del tipo de impulso, son las que el agua después de chocar contra los canchilones pasa directamente al cárcamo y al desfogue.

La potencia de este tipo de plantas estará en función tanto de la magnitud de la caída como del gasto; en base a estos criterios se clasifican como:

Plantas de baja caída	$H < 30m.$
Plantas de mediana caída	$30 < H < 150m.$
Plantas de alta caída	$150 < H < 300m.$
Plantas de muy alta caída	$300 < H < 2000m.$

en cuanto al gasto se dividen en:

Gasto pequeño	$Q = 5m^3/seg.$
Gasto mediano	$Q = 25m^3/seg.$
Gasto grande mayor que	$Q = 25m^3/seg.$

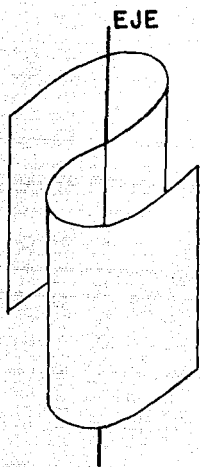
Analizando este tipo de plantas es muy importante hacer notar que se logra una eficiencia que alcanza entre un 80 y 90%. El cual si lo comparamos con el rendimiento medio producido a través del petróleo y el carbón es del 30%. Otro aspecto que se debe mencionar, es que estas plantas sólo se pueden ubicar donde las características topográficas lo permitan.

## 1.2 ENERGIA EOLICA

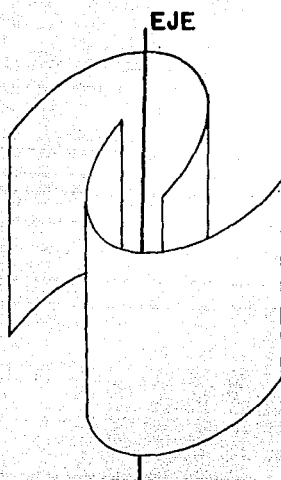
Al igual que en el caso de la energía hidráulica, el uso de la energía eólica se remonta a cientos de años atrás en aquellos molinos cuya finalidad era moler diversos cereales y en otros casos bombear agua. Otro uso muy importante, se tiene en la navegación, donde los veleros aprovechaban su gran velocidad para trasladarse alrededor del mundo. Estos buques establecieron récords de velocidad que fueron superados hasta 1976.

Para la conversión de energía eólica a eléctrica se necesita de un rotor eólico, el cual debe ser una estructura muy sensible a los vientos de poca velocidad y resistente a los vientos más fuertes. El diseño convencional es a base de hélices de varias paletas cuya eficiencia dependerá de que se encuentre orientada a la corriente de aire. Dicha hélice debe encontrarse montada sobre una torre. Actualmente se está proponiendo el diseño de un rotor con un eje vertical y así no sería necesario orientar el dispositivo, pues sus paletas siempre estarían en el ángulo correcto en relación al viento (como se indica en la fig. 1).

El principal problema en lo que se refiere a la producción de electricidad, se finca básicamente en la variabilidad de la fuente energética, lo que producirá variaciones en la frecuencia, el voltaje o en ambas. Una de las soluciones más comunes a este



Rotor simple en "S".



Rotor Savonius.

FIG. 1

problema sería el ocupar el eje rotante del generador para impulsar un alternador, ésto producirá una corriente alterna que variará en función a la velocidad del viento. Para aprovechar esta energía generada, se puede usar un inversor electrónico para obtener un suministro de corriente alterna totalmente estabilizada, o en otro caso acumular en baterías la electricidad generada. Ambos procedimientos resultan bastante costosos y por ello se propone el uso de generadores de inducción, los cuales proveerán de energía a las líneas principales cuando la velocidad de rotación del eje sea superior a la frecuencia de la red y extraerá energía cuando ocurra lo contrario y en el caso de que la velocidad del viento sea muy baja se puede instalar un mecanismo de seguridad en el circuito eléctrico que aisle al generador.

El aprovechamiento de este tipo de energía, presenta varios problemas, el principal como ya se mencionó es la rápida variación de la velocidad del viento lo que hace depender de un suministro energético inestable. Otro problema, se refiere a la resistencia de los materiales ya que cuando el viento sopla a su máxima velocidad impone esfuerzos considerables lo que obliga a cambiar el ángulo de incidencia del dispositivo para que se oponga la menor resistencia a la corriente de aire y la estructura se mantenga estable. En cuanto a los costos, dependerá de la localidad ya que si se escogen lugares de gran incidencia de vientos, el costo del sistema puede abarataarse.

### 1.3 ENERGIA DE LOS MARES

El mar nos ofrece diferentes tipos de energía que pueden ser aprovechados. Entre los que ofrecen mayores posibilidades están: la energía generada por el oleaje, la energía de las mareas y la energía térmica oceánica. A continuación se describe de manera general el mecanismo de aprovechamiento de estos recursos.

En lo que se refiere a energía generada por el oleaje, éste es producido por el efecto viento sobre la superficie del agua. Se produce un movimiento en el que cada partícula del agua se mueve en una trayectoria circular a una velocidad constante por lo que no hay traslación absoluta de las partículas de agua.

Para poder obtener energía de este recurso se debe contar con un mecanismo flotante capaz de absorber la ola que viene de frente sin producir, al mismo tiempo, una detrás de ella. Este criterio regirá el diseño de los dispositivos con los que se experimenta actualmente. El mecanismo para transformar la energía involucra el aprovechamiento del movimiento basculante del dispositivo para proporcionar golpes de agua a presión por medio de una bomba invertida. Esta agua a presión podría hacer funcionar un generador. La energía se trasladaría a tierra firme a través de un cable submarino. Otra posibilidad sería bombear agua de alta presión a tierra y generar allí la electricidad.

Al igual que en el caso de la energía eólica, la generación de energía no será constante ya que en ciertos momentos las olas serán tan fuertes que el mecanismo tendrá que ser desconectado, (posiblemente sumergiéndolo) y en otros casos las olas que se generan propiciarán casi nada de energía. Esto llevará a la necesidad de tener medios de acumulación y generación de reservas energéticas lo que implica un mayor costo.

Estudios realizados en el laboratorio de hidráulica del I.P.N. han mostrado la necesidad de usar varios kilómetros de costa para que el aprovechamiento sea significativo y pueda satisfacer las necesidades de un poblado mediano.

En lo que se refiere a las mareas, éstas cuentan con el potencial necesario para ser consideradas como una posibilidad muy importante en la generación de energía eléctrica. Tomando en cuenta además de que ya se han generado las tecnologías que hacen competitivo a nivel comercial este tipo de energía.

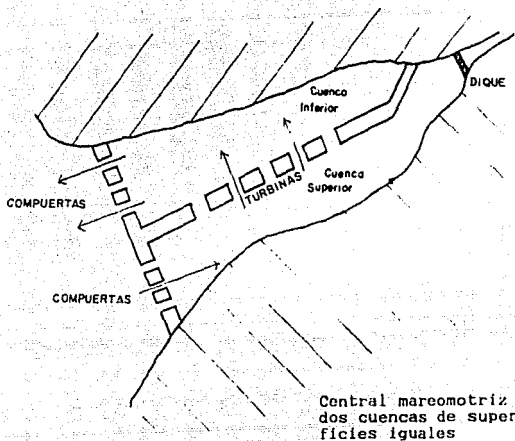
Una planta mareomotriz está formada por una cuenca artificial en donde se contiene el agua durante la marea alta. Cuando ésta desciende, se permite el regreso del agua hacia el mar y se hace funcionar, al mismo tiempo, las turbinas que producen electricidad. La eficiencia puede incrementarse si se instala otro conjunto de turbinas que funcionan cuando el embalse se llene. El uso de una sola cuenca significa que se produce una escasez de

energía en un punto determinado entre la marea alta y la baja. Esto se soluciona con la existencia de dos cuencas y funcionará de la siguiente manera: las compuertas permitirán el llenado de la cuenca superior entre la marea media y la alta cerrándose entre la marea media y la baja. Las compuertas correspondientes entre la cuenca inferior y el mar permitirán su vaciado entre la marea media y la baja y permanecen cerradas durante la media y la alta. La generación de electricidad tiene lugar en ambas cuencas (fig. 2). Esta solución implica un mayor costo.

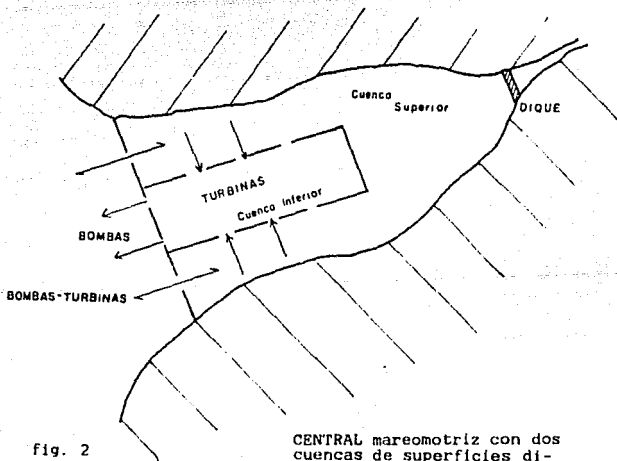
El proyecto también puede mejorarse si se sustituyen las compuertas por bombas, para evitar la pérdida de carga durante el paso por las compuertas. La desventaja de este tipo de plantas frente a los combustibles fósiles es su alto costo, aunque al mejorar la eficiencia se puede lograr una mejor competitividad a nivel comercial.

La obtención de energía térmica marina por medio de lo que se denomina planta C.E.T.O. (Convertidor de Energía Térmica Oceánica) se basa en la diferencia de temperaturas existentes entre el fondo del mar y la superficie (que para ser aprovechable debe ser por lo menos 18°C) fenómeno que ocurre en los mares comprendidos entre los 20° de latitud norte y 20° de latitud sur (arriba y abajo del ecuador). Por medio de estudios oceanográficos y de satélites se logró determinar que los lugares adecuados para ubi-





Central mareomotriz con dos cuencas de superficies iguales



CENTRAL mareomotriz con dos cuencas de superficies diferentes

fig. 2

car este tipo de plantas son: el norte de Australia, Indonesia, Filipinas, la Isla Guam y la costa del Pacifico de México, desde la punta de Baja California hasta Centroamérica. El caribe cuenta con zonas disponibles para ello. En México específicamente, las costas de Puerto Vallarta y la desembocadura del rio Balsas son ideales para la instalación de estas plantas ya que existen cañones submarinos muy apropiados para dicho propósito. Cerca de la isla Revillagigedo se encuentran profundidades de entre 800 y 1000 metros, adecuados para proporcionar la diferencia de temperatura requerida. El equipo consta de un evaporador de ráfaga, una turbina de baja presión, condensador, bombas de agua y algunos implementos más. Su funcionamiento consiste en hacer circular el agua caliente en el evaporador, de donde sale para mover la turbina. Luego el vapor se envía a un condensador, en el que previamente se tiene agua extraída del fondo, con el que intercambia calor para producir agua potable. Esto en las centrales de ciclo abierto.

Las de ciclo cerrado emplean los principios de los refrigeradores caseros para intercambiar calor por medio de amonio. No obstante se ha comprobado que las de ciclo abierto mejoran las perspectivas cuando se usan para potencias altas. Las de este tipo como ya se mencionó, permiten la desalinización del agua lo que abriría paso a una agricultura intensiva.

Según se han hecho estudios el costo de este tipo de plantas re-

presenta un promedio de cuatro a cinco centavos de dólar por kilowatt-hora (la tubería del agua fría absorbe aproximadamente la mitad del costo total).

Además de los recursos antes mencionados existen otros que comienzan a investigarse como la diferencia de densidad entre el agua del mar y la de los ríos (gradiente salino). Así mismo los mares poseen inmensas corrientes marinas como las del Kuroshiba en el Pacífico o el Gulf Stream en el Atlántico que trasladan una cantidad de agua de 50 y 80 *svepdrus* respectivamente (considerando que cada *svepdrus* equivale a un millón de metros cúbicos por segundo) la capacidad energética disponible es considerable; pero no se cuenta aún con los recursos tecnológicos necesarios para aprovechar este recurso.

#### 1.4 ENERGIA GEOTERMICA

En este tipo de energia se aprovecha el calor que se transfiere desde el centro de la tierra. El calor es transportado por convección en los manantiales termales, los géisers y los rios de lava que en ocasiones afloran a la superficie.

Las características geológicas en la vecindad de una fuente de energia geotérmica se caracteriza generalmente, por una capa de roca porosa sobre una capa de roca impermeable cristalina.

Conforme aumente la profundidad aumenta también la temperatura, así se tiene que en estas zonas a profundidades de 10 km. el agua en las fisuras o en las rocas porosas alcanza temperaturas hasta de 250°C, pero se mantiene en estado líquido por las presiones que a esa profundidad se tienen. Parte del agua puede escapar a través de una fisura para alcanzar su punto de ebullición y salir despedida como vapor. La energia geotérmica se puede aprovechar de dos maneras: una es utilizando el vapor emitido y la otra es perforando las capas porosas para hacer salir el agua recalentada. Existen en operación tres tipos de plantas geotérmicas. Las de vapor seco donde el vapor es conducido a través de tuberías hasta las turbinas, pero como la presión es muy baja se necesitan enormes cantidades, lo que limita la capacidad de la planta.

Además se presentan temperaturas también muy bajas por lo que el rendimiento en función de la cantidad de energia disponible es

bajo.

Las plantas de vapor húmedo son más abundantes y en este tipo de plantas el vapor debe pasar a través de turbinas especiales, mientras que el agua caliente puede destinarse a la calefacción.

Finalmente, los campos de agua a baja temperatura (90-80°C) emplean el agua directamente para calefacción.

En este tipo de plantas se presentan con cierta frecuencia algunos problemas, como el que afloran a la superficie ciertos elementos químicos que pueden dañar las instalaciones. También es frecuente que se presenten hundimientos en el terreno. En la planta ubicada en Cerro Prieto, en 1972 se llegaron a presentar hundimientos considerables (de hasta 12 cm.), y ya se tenían antecedentes por un caso similar ocurrido en la planta de Wairakei en Nva. Zelanda. También se debe considerar que si el ritmo de extracción de agua es muy elevado puede producir un cambio de las características del campo de vapor húmedo a vapor seco.

## 1.5 COMBUSTIBLES FOSILES

El carbón, el petróleo, el gas natural y la turba son conocidos como los combustibles fósiles dado que están compuestos de materia orgánica descompuesta, pero en cada caso la materia que les da origen así como su proceso de formación son distintos.

Con un origen común ya que la materia origen es la vegetación que creció sobre las tierras húmedas, pantanos y estuarios, están tanto el carbón como la turba. Su proceso de formación es similar ya que la descomposición de esta vegetación se efectuó por procedimientos microbiológicos y sin la intervención del aire. La transformación de la turba a carbón se determina por el enterramiento de esta en sedimentos arenosos.

El origen del petróleo y del gas natural está determinado por cualquier organismo marino tanto animal como vegetal, pero en general es originado por el plancton. Estos organismos al morir se acumulan en los sedimentos del fondo del mar, a través de una transformación verificada por bacterias se origina un fango negro llamado sapropel que es la sustancia madre del petróleo, a continuación una serie de complejos procesos bioquímicos e inorgánicos dan origen a los hidrocarburos. La importancia de estos combustibles mencionados es que entre el petróleo, el gas natural y el carbón aportan el 92.90% de la energía disponible. La importancia de esta cifra radica en el hecho de que el proceso de

formación que se describe para cada combustible es mucho menor que el consumo que se hace de estos tipos de combustibles. Además es necesario considerar que tanto el petróleo como el gas natural presentan ciertas limitaciones de tipo geológico ya que sólo se encontrarán yacimientos donde las capas que los contienen sean impermeables, de manera contraria los fluidos se escaparán y se dispersarán de modo que ya no sean aprovechables. El caso del carbón no presenta esta limitante dado que su estado es sólido y esto induce una mayor reserva de este combustible.

Con todo lo anterior se han hecho estudios sobre la duración de estos combustibles, y considerando tanto reservas probadas como reservas potenciales y analizando el comportamiento del consumo se obtiene que el petróleo se agotaría hacia el año 2029 y el carbón duraría un poco más allá del año 3000. Dado que el petróleo aporta más del 50% de la energía con que se cuenta se puede apreciar que la era de los combustibles fósiles se acerca a su fin y es necesario hacer el cambio gradual hacia otros tipos de energéticos. Se debe mencionar también que actualmente se desarrollan ciertas técnicas para aprovechar al máximo la explotación de los campos petroleros. La recuperación secundaria consiste en la inyección de cantidades importantes de agua que permiten duplicar la cantidad de petróleo que puede extraerse de los yacimientos.

## 1.6 ENERGIA NUCLEAR

El hablar de la energía nuclear, se refiere específicamente a la conversión de la energía encerrada en el núcleo, a través de reacciones nucleares, primero en calor y después en electricidad. En las centrales nucleares actuales se libera la energía mediante la rotura de los núcleos grandes, es decir a través de la fisión nuclear. Existen 2 tipos básicos de reactores: el reactor de agua ligera y el refrigerador por gas.

El primero se presenta en dos modalidades: el reactor de agua en ebullición y el reactor de agua a presión. En el primero el agua entra en ebullición en el núcleo del reactor y el vapor que se genera se utiliza para alimentar un turbogruppo conectado al generador. Aquí se condensa el vapor y el agua es bombeada nuevamente hacia el reactor completando el acto. En la otra modalidad el agua refrigerante circula a gran presión en el núcleo del reactor provocando un considerable aumento en su temperatura (hasta unos 600°C), de ahí pasa a un termo intercambiador donde se genera el vapor a partir de la ebullición de un segundo suministro de agua que alimenta a las turbinas.

El segundo tipo básico de reactor es el refrigerado por gas. Aquí se utiliza el grafito como moderador y es refrigerado mediante el paso de grandes cantidades de anhídrido carbónico a través de la pila. El gas caliente es conducido a un termo intercambiador, donde se genera el vapor que accionará a la turbi-



na en un circuito secundario. Una característica muy importante de este tipo de reactores es que su tamaño es mayor al refrigerado por agua, esto es por seguridad ya que al ser más amplio el núcleo del reactor se reduce la probabilidad de una fusión en caso de que hubiera una falla en el suministro refrigerante.

Las grandes cantidades de energía que generan este tipo de centrales, las hacen aparecer como una opción muy atractiva pero es necesario tomar en cuenta algunos puntos muy importantes. Por un lado las centrales que en su mayoría son del tipo de fisión consumen grandes cantidades de combustible (uranio), es decir, que las necesidades de uranio para 1990 se calculan en 1'800,000.0 TON, que comparado con las reservas mundiales que sólo alcanzan el millón de toneladas (las que tienen un costo de extracción accesible), implicará una escasez a muy corto plazo. Para esto existe ya una solución, que es el empleo de los llamados reactores rápidos que se basan en el proceso de fusión nuclear, aunque se encuentran en proceso experimental, dicho proceso pretende la unión de dos núcleos de átomos ligeros para formar núcleos más pesados\* y dicho proceso liberará grandes cantidades de energía.

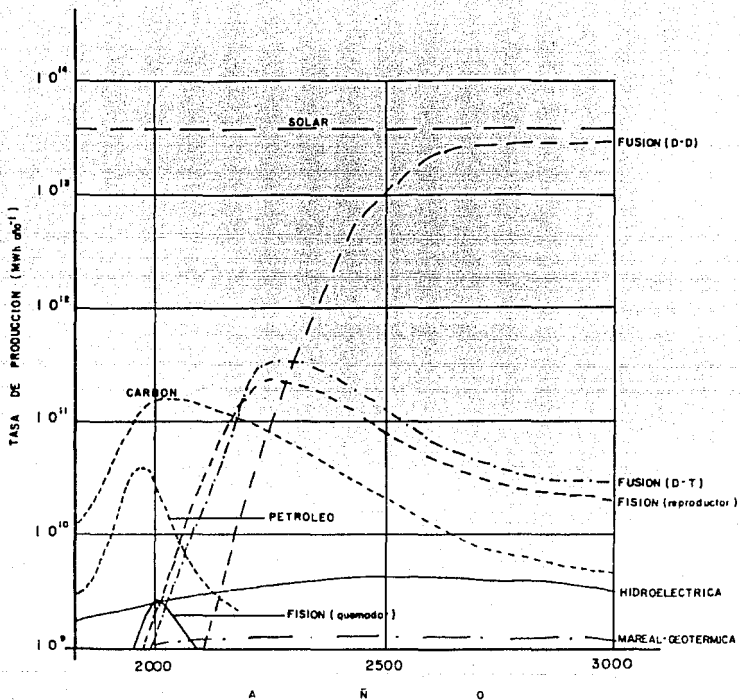
Todo lo anterior implica que el proceso se puede llevar hasta tal punto en que se produce más combustible del que se consume.

\*p.ej.c/reactor nuclear supone la conversión de cierta cantidad de uranio -238 en plutonio -239 fisible.

Otra consideración que hay que tomar en cuenta, es el manejo de los residuos radiactivos, que constituyen un peligro considerable a largo plazo. Por lo que poner en funcionamiento una planta de este tipo obliga a disponer de los recursos necesarios para manejar con seguridad los desechos radiactivos.

Y una posibilidad más que se debe considerar, es el que se presente un accidente, cuyas consecuencias, como lo han demostrado los ocurridos en las centrales rusas y norteamericanas, son incalculables tanto para la ecología como para la vida humana.

Así que tener central nucleoelectrica implica disponer de grandes recursos adicionales para la seguridad. Pero hay que reconocer que también las centrales nucleoelectricas aportan grandes beneficios para el desarrollo de un pais que como el nuestro requiere de grandes cantidades de energia para lograr un mayor desarrollo.



Gráfica de duración de diversas fuentes energéticas

Fig. 3

## CAPITULO 2

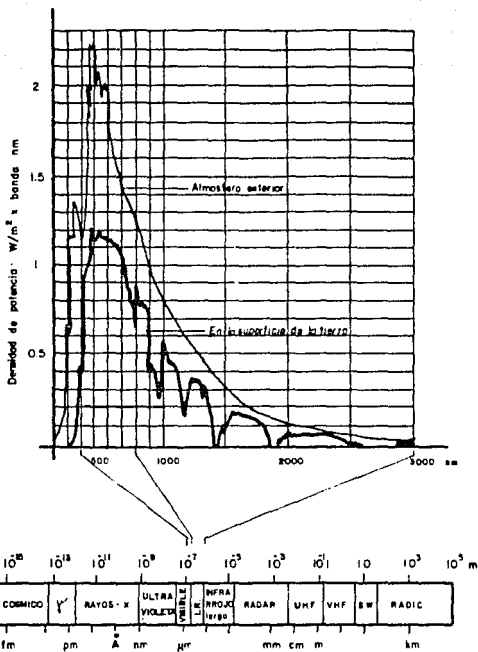
### LA ENERGIA SOLAR

## 2.1 GENERALIDADES

El hablar de energía solar es referirse a la energía radiante que se crea en el sol. Esta tiene su origen en la superficie del sol en donde con mucha frecuencia existen grandes explosiones, las cuales liberan energía en cantidades considerables. La expresión más reducida de este tipo de energía son unas partículas cargadas de energía llamadas fotones, cada una se crea con una longitud de onda original, pero sufren diversas variaciones al viajar a través del espacio en donde chocan con otras partículas lo que provoca que pierdan energía y varíen su longitud de onda dando lugar al espectro que llega a la tierra.(fig.4 )

La energía radiante se refiere a todas las formas de radiación electro-magnética, desde las ondas eléctricas o de radio de baja frecuencia (onda larga) pasando por calor, luz y rayos X, hasta diversas radiaciones gamma y radiaciones cósmicas de muy alta frecuencia y ondas cortas.

La radiación solar que recibe la tierra, encuentra diversos obstáculos que merman su intensidad. Así, se tiene que en el primer contacto con la atmósfera terrestre (alrededor de los 25 km. de la superficie) se elimina la radiación ultravioleta a través de un proceso químico de disociación de las moléculas normales de oxígeno ( $O_2$ ) en oxígeno atómico ( $O$ ). Dicho proceso sólo lo pueden llevar a cabo los fotones con longitud de onda menor de 0.18



Espectro de radiación solar en relación con el espectro electromagnético total

Fig. 4

$\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m}$ -micrómetros, es decir una milésima parte de milímetro) por lo que esta radiación se elimina en el proceso. Algunos átomos de oxígeno vuelven a formar moléculas de  $\text{O}_2$  pero la mayoría reaccionan con otras moléculas formando las moléculas de ozono. El ozono también absorbe la radiación; pero debido a que este elemento no tiene un enlace tan fuerte como el oxígeno la disociación la realizan los fotones con una longitud de onda menor de  $32 \mu\text{m}$ .

Este proceso se desarrolla de manera continua y en él se elimina la radiación ultravioleta, convirtiéndose en fotones de menor energía. En el trayecto a la superficie terrestre los fotones con longitud de onda dentro del espectro visible se encuentran con otros obstáculos que son las moléculas gaseosas y las partículas de polvo a las cuales este tipo de radiación no puede romper el enlace, sino que al chocar con estos elementos los fotones se difunden en todas direcciones y parte de la radiación regresa nuevamente al espacio. Con esto se puede apreciar que la radiación solar que llega a la superficie terrestre tiene dos componentes fundamentales la radiación directa y la difusa siendo ésta última la que llega de todas partes de la atmósfera y da al cielo su color azul característico.

Un obstáculo muy importante que encuentra la radiación solar en la atmósfera, son las gotas de agua que se encuentran en el ai-

re, lo que provoca una fuerte dispersión de la radiación, por ejemplo cuando la concentración es grande, como en las nubes densas, la dispersión múltiple puede hacer que hasta un 80% de los fotones incidentes vuelvan al espacio. Considerando que la cantidad media de las nubes ocupa un 50% de su superficie, la disminución de la cantidad de radiación que se recibe es considerable.

Otros elementos que imponen restricciones al paso de la radiación son algunos como el dióxido de carbono, que dependiendo de la cantidad en que se encuentren llega a presentar una fuerte absorción. Toda esta serie de interacciones entre la atmósfera y la radiación solar provoca que de la radiación solar que llega a la alta atmósfera sólo poco más de la mitad de ella llega a la superficie terrestre. Se hace notar también que la cantidad de radiación que se dispone, variará de un lugar a otro dependiendo de la composición local de la atmósfera.

La intensidad de la radiación solar estará en función de otros elementos, uno de ellos es el ángulo de altitud del sol, ya que cuando éste es bajo la intensidad es menor, así se tiene que la cantidad anual total de radiación recibida en un lugar depende también de su altitud geográfica.

La intensidad de la radiación que llega a los límites más altos de la atmósfera se considera con un valor medio de 1395 Watts/m<sup>2</sup> dicha cantidad es considerada como la constante solar. Tomando



como base este dato se da un  $\pm 2\%$  de variación en la intensidad debido a fenómenos que se producen en la superficie solar, conocidos como las manchas solares. También se da una variación de un  $\pm 3.5\%$  en la intensidad, debido a la variación de la distancia entre la tierra y el sol, durante el recorrido de la órbita terrestre que su punto más alejado está a una distancia de  $152 \times 10^6$  (afelio) y en el punto más cercano pasa a  $147 \times 10^6$  km. del sol (perihelio).

Aún cuando existen toda esta serie de restricciones para la llegada de la radiación solar, ésta llega a un régimen de  $173 \times 10^{15}$  W, y considerando que el consumo de energía de la humanidad se cuantifica en alrededor de  $61 \times 10^{15}$  Wh y dividiendo entre el número de horas que tiene un año (8760) se tiene un régimen de consumo de  $7 \times 10^{12}$ W, de estas cantidades se desprende que la energía solar disponible sería suficiente para cubrir las necesidades energéticas de la humanidad.

Como ya se explicó existen una serie de restricciones en cuanto a la situación geográfica, el clima y otros factores por lo que hay algunos países que no cuentan con una incidencia considerable de este recurso. En este sentido existe una zona que se considera como óptima para el aprovechamiento de este recurso y va desde el ecuador hasta los  $23.5^{\circ}$ N y S donde se encuentran los trópicos de Cáncer y de Capricornio, en donde el esquema anual de la ra-

diación es bastante uniforme, en tanto que a latitudes mayores se presentan periodos prolongados de poca disponibilidad de este recurso.

La disponibilidad en México de la radiación solar es considerable ya que en nuestro país se encuentra en la zona mundial de máximo asoleamiento. En México se encuentran dos zonas de elevada insolación donde se presentan climas extremos, es decir, secos en las zonas áridas o húmedos en las selvas tropicales.

La zona noreste de la República Mexicana goza de un excelente promedio anual de insolación como lo tienen también el norte y el sur de África, la península Arábiga, la zona central de Australia y la parte norte de Chile. La zona del Golfo de México donde los valores de insolación son relativamente bajos, resultan elevados en comparación con otros países de América, Europa y Asia.

Análisis realizados por el centro de Investigación de Materiales de la U.N.A.M. muestran que el promedio anual de energía disponible en México alcanza los 5.5 kw-hora/m<sup>2</sup> lo que representa una cantidad considerable. Los estados del noreste de México reciben en verano un promedio diario de energía de 8 kw-hora/m<sup>2</sup> y en la zona del Golfo de México en los meses de invierno se dispone de una energía de 3.5 kw-hora/m<sup>2</sup>. Siendo estas cantidades muestra que México es un país privilegiado en cuanto a la disponibilidad de energía solar.

Todo lo que anteriormente se ha mencionado, describe las características generales de la radiación solar y la disponibilidad que en México existe de este recurso. En cuanto a las características que la radiación solar debe tener para lograr su aprovechamiento se debe decir que el contenido de energía de la radiación se determina por su longitud de onda, siendo las radiaciones con longitud de onda más corta las que representan un mayor grado de energía.

El aprovechamiento de la energía solar se determina hacia algunos objetivos fundamentales que son: la conversión eléctrica y la conversión térmica (aunque también los organismos biológicos aprovechan este recurso a través de los procesos fotobioquímicos). Se debe mencionar que la totalidad de la radiación solar puede convertirse en calor, pero para lograr la conversión eléctrica, ésta sólo la pueden llevar a cabo los componentes de onda corta y de gran energía que serán los capacitados para llevar a cabo un efecto fotoeléctrico.

## 2.2 CONVERSION TERMICA

Cuando un objeto permanece expuesto a la luz del sol, se calienta. Este fenómeno tan común puede ser aprovechado de muy diversas maneras ya sea directa o indirectamente, es decir, que puede ser ocupado directamente para satisfacer necesidades como la calefacción de viviendas, hospitales, etc., así como el calentamiento de agua para casas habitación o con fines industriales.

El que un objeto expuesto a la luz solar se caliente es una de las consecuencias inmediatas de la absorción de la radiación por un cuerpo. Cuando un cuerpo absorbe radiación se incrementa su estado de excitación, sobre todo en los electrones situados en un alto nivel energético produciéndose fuertes vibraciones lo que incidirá en un aumento de temperatura.

Existen superficies capaces de absorber gran parte de la energía que reciben y tal es el caso de las superficies negras. Esto representa un complejo fenómeno, que varía según el tipo de material absorbente. El aumento de temperatura de una superficie absorbente implica difusión, absorción de fotones, aceleración de electrones, múltiples colisiones; pero el efecto final es que la energía radiante de todas calidades (todas las longitudes de onda) se degrada en calor.

Para aprovechar este fenómeno hay que resolver algunos problemas que se presentan, el más importante es la pérdida de calor y es-

tará en función de la diferencia en la temperatura entre la superficie y el medio ambiente. En consecuencia, a medida que se calienta la superficie, aumenta la pérdida de calor. Cuando el régimen de admisión de calor radiante es igualado por el de pérdida de calor, se alcanza una temperatura de equilibrio.

Entonces el objetivo fundamental que se persigue para la conversión térmica de la energía solar, es el aumentar la absorción de la radiación solar por una superficie y evitar la pérdida de calor, es decir, la emisión de la radiación.

Para lograr un real aprovechamiento de la energía solar en este sentido, es necesario hacer circular un fluido térmico (por ej. agua o aire) como medio portante en un contacto térmico con la superficie absorbente, el fluido se calentará y por lo tanto se eliminará parte del calor absorbido por la placa. La temperatura de dicha placa por lo tanto, caerá por debajo de la temperatura de equilibrio arriba calculada y esto reducirá la pérdida de calor. Estos dispositivos son conocidos como colectores de placa plana.

En este tipo de dispositivos la placa de absorción puede ser cualquier lámina metálica con canales de agua o conductos de aire. Un caso muy simple lo puede ser un panel radiador de calefacción central ordinaria. Para esta clase de colectores es posible utilizar absorbedores no metálicos; pero ha de tomarse en

consideración que será necesario un contacto más estrecho entre la superficie y el líquido, debido esto a la inferioridad de la conductividad térmica de este tipo de materiales.

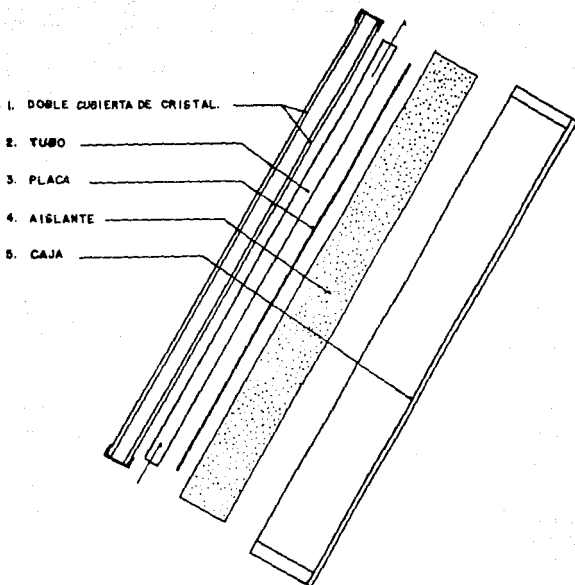
La eficiencia de este tipo de colectores, puede ser mejorada anteponiendo a la superficie de la placa del absorbedor una plancha de cristal dejando un espacio de aire de 20 a 30 mm. con lo que la pérdida de calor se reduce en gran medida y no se afecta de manera significativa la admisión de calor.

Bajo este mismo principio se puede mejorar aún más la eficiencia de este tipo de dispositivos creando un vacío entre la placa del absorbedor y su tapa transparente. Para evitar que dicha tapa se rompa bajo la presión atmosférica, se pueden instalar espaciadores cortos. La fig. ( 5) muestra un ejemplo de colector de placa plana. Este método de absorción es conocido también como circuito cerrado.

Cualquier superficie negra es un absorbedor, así que la extracción de calor por medio de un circuito cerrado, con fluido térmico (agua o aire), es solamente una de las formas de utilización.

Hay cuatro posibilidades más: colectores de circuito abierto, embalses solares, calentadores tipo contenedor y edificios como colectores.

Los colectores de circuito abierto, son aquellos en los que una película de agua pasa por una superficie negra bajo una tapa transparente permitiendo el intercambio de calor. Este sistema



SECCION DE UN COLECTOR DE PLACA PLANA

1. Cubierta que puede ser con una o dos hojas de cristal o de un material sintético.
2. Tubos de conducción del fluido térmico donde se pone en contacto con la placa absorbente.
3. Placa absorbente generalmente metálica que puede ser corrugada o estriada. Estará unida a los tubos para lograr una buena transferencia térmica.
4. Aislante que minimiza la pérdida de calor de la placa absorbente.
5. Caja en la cual quedan protegidos todos los componentes de la humedad y el polvo.

puede llegar a ser casi tan eficiente como un absorbedor de circuito cerrado con un costo muy inferior.

Los embalses solares, son sistemas en los que puede oscurecerse el fondo de un estanque poco profundo. Cierta cantidad de radiación será absorbida por el agua mientras pasa por ella y también algo por el fondo. Cualquier energía reflejada por el fondo se reducirá más todavía al ser absorbida por el agua durante el recorrido de retorno. En estos embalses la capa de agua del fondo es la que más se calienta y ascenderá a la superficie y así se desarrollarán corrientes de convección. Al llegar la capa caliente a la parte superior se aumentará la pérdida de calor. Los calentadores tipo contenedor pueden consistir en un tanque o cubeta metálica de poca profundidad con una tapa transparente o pueden tener la forma de cojín. Constituyen una combinación de absorbedor y depósito. Su característica común es que no hay corriente, se calienta una cantidad determinada de agua, y su uso continuo implica el cambiar el contenido del calentador por agua fresca y fría. Otra posibilidad para el aprovechamiento de la energía solar es el diseñar los edificios para que éstos actúen como colectores solares. Dicho diseño estará en función tanto de la ubicación como de los materiales que se empleen en su construcción, poniendo especial atención en los dispositivos para evitar las pérdidas de temperatura y ventilación.



## 2.3 CONVERSION ELECTRICA

La conversión eléctrica de la radiación solar se deriva principalmente de dos procesos conocidos como: la conversión termoeléctrica y la conversión fotoeléctrica.

El efecto de la conversión termoeléctrica se puede describir a través del funcionamiento de los dispositivos conocidos como generadores termoiónicos (fig.6 ). En estos dispositivos cuando se calienta un electrodo, algunos de sus electrones adquieren suficiente energía para escapar, se convierte en un emisor de energía es decir, un cátodo. Otro elemento colocado cerca del cátodo, si está lo suficientemente frío recibirá los electrones emitidos y se convertirá en un ánodo. Si el ánodo se conecta al cátodo mediante un circuito que contenga carga externa, pasará una corriente y podrá producirse acción. Los electrodos se mantienen a una distancia de una fracción de milímetro en un medio favorable para el desplazamiento de los electrones que bien puede ser el vacío o vapor de cesio.

El potencial de estos dispositivos, bajo condiciones de luz clara llega a ser del orden de 1 volt, pero conectando muchas celdas en serie se obtiene un voltaje más alto, en corriente continua. La eficiencia teórica se sitúa alrededor del 30% pero prácticamente se ha demostrado que se obtienen rendimientos del 6 al 8%.

Para lograr el efecto de conversión fotoeléctrica se han desa-

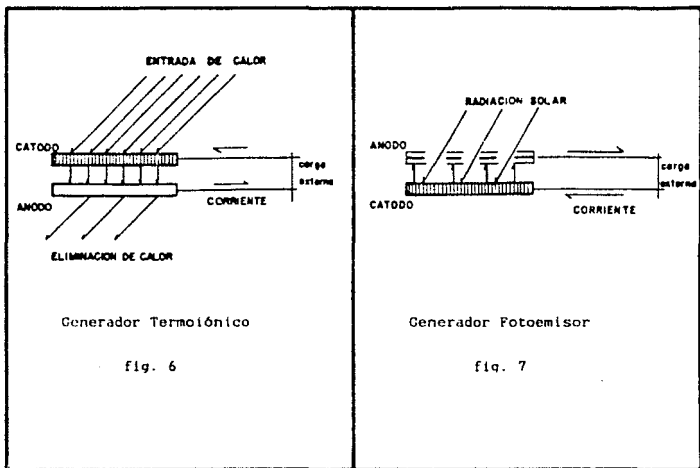


fig. 6

fig. 7

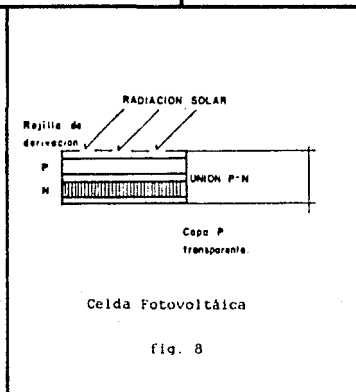


fig. 8

rollado varios dispositivos, por ejemplo: los generadores fotoemisivos y las celdas fotovoltaicas y los generadores fotogalvánicos.

El funcionamiento de los generadores fotoemisivos se basa en que cuando un fotón de gran energía, de los descritos en el espectro solar, choca con un átomo del cátodo, puede aumentar considerablemente el nivel de energía de un electrón, tanto como para escapar de la superficie del cátodo. Colocando cerca un ánodo de apropiadas características, los electrones pueden ser recogidos y se puede crear una corriente a través de un circuito externo.

Como la emisión de electrones se produce sobre la superficie expuesta a la radiación el ánodo debe ser transparente, como por ejemplo una malla de alambre fino (fig.7 ). La eficiencia máxima de este tipo de dispositivos es del 15%.

Otra de las opciones para aprovechar el efecto fotoeléctrico se encuentra en los dispositivos llamados generadores fotogalvánicos. Cuyas características son iguales a las celdas electroquímicas ordinarias (baterías) expuestas a un efecto fotoeléctrico adicional. El funcionamiento de las celdas fotogalvánicas consiste en dos electrodos (generalmente de materiales diferentes) sumergidos en un electrolito de un ácido, solución base o sal metálica. La exposición de uno de los electrodos a la luz incidirá un flujo de iones a través del electrolito y creará una di-

ferencia de potencial entre los electrodos (o se incrementará si ya existe alguna).

Para lograr este efecto en especial, sólo los fotones con mucha energía, que representan aproximadamente el 45% de la radiación solar, lo pueden llevar a cabo. Estos pueden ser los de la radiación ultravioleta y algunos dentro del espectro visible; pero los fotones de la radiación infrarroja no pueden llevar a cabo el efecto.

Una alternativa muy efectiva y cuyo uso se ha difundido rápidamente debido a su mayor eficiencia en comparación a los otros dispositivos, la representan las celdas fotovoltaicas (fig.8) Su funcionamiento consiste en que algunos materiales semi-conductores pueden ser "drogados" con cantidades diminutas (cerca de una parte por millón) de otros elementos similares pero con un electrón más o uno menos que el propio semi-conductor.

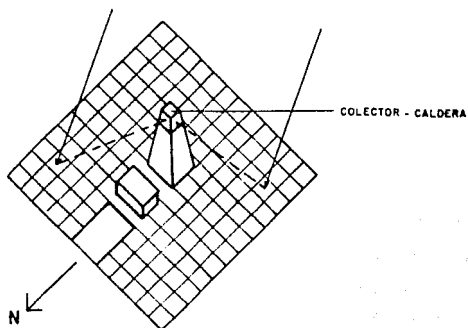
Al primero se le denominará semi-conductor tipo N y al segundo tipo P. Si se colocan en emparedado capas finas de ambos, formando un diodo, los electrones cruzarán la unión P-N cuando sea expuesto a la radiación.

Al igual que en los dispositivos mencionados anteriormente sólo los fotones de radiación de onda corta (menos de 620nm, donde  $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ , nm-nanómetro) tendrán suficiente energía para lograr el efecto fotoeléctrico. Únicamente los fotones que se sitúan por encima del umbral de energía serán capaces de crear una pa-

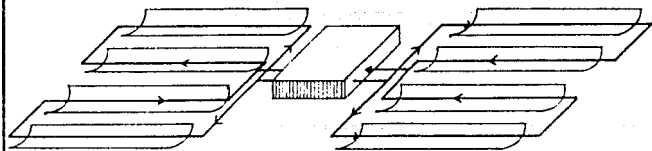
reja tal de electrón/hueco. La electricidad producida puede situarse alrededor del 16% de la intensidad de la radiación solar. La eficiencia máxima teórica se aproxima al 24%.

Todos los dispositivos que se mencionan anteriormente son capaces de transformar la radiación solar en energía eléctrica directamente. Pero hay otra posibilidad para la producción de electricidad a través de la energía solar sin que el proceso se lleve a cabo directamente. Este sistema se basa en colocar una serie de dispositivos concentradores (fig. 9) que cumplan la función de transferir la energía radiante a un punto de concentración que bien podría ser una caldera central (fig.8) que estaría vinculada estrechamente a una serie de turbinas. Es decir, que la energía radiante produciría no electricidad; sino una acción mecánica que será empleada para propulsar generadores eléctricos convencionales.

La transferencia térmica puede implicar la generación de calor en muchos concentradores pequeños localizados en un área grande y la transferencia de vapor por medio de tubos muy bien aislados hacia la turbina, los tubos tendrán como principal característica el ser herméticos y que conteniendo una pequeña cantidad de un fluido térmico cambie de fase a la temperatura de operación apropiada (fig.9). A lo largo de la mayor parte del tubo a medida que se calienta, el líquido se evapora y asciende hacia el



Campos de espejos planos ajustables



Campos de canales parabólicos inclinables

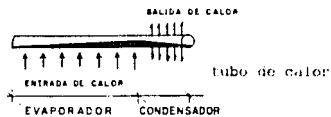


fig. 9

extremo más alto transportando calor igual al valor latente de evaporación. En este punto se condensa y se libera el calor por lo que el líquido fluye hacia atrás (ya sea por gravedad o por acción capilar), este ciclo será repetitivo y por las características del dispositivo será también muy rápido.

Este tipo de sistemas resultan bastante complejos y en la actualidad sólo son factibles si se acoplan a centrales hidroeléctricas, pero en el futuro, dado los estudios que se realizan pueden resultar una alternativa viable.

### C A P I T U L O 3

#### APLICACIONES PARA CASAS HABITACION Y EDIFICIOS

---



### 3.1 SISTEMAS DE ELECTRIFICACION

El hablar de los sistemas de electrificación para casas-habitación y edificios sería entrar a un sinnúmero de diseños los cuales varían de acuerdo a los datos de insolación del lugar, las necesidades energéticas requeridas y el tipo de celdas solares a utilizar que dependerán de la compañía encargada de la instalación del sistema. Aún cuando existen todas estas diferencias en los diseños se puede determinar el funcionamiento general tomando en cuenta algún sistema específico ya que el principio de operación de los diferentes sistemas resulta ser similar.

Dentro de la variedad de sistemas que existen, el de uso más difundido es el sistema solar fotovoltaico cuyo uso resulta ser tan común que lo encontramos en nuestra vida cotidiana hasta en las calculadoras. El principio bajo el cual se basan la mayoría de los sistemas solares fotovoltaicos es el de llegar a la máxima eficiencia energética (de manera óptima y para lugares en los que no exista otra fuente de energía el objetivo será lograr la autonomía energética), con el mínimo de mantenimiento, para lo cual la energía convertida (solar-eléctrica) debe ser mayor o igual a la consumida por la carga eléctrica en operación.

El sistema solar fotovoltaico (factible para otras aplicaciones) está constituido de 3 partes que son:

1. El convertidor de energía
2. El consumidor de energía
3. El almacenador de energía

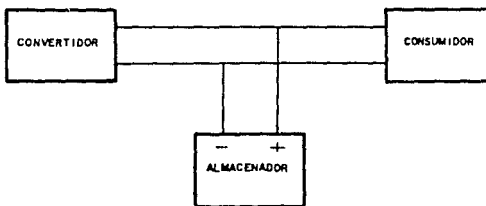
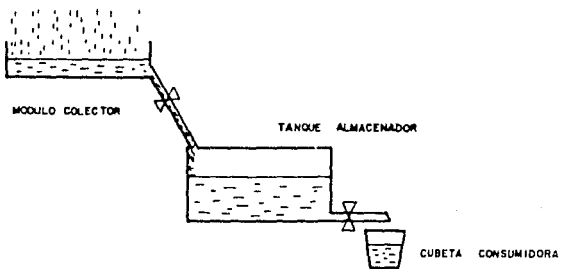
El funcionamiento del sistema solar fotovoltaico se puede explicar haciendo una analogía hidráulica, donde el módulo solar que no puede almacenar energía; sino sólo convertirla, se simulará como un captador de lluvia, el tanque almacenador de ésta, reemplaza al banco de baterías y finalmente el consumidor será representado por una cubeta. (fig.10)

Cuando el sistema está en equilibrio energético, la misma cantidad de agua colectada por el módulo (radiación solar) es la misma consumida por la cubeta (carga eléctrica).

Cuando por condiciones de poca insolación (poca colección de agua) y la carga eléctrica debe operar (cubeta consumidora de agua), existirá un almacenamiento de energía suficiente (el tanque almacenador de agua) en el banco de baterías para brindar el servicio requerido.

Puede ocurrir un desborde del tanque almacenador (sobre carga de las baterías) así como un vaciamiento del tanque (descarga de las mismas). Para evitar esto, se cuenta con dos llaves (electrónica asociada a los sistemas) para controlar tanto el vaciamiento como el desborde, para que esto no ocurra.

Los módulos solares fotovoltaicos generalmente llegan a tener un



Analogía Hidráulica de un sistema solar fotovoltaico

fig. 10

arreglo de 36 celdas.

Para efectuar el diseño de un sistema solar fotovoltaico es necesario hacer diversas consideraciones con el fin de tener una autonomía energética actual. En el análisis para la aplicación, es necesario evaluar los siguientes puntos:

- a) Determinación del consumo de energía (watt-hora/día).
- b) Determinación del grado de insolación en el lugar de la aplicación (watt/hora día).
- c) Determinación de días nublados.
- d) Cálculo del número de módulos.
- e) Cálculo de la capacidad de las baterías.

Con los puntos arriba mencionados, se tiene un sistema solar fotovoltaico balanceado energéticamente a lo largo del año.

Para lograr el diseño se hace necesario partir de la siguiente relación  $E_g \geq E_c$

Esta relación establece que la energía generada ( $E_g$ ) sea mayor o igual a la consumida ( $E_c$ ).

Por otro lado se tiene que el número de módulos requeridos para una aplicación específica, se pueden determinar mediante la siguiente ecuación:

$$N_m = E_g / (t_i)(P_m)$$

donde:

- $N_m$  - número de módulos
- $E_g$  - energía generada
- $t_i$  - tiempo de insolación
- $P_m$  - potencia del módulo seleccionado

Para el caso del almacenamiento de las baterías se tiene la siguiente ecuación:

$$E_a = (n)(E_g) + (E_c)(DIA)$$

donde:

n - representa el número de días nublados previstos

E<sub>a</sub> - energía almacenada

En esta ecuación, dada la aplicación, alguno de los dos términos del segundo miembro puede despreciarse en caso de ser uno mucho menor que el otro.

Para el cálculo de la energía consumida se tiene que:

$$E_c = (P_c)(t_o) + (P_{ce})(t_e)$$

donde:

P<sub>c</sub> - potencia de la carga

t<sub>o</sub> - tiempo de operación

t<sub>e</sub> - tiempo de espera

E<sub>c</sub> - energía consumida

P<sub>ce</sub> - potencias en espera

En algunos casos se puede considerar como t<sub>e</sub>=0

En cuanto a la electrónica asociada a los sistemas solares fotovoltaicos que como se menciona sirven para controlar tanto el vaciamiento como el desborde hay que hacer algunas observaciones cuando ocurren imprevistos en cualquier aplicación como serían:

- a) Un exceso de días nublados (más de los previstos).
- b) Una falla en los generadores (módulos).
- c) Un uso indebido del consumo de energía.
- d) Poco uso de la energía sumado a una alta insolación.

Todos los puntos anteriores pueden ocasionar que el sistema se desbalancee energéticamente, manifestándose como una sobrecarga o carga de las baterías dañándolas en ambos casos, reduciendo el tiempo de operación del sistema solar fotovoltaico.

La electrónica asociada a estos sistemas se encarga de proteger electrónicamente ambas situaciones tanto la sobrecarga como la descarga de las baterías.

En México el uso de sistemas solares para proveer energía eléctrica se encuentra un tanto restringido ya que representan un costo muy elevado dado que los materiales para fabricar las celdas, en muchos casos son de importación. El I.P.N. ha desarrollado algunos prototipos de celdas pero su utilización no ha sido muy difundida. Sin embargo, la energía solar representa una alternativa viable para dotar de este recurso a poblaciones aisladas o lejanas a las que resultaría más costoso comparativamente, llevar la energía eléctrica convencional que instalar un sistema solar apropiado. Todo esto dependiendo como se ha mencionado anteriormente de la ubicación del poblado.

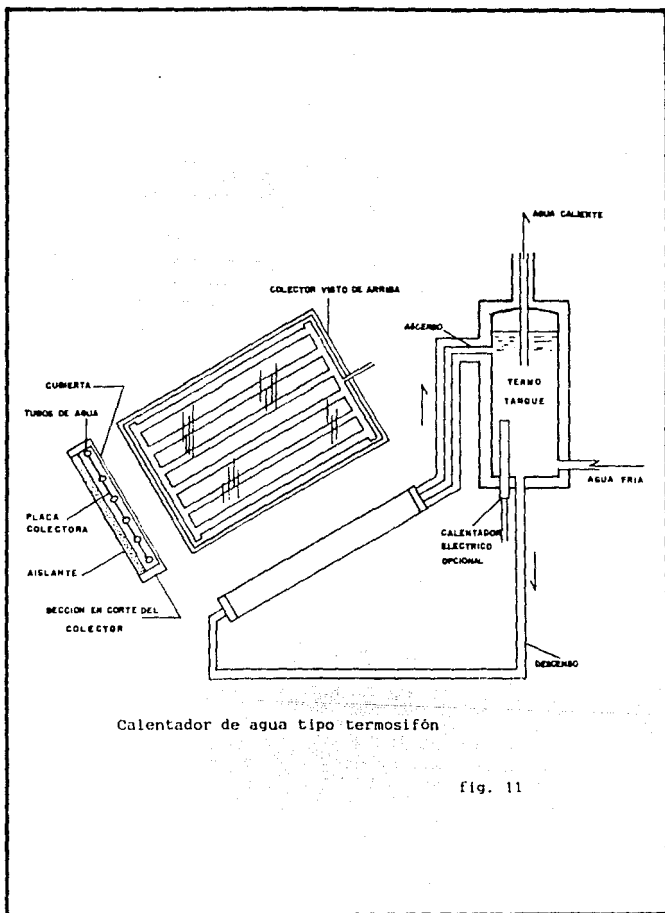
### 3.2 SISTEMAS PARA CALENTAMIENTO DE AGUA

El calentamiento de agua para casas-habitación y edificios a través de la energía solar, se lleva a cabo en la mayor parte de los casos con el sistema de termosifón. Esto es debido tanto a lo simple del sistema como al bajo costo que se requiere para instalarlo. Aunque como se menciona en el capítulo No. 2 no es la única posibilidad, pero sin duda es la más eficiente.

El sistema consiste en un colector de placa plana o panel colector y un depósito. El depósito deberá ser colocado por encima de la parte superior del panel colector. El agua calentada en el colector, que se hace más ligera, se elevará en tanto que el agua más fría se irá moviendo hacia el fondo del depósito.

Cuanto mayor sea la diferencia de altura entre el fondo del tanque y el panel colector, será mayor la corriente que se induzca debida a la misma diferencia de temperatura. Una mayor corriente aumenta la eficiencia de la captación y se reducirá así mismo la temperatura de captación.

Las características de insolación del lugar donde se instale el sistema indicarán el área de captación necesaria para calentar el agua a una temperatura adecuada. Cuando la captación de energía no sea la suficiente para lograr la obtención de la temperatura requerida se puede lograr alternar el sistema solar con un sistema convencional ya sea del tipo eléctrico o de gas.



Calentador de agua tipo termosifón

fig. 11



Para alternar un sistema solar con un calentador eléctrico convencional, éste último puede ser colocado sumergido en el depósito de agua, y aún cuando la instalación solar no registre la captación de radiación necesaria funcionará, en este caso, como precalentador haciendo más eficiente el funcionamiento del calentador eléctrico y registrando un ahorro en el consumo de energía eléctrica. De esta manera el funcionamiento del sistema logrará que la temperatura del depósito sea más regular a lo largo del mismo y se podrá disponer del agua caliente en cualquier época del año. En nuestro medio es mucho más común el empleo de calentadores de gas y alternar este sistema convencional con un sistema solar además de ser factible, redundará en un ahorro del consumo de este combustible. Esta opción se encuentra ya en práctica en diversos conjuntos habitacionales del Distrito Federal y por tomar un ejemplo se describe el funcionamiento de este sistema aplicado a los edificios del conjunto PERIMAN. Cada departamento cuenta con dos colectores solares planos de 1.70m<sup>2</sup> de superficie, los cuales están conectados con un termotanque con capacidad de almacenamiento de 240 lts. de agua caliente. Todo el equipo ocupado en el sistema es de fabricación nacional y se ubica en la azotea de cada edificio. Desde allí un ducto de agua baja a cada vivienda y pasa primero por un calentador de gas del tipo convencional semiautomático, provisto de un sensor

de temperatura.

En los meses de buen sol, el calentador de gas casi no trabajará ya que el agua bajará de los colectores solares a temperaturas de aproximadamente 70°C.

Durante los meses de sol escaso, los colectores solares no aportarán temperaturas considerables; pero funcionarán precalentando el agua por lo que el calentador de gas sólo completará el trabajo. Adicionalmente este sistema puede contar con algunas variantes ya que si se desea se pueden instalar dos llaves selectoras que permitieran al usuario de la vivienda seleccionar a voluntad si: a) Utiliza el agua calentada únicamente por el sol, ó b) si se hace pasar el agua también por el calentador de gas.

Con estos colectores solares es posible lograr un ahorro hasta del 70% en el consumo de gas.

En la utilización de la energía solar para el calentamiento de agua se ha hecho muy común su uso para el calentamiento de albercas, lo cual requiere de grandes cantidades de energía.

Una alberca típica de 85m<sup>3</sup> de agua, exigirá casi 100kw/h de calor por cada °C de aumento de temperatura. No obstante, el calor requerido es de bajo grado. Una temperatura confortable para una alberca se sitúa entre los 21 y 25°C, es adecuado suministrar calor sólo unos pocos grados por encima de esta temperatura. Como la eficiencia de la mayoría de los colectores solares es máxima para una temperatura requerida baja como en este caso,

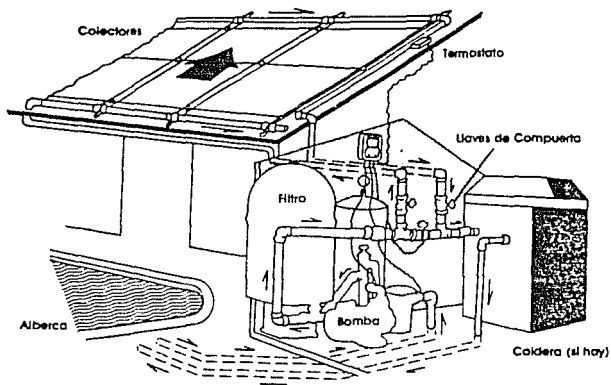
su empleo para calentar el agua de las piscinas es rentable, incluso en lugares en donde el calentamiento de agua o de espacios no esté económicamente justificado.

En las instalaciones de las albercas generalmente ya existe una bomba de circulación que se abastece de la planta de filtración.

Los paneles de calefacción solar se pueden conectar en serie con la bomba aunque también es práctica común dejar el sistema de circulación independiente ya que esto permitiría regular el régimen de corriente óptimo deseable.

Los colectores solares que se emplean para este fin son normalmente de construcción más simple que el destinado al calentamiento de agua doméstica. Como la temperatura requerida es más baja no es necesario instalar un cristal doble. Se han llevado a cabo diversos ensayos tratando de simplificar los colectores, como por ejemplo: colectores de corriente abierta o mangueras de plástico incrustadas estrechamente en las ranuras de las láminas metálicas. El material plástico en este caso se había mezclado con pequeñas partículas de cobre para mejorar la conductividad térmica.

Existen ya en México diversos sistemas de tipo comercial para el calentamiento de albercas. El funcionamiento de estos sistemas se puede describir de la siguiente manera: (fig.12)



Sistema de calentamiento solar para albercas

fig. 12

- Se enciende la bomba de agua de la alberca y se gira la llave de compuerta para que el agua pase por los colectores.

- El sistema solar, dependiendo de la capacidad de los colectores, deberá ser empleado por lo menos 6 horas diarias. En caso de contar con un termostato la bomba se encendería automáticamente durante el día.

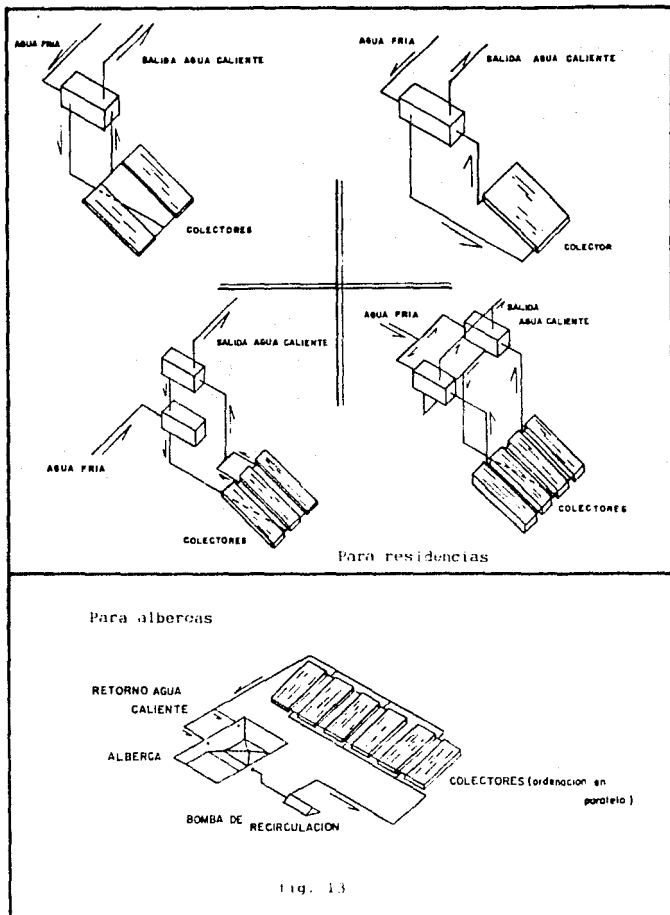
- Se debe cubrir la alberca con un plástico especial durante las noches, para que se conserve mejor el calor, sobre todo en los meses de invierno.

- No operar el sistema solar durante las noches, pues se enfría el agua.

- En caso de contar con una caldera, ésta se puede alternar con el sistema solar accionándola durante las noches, girando la llave de la compuerta para que no pase el agua por el sistema solar. Un problema muy importante que hay que enfrentar en lo que se refiere al calentamiento de albercas es la gran pérdida de temperatura durante las noches por lo que resulta muy aconsejable tener algún tipo de cobertura durante la noche, como ya se mencionó, para lograr obtener el máximo beneficio de este tipo de instalaciones. Existen otros métodos menos conocidos, para este fin como son las bolsas de plástico infladas. También se han utilizado bolas flotantes de poliestireno. Estas pueden recogerse automáticamente bajando una esclusa y la corriente de la capa superior del agua penetrará en un compartimiento separado arrastrando las

bolas

Existen diversas posibilidades para aplicar tanto el sistema de termosifón para casas y edificios así como para las albercas, en los siguientes diagramas (fig.13) se ejemplifican algunas de estas posibilidades.



### 3.3 SISTEMAS PARA CALEFACCION

Los sistemas de calefacción y en general los de climatización dependiendo de su modo de operación pueden dividirse en dos categorías básicas: los sistemas activos y los sistemas pasivos.

En general los sistemas de tipo activos se caracterizan por utilizar alguna otra fuente de energía para transferir la energía absorbida por el colector solar desde los lugares de captación hasta los lugares de almacenamiento o distribución. En comparación los sistemas pasivos utilizan solamente medios naturales de transferencia de calor (convección, radiación y conducción).

Dentro de los sistemas pasivos hay 2 métodos generalmente empleados para aprovechar la radiación solar para la calefacción de espacios.

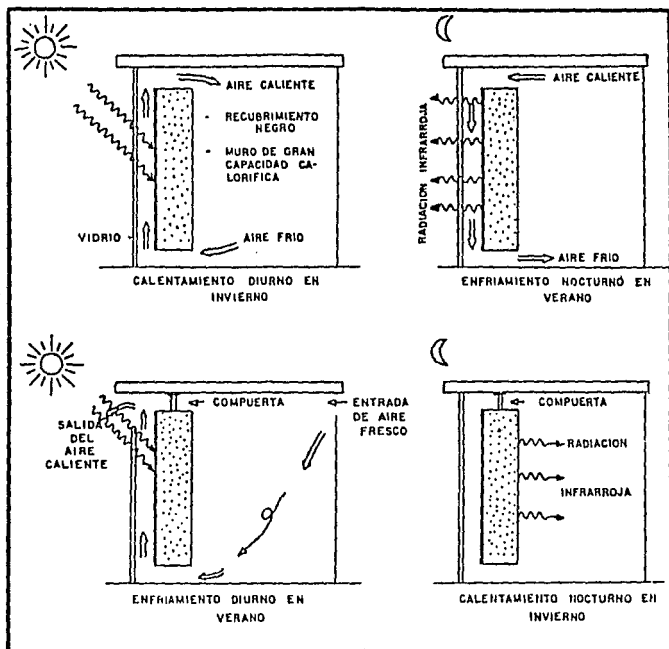
- 1.- Utilizando el edificio o habitación como colector. Se trata de un procedimiento de sentido común cuya base será un edificio térmicamente muy eficiente con un buen aislamiento colocado fuera de la masa principal de la pared y de los elementos del techo. Se proyectan grandes ventanales orientados hacia el ecuador, que pueden cerrarse mediante persianas o cortinas pesadas cuando no exista ganancia solar, para evitar o reducir la pérdida de calor. Sin estas persianas o cortinas la superficie del cristal puede provocar una pérdida de calor acumulativo anual superior a la ganancia solar acumulativa anual.



2.- Teniendo elementos especiales de construcción. Es decir, teniendo un elemento envolvente externo del edificio (una pared o un techo) pueden diseñarse para que actúen como dispositivos de captación. Por ejemplo, una pared con la parte exterior pintada de negro puede recubrirse con una o dos planchas de cristal. Actuará como absorbedor, acumulando cierto calor en su masa y garantizando un mecanismo de expulsión por medio de corrientes de convección inducidas.

Los sistemas antes mencionados pueden ser integrados en un solo diseño y existen diversas posibilidades para conseguirlo como se muestra en las siguientes figuras (fig.14-16). Pero de manera general se establece que los sistemas pasivos requieren esencialmente de grandes cantidades de material cuya masa sea capaz de captar y almacenar energía calorífica. Los materiales usados principalmente son: concreto, piedra, adobe y agua. En estos sistemas, la distribución de la energía colectada es transferida ya sea por radiación de la envolvente misma que se diseña para la vivienda o por convección natural del aire caliente sobre el frío, como se esquematiza más adelante.

Las técnicas de calefacción o climatización pasivas incluyen procesos de ganancia directa de radiación solar a través de un vidrio (en muchas ocasiones doble), así como materiales de gran capacidad calorífica, creando una serie de colectores aplicados que



SISTEMAS PASIVOS BASADOS EN:

- La termocirculación natural del aire (ascendente y descendente)
- La emisión de radiación infrarroja hacia el interior y exterior de la habitación (muro emisor tipo trombe)

fig. 14

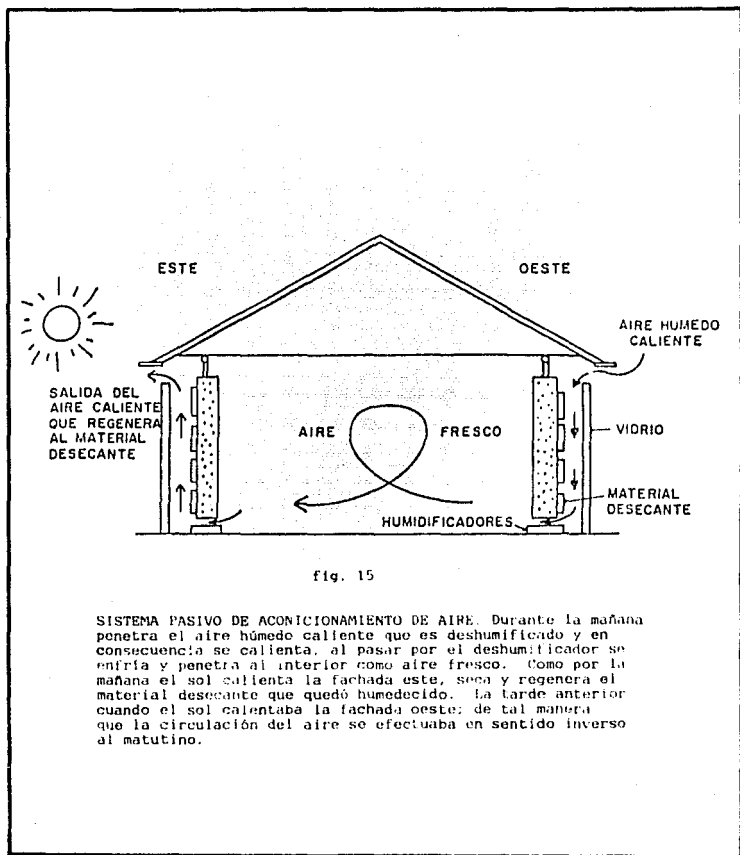


fig. 15

SISTEMA PASIVO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE. Durante la mañana penetra el aire húmedo caliente que es deshumidificado y en consecuencia se calienta, al pasar por el deshumidificador se enfría y penetra al interior como aire fresco. Como por la mañana el sol calienta la fachada este, seca y regenera el material desecante que quedó humedecido. La tarde anterior cuando el sol calentaba la fachada oeste; de tal manera que la circulación del aire se efectuaba en sentido inverso al matutino.

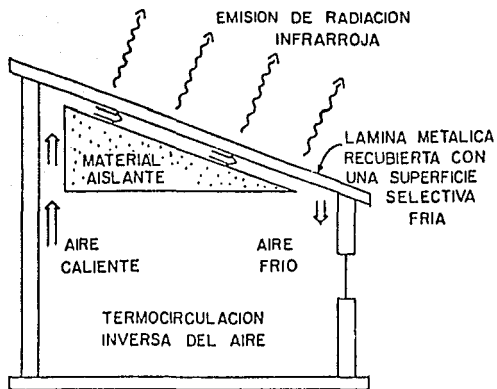


fig. 16

Sistema pasivo de enfriamiento nocturno

dependiendo de las necesidades pueden producir la circulación hacia el interior o el exterior del aire frío o caliente.

Los muros que vayan a actuar como almacenadores de energía calorífica, como ya se mencionó deber ser pintados o dotados de algún recubrimiento oscuro. La energía almacenada en estos muros proporcionarán el calor necesario para calentar las capas de aire adyacentes, lo que propiciará el ascenso del aire caliente, el cual es desplazado por el aire frío proveniente de los niveles inferiores de las habitaciones.

La importancia del uso de cortinas reflectoras o aislantes no es sólo el evitar pérdida de calor, como se menciona anteriormente, sino también se utilizan durante los periodos en los que no sea conveniente el almacenamiento de energía, reduciendo las ganancias de calor por radiación.

Otro detalle que se puede incluir en los sistemas pasivos, para hacerlos más eficientes son los invernaderos integrados a las viviendas. Estos, además de almacenar considerables cantidades de energía permiten optimizar las condiciones de humedad en regiones muy secas y también se mejora la condición estética del conjunto a través del impacto anímico que proporciona la vegetación.

Para los sistemas pasivos se debe hechar mano de todos los recursos que se tengan a la disposición, es por ello que en ocasiones, también se recurre a depósitos metálicos pintados de negro y ubicados a cierta distancia por detrás de los ventanales de la casa,

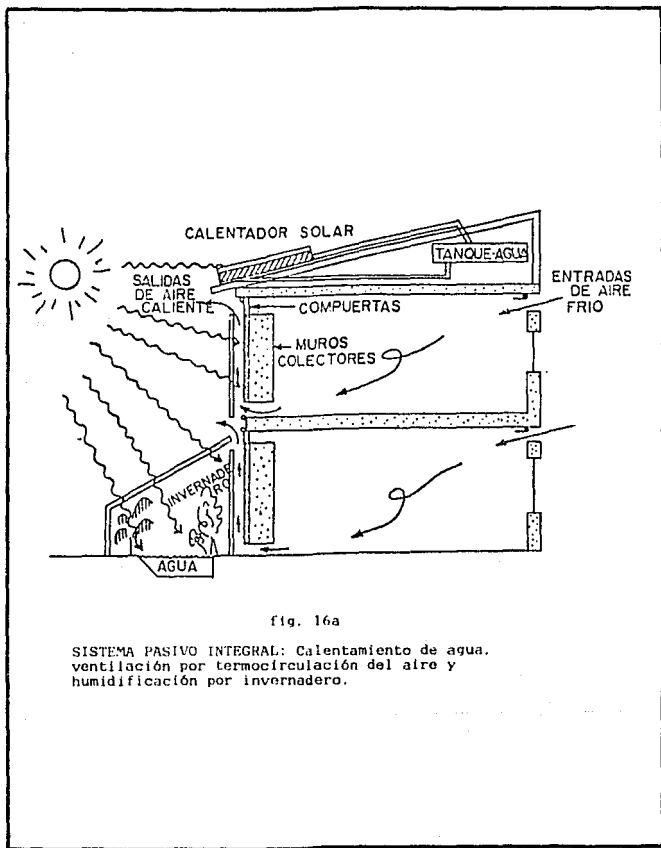


fig. 16a

SISTEMA PASIVO INTEGRAL: Calentamiento de agua, ventilación por termocirculación del aire y humidificación por invernadero.

debido a que el agua es capaz de almacenar el doble de energía que el concreto.

Para propósitos de calefacción en el Norte del país y en algunas zonas del altiplano los sistemas pasivos permiten prescindir, incluso completamente de los sistemas convencionales de calefacción que operan en base al consumo del petróleo, gas o diesel.

Los sistemas de tipo activo, están menos expuestos a pérdidas de calor debido a que su diseño debe ser más hermético. Es por esto, que los sistemas activos resultan ser más eficientes que los pasivos, pero interviene otro factor, también resultan ser más costosos en inversión inicial y mantenimiento.

En los sistemas activos, la parte más importante radica en los colectores, ya que en base a su eficiencia para aprovechar la energía solar disponible, se obtendrá un sistema mucho más efectivo. Los colectores usados de manera muy común son los colectores de placa plana. Los fluidos térmicos usados como elementos de transferencia de la energía solar capturada son: como gas el aire, como líquido el agua.

Una parte muy importante de los sistemas activos se refiere al almacenamiento de la energía cuya finalidad será la de retener el exceso de calor obtenido durante el día para aprovecharlo posteriormente durante las noches o los periodos muy nublados. Para lograr este objetivo se hace necesario utilizar materiales con

elevada capacidad calorífica como son: piedras porosas, agua o productos químicos. La Universidad de Sonora ha desarrollado algunos prototipos de vivienda en las que se provee de un lecho rocoso como almacenador de la energía solar excedente capturada por el sistema, como se aprecia en la fig. (17). La selección de los materiales utilizados como almacenadores se hace tomando en cuenta el volumen requerido así como su costo. En el caso de utilizar agua, la relación del volumen de almacenamiento es de aproximadamente  $1\text{m}^3$  por cada  $\text{m}^2$  de colector. Las piedras por otro lado, requieren de un volumen 3 veces mayor para retener la misma cantidad de calor que el agua. Los productos químicos permiten disminuir el volumen requerido incluso, a una décima parte, pero tienen como inconveniente la existencia de riesgos de contaminación del fluido circulante, lo que no ocurre con el agua y el aire.

En este tipo de sistemas el proceso se vuelve más complejo al transportar y distribuir el calor obtenido, a través de los circuitos de calefacción ya que se hace necesario instalar una bomba o un ventilador que haga circular el fluido por los ductos respectivos. Esto implica una circulación forzada, activada mediante el consumo energético convencional.

Para lograr un control sobre los procesos de colección-almacenamiento y almacenamiento-distribución, se hace necesario instalar dispositivos que permitan regular dichos procesos



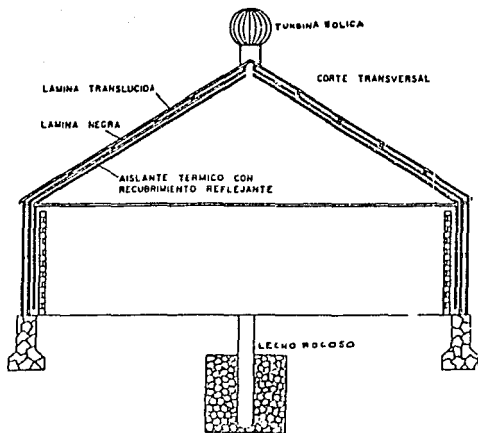


fig. 17

PROTOTIPO DESARROLLADO POR LA UNIVERSIDAD  
DE SONORA

Tipo de climatización eólico-solar (disipación  
nocturna de radiación infrarroja hacia el espacio  
y termocirculación del aire)

y son similares a los usados en los sistemas convencionales, como son principalmente termostatos. En ocasiones se hace necesario utilizar otra clase de dispositivos de carácter adicional como son intercambiadores de calor. Estos dispositivos incrementan los costos y el mantenimiento de esta clase de sistemas. El criterio para acoplar sistemas activos de calefacción o climatización con los sistemas convencionales se basa en que cuando los requerimientos energéticos globales superan la capacidad del sistema solar se alternan con los sistemas convencionales. Esta alternativa también tiene ventajas, ya que permite reducir los costos de climatización; aunque la amortización del equipo solar se realiza en un plazo un tanto mayor. En la actualidad el creciente incremento de los energéticos y los altos índices inflacionarios motivan la instalación de estos sistemas ya que además de reducir costos, el periodo de amortización se reduce considerablemente. En las figuras (18-19) se muestran algunos ejemplos de este tipo de sistema y es necesario hacer algunas consideraciones como son el hecho de que comparativamente los sistemas de calefacción a base de líquidos así como los sistemas para calentamiento de agua y calefacción se consideran como los más eficientes, sin embargo aunque los líquidos pueden hacerse circular más eficientemente pueden llegar a causar problemas de corrosión, fugas y en lugares muy fríos pueden congelarse. Por otra

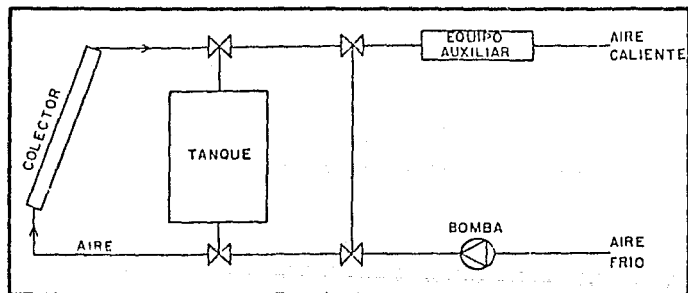
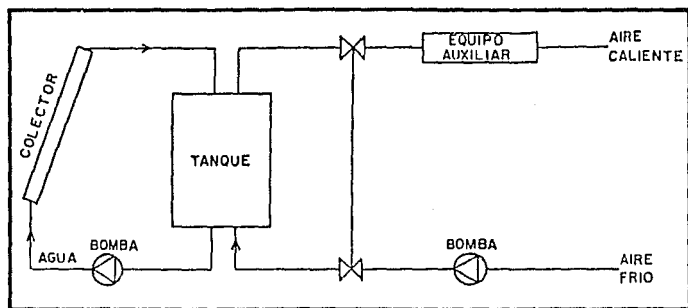


fig. 18

Sistemas activos para el calentamiento de aire a base de agua y aire respectivamente

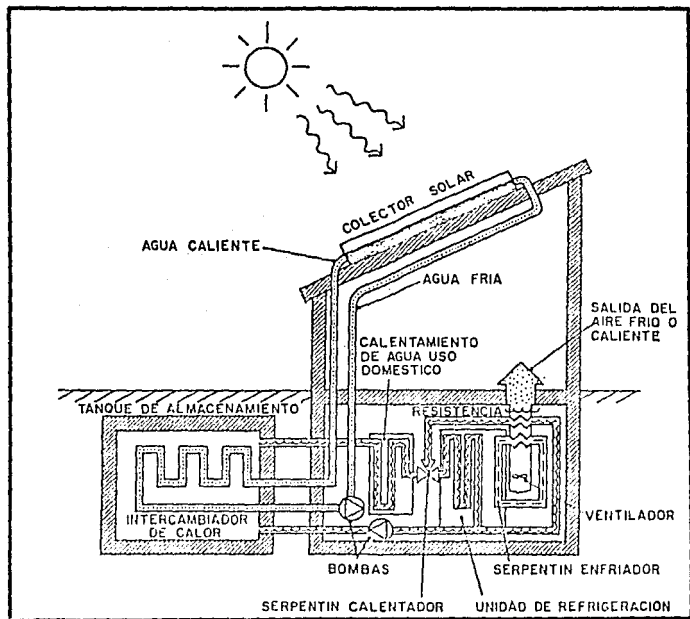


fig. 19

Sistema activo de enfriamiento y calentamiento

parte, el aire no es corrosivo y no se congela, no provoca problemas cuando se fuga, pero tiene por desventaja requerir volúmenes de almacenamiento mucho mayores y se requieren también mayores áreas de intercambio. El aire circulante puede llegar a contaminarse también, con polvos y malos olores cuando se descuida la limpieza de los depósitos, o cuando llegan a presentarse microorganismos en los materiales porosos utilizados.

**C A P I T U L O 4**  
**PROCESO CONSTRUCTIVO**

#### 4.1 ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR

Para instalar un sistema solar con cualquier finalidad, se hace necesario contar con datos que indiquen la radiación de que se dispone en el lugar específico en donde se desee instalar. Esto con el objeto de escoger el tipo que se adapte mejor y tenga el máximo rendimiento en las condiciones de insolación de la localidad de que se trate.

En algunos países, donde se cuentan con recursos tecnológicos más avanzados, se tienen estudios de muchos años que permiten conocer la radiación incidente en diversas localidades. Con lo que dichos valores se pueden establecer de manera práctica.

En México como en muchos otros países, la obtención de los valores de la radiación a lo largo de la República, se tienen que calcular partiendo de los datos de insolación. Para este efecto el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. utilizó un método empírico desarrollado por Jeevanada, el cual requiere como datos las horas de insolación y datos meteorológicos como: el número de días lluviosos durante el mes y la humedad media por día en el mes.

La característica de los datos de los que parte el estudio del Instituto de Ingeniería para calcular la radiación, toman como base el estudio de 38 localidades de las cuales 14 tienen prome-

dios mensuales de 30 años, 11 tienen promedios de más de 25 años, 4 promedios mayores de 20 años, 3 más de 15 años, 2 con 10 o más años y las 4 últimas con promedios de aproximadamente 7 años.

El procedimiento permite calcular la radiación global diaria promedio para un periodo determinado y se determina con la siguiente expresión:

$$Q = k [ (1 + 0.8 p)(1 - 0.2 t) / \sqrt{h} ] \text{ (ly/día)}$$

donde:

$k$   $(\lambda N + \psi_{ij} \cos \phi)^{10}$  en ly/día

$\phi$  latitud del lugar, en grados

$N$  longitud promedio del día durante el mes y es igual a:

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

$\delta$  es la declinación (es decir, la posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador).

$\lambda$   $0.2/(1+0.1\phi)$  Factor de latitud.

$\psi_{ij}$  Factor de estación que depende del mes y localidad (costa o tierra adentro) ( $i=1,2,\dots,12$ ; 1 enero, 2 febrero, ..., 12 diciembre)

$p$   $n/N$

$n$  horas promedio de insolación por día durante el mes.

$t$   $r/M$

$r$  número de días lluviosos



M número de días en el mes

h humedad media por día en el mes

Para obtener la declinación, se establece la expresión:

$$j = 23.45 \text{ sen } [(360) 284+n/365]$$

Los resultados obtenidos para todos los datos se pueden resumir en los mapas que se presentan en las figs.(20-21). El estudio determinó el promedio de radiación total diaria para cada mes y el promedio anual.

En el mapa del promedio anual se pueden establecer que las regiones de mayor radiación son las del norte de Sonora y Chihuahua apropiadas para la instalación de sistemas en los que se requiera de una alta incidencia de energía solar. La zona abarca Durango, Zacatecas, Aguascalientes, la mayor parte de Guanajuato y el noroeste de Jalisco tienen una incidencia de 450 ly/día igual que la zona que abarca parte de Puebla y una amplia zona de Oaxaca.

En general, se puede observar que más de la mitad del país recibe 400 ly/día en el año cifra que representa que la energía solar es una fuente importante de energía.

El método ocupado permite obtener una exactitud que se estima alrededor de +-10%, en comparación con otros métodos.

Además de estos valores en algunos casos se hace necesario conocer el valor instantáneo de la radiación a lo largo del día con el objeto de poder evaluar el comportamiento del sistema solar

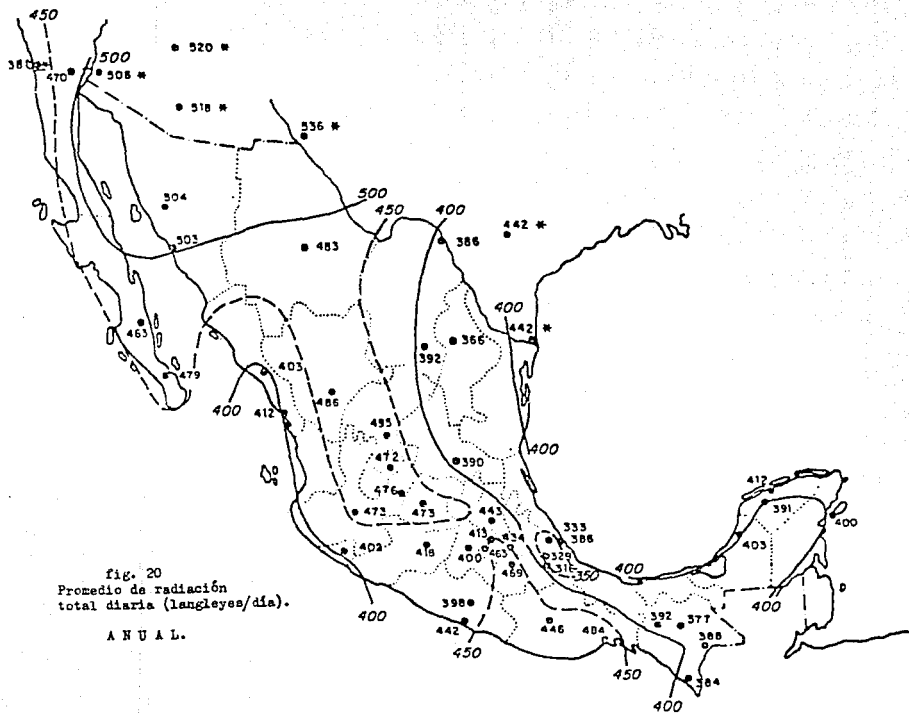


fig. 20  
 Promedio de radiación  
 total diaria (langleyes/día).  
 A N U A L.

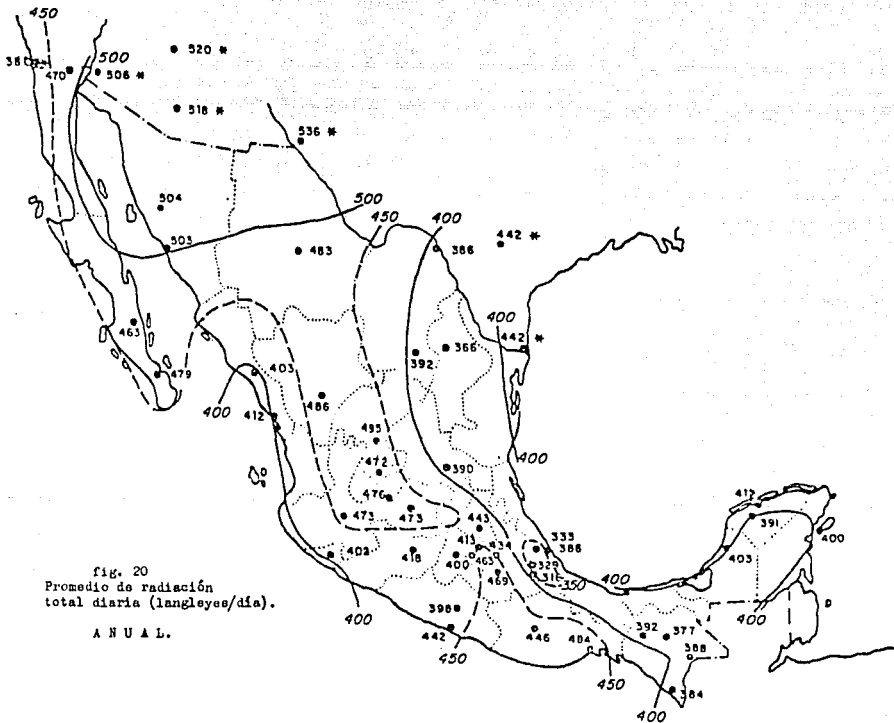


fig. 20  
 Promedio de radiación  
 total diaria (langleyes/día).

A N U A L.

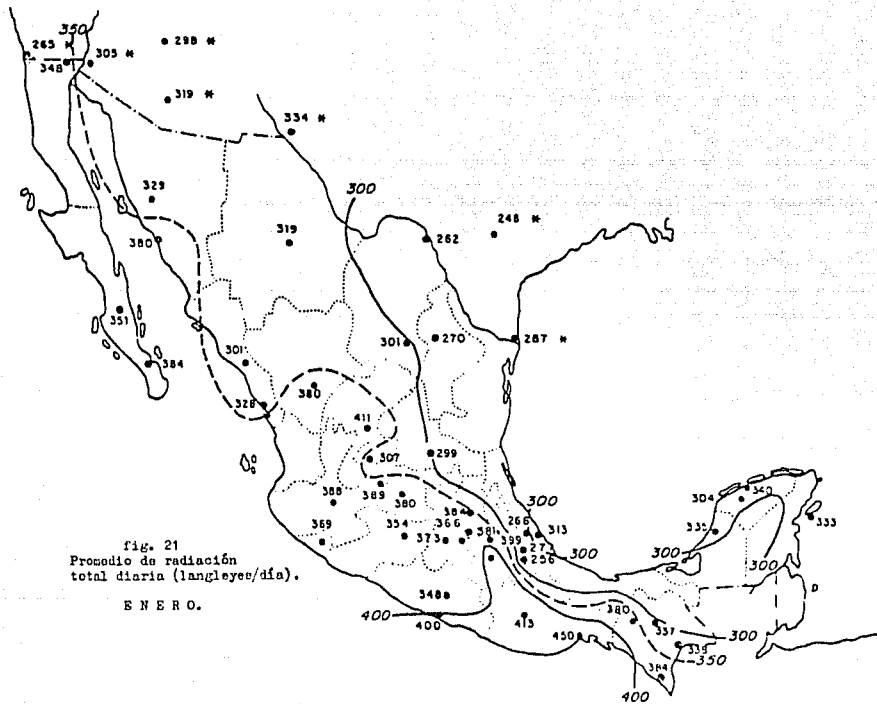


fig. 21  
 Promedio de radiación  
 total diaria (langleyes/día).

ENERO.

que se emplea en un momento determinado.

En muchos casos en nuestro país no es posible determinar estos valores de una manera práctica, por la carencia del equipo necesario. El Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. ha desarrollado un método para evaluar la radiación solar instantánea partiendo del conocimiento de la radiación global recibida en un promedio en la localidad en estudio, es decir, sin depender de mediciones experimentales de la radiación solar.

A través de este método se pueden establecer los valores de la energía solar total ( $\bar{G}$ ), la componente directa ( $\bar{G}_b$ ) y la componente difusa ( $\bar{G}_d$ ) de la radiación, en un instante dado.

Partiendo de los valores del promedio mensual de radiación máxima total ( $\bar{GM}$ ) y del promedio mensual de radiación máxima directa ( $\bar{G}_bM$ ).

La relación que permite obtener los valores instantáneos de la radiación solar es la siguiente:

$$\bar{G} = \bar{GM} \cos^{\alpha} (180 \Theta / N)$$

donde:

GM es la radiación total máxima recibida en promedio mensual, cuando el sol se encuentra en el punto más alto de su trayectoria aparente, y se puede referir también a cualquiera de sus componentes directos o difusos.

$\alpha$  Es un exponente adimensional cuyo valor está en función tanto de la latitud ( $\phi$ ) como del número del día del año (n.)

$\Theta$  Hora solar verdadera referida al cero cuando es el me-

diodia; positiva en las mañanas y negativa en las tardes.

$$(\Theta = w/15)$$

w Angulo horario; varia 15 grados cada hora ( $w=15\Theta$ ) y también es positivo en las mañanas y negativo en las tardes.

N Es la duración del día solar. ( $N=2ws/15$ )

ws Angulo horario al alba. En México su valor es cercano a 90o y se determina por  $ws=\cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$

Para obtener el valor instantáneo de la radiación solar directa, es posible a través del mismo procedimiento, sólo colocando el subíndice b en la ecuación anterior. Para obtener el valor de la componente difusa se emplea la expresión  $\bar{G}_d = \bar{G} - \bar{G}_b$ .

En cuanto al exponente  $\alpha$  se puede considerar como valor constante igual 1.2 para el cálculo de  $\bar{G}$  y para determinar los valores de  $\bar{G}_b$  y  $\bar{G}_d$  el valor de  $\alpha$  puede ser igual a 1.5. Estos valores producen resultados satisfactorios al evaluar  $\bar{G}$ ,  $\bar{G}_b$  y  $\bar{G}_d$  en lo referente a la precisión.

El valor de  $\bar{G}_M$  se puede obtener de mapas como los que se muestran en las figs.(22-23) de los cuales los datos que se observan fueron procesados con este método obteniendo los mapas de radiación, tanto de radiación total como para el componente directo de la radiación con valores máximos diarios en promedio mensual considerando los días de nubosidad homogénea y constante, al mediodía solar, cuando el sol se encuentra en el punto más alto de su trayectoria aparente.

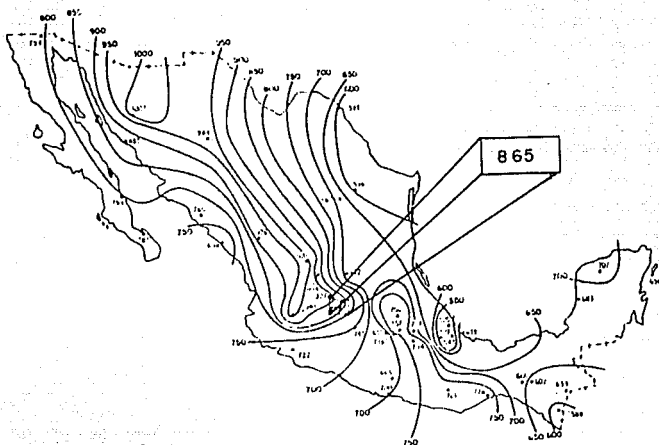


fig. 22

Promedio mensual de radiación  
máxima total (GM).

mayo

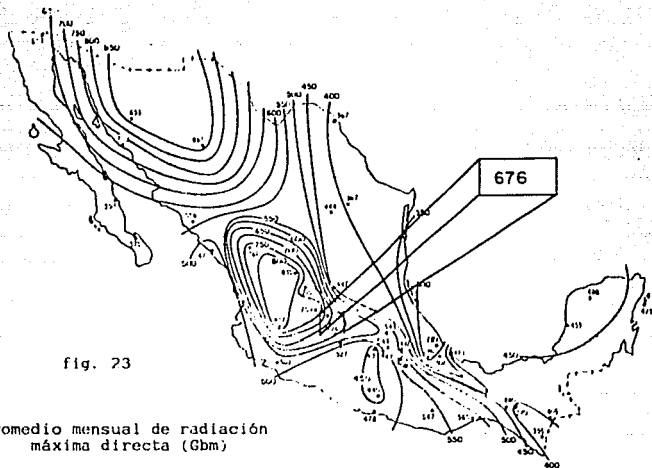


fig. 23

Promedio mensual de radiación  
máxima directa (Gbm)

mayo



# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Por ejemplo, se desea conocer  $\bar{G}$ ,  $\bar{G}_b$  y  $\bar{G}_d$  a las 10:15 hrs. en la ciudad de Guanajuato el día 3 de mayo.

El valor de  $\bar{G}_M$  se obtiene del mapa de la figura (22)

$$\bar{G}_M = 865 \text{ w/m}^2$$

Para obtener el valor de  $\bar{G}_{bm}$  en el mapa de la figura (23) se tiene

$$\bar{G}_{bm} = 676 \text{ w/m}^2$$

el día 3 de mayo  $n = 123$ . Para determinar la declinación:

$$d = 23.45 \text{ sen } [(360) 284+n/365]$$

$$d = 23.45 \text{ sen } [(360) 284+123/365] = 15.515^\circ$$

la latitud en la ciudad de Guanajuato es:  $\phi = 21.01^\circ$

por lo que:

$$ws = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan d)$$

$$ws = \cos^{-1}(-\tan 21.01^\circ \tan 15.515^\circ) = 96.120^\circ$$

Calculando la duración del día solar:

$$N = 2ws/15$$

$$N = 2(96.120^\circ)/15 = 12.816\text{h}$$

El valor de la hora solar verdadera  $\Theta$  para las 10:15hrs. será las 10:15 h son  $10.25^\circ$  :

---

$$\Theta = 12 - 10.25 = 1.75$$

---

Sustituyendo todos los valores de la ecuación

$$\bar{G} = \bar{G}_M \cos^{\alpha} (180 \Theta/N)$$

$$\bar{G} = 865 \cos^{1.2} (180 \times 1.75/12.816) = 771.82 \text{ w/m}^2$$

Para obtener la componente directa:

$$\bar{G}_b = \bar{G}_{bm} \cos^{\alpha} (180 \Theta/N)$$

$$\bar{G}_b = 676 \cos^{1.5} (180 \times 1.75/12.816) = 586.24 \text{ w/m}^2$$

La componente difusa se obtiene de:

$$\bar{G}_d = \bar{G} - \bar{G}_b$$

$$\bar{G}_d = 771.82 - 586.24 = 185.58 \text{ w/m}^2$$

Cuando se desea colocar un sistema de climatización, principalmente del tipo pasivo, además de conocer los valores de la radiación se deben evaluar las condiciones del microclima local, el volumen de construcción, las características mecánicas y térmicas de los materiales, el diseño adecuado de muros, pisos y techos en cuanto a forma y dimensiones, la función que desempeña la edificación: habitacional, escuela, fábrica, centro comercial, hospital, iglesia, etc. y considerar la transferencia de calor en la construcción misma y con su medio ambiente.

El conocimiento de las características climáticas del lugar donde se va a instalar el sistema debe incluir: la temperatura del aire, humedad, velocidad del viento, precipitación, duración e intensidad de la insolación, nubosidad y contaminación atmosférica. Deben considerarse además características como la vegetación circundante, la topografía del sitio ya que determinará la pendiente, orientación, elevación de la construcción y su exposición a los rayos solares durante el año. También resultan importantes

las características del suelo en su estado natural o modificado porque su reflectividad puede influir positiva o negativamente sobre la construcción al reflejar más o menos radiación sobre ésta. Se debe verificar cuando alrededor de la construcción existan objetos (casas, edificios, árboles, etc.) capaces de desviar la dirección de los vientos locales predominantes y de proyectar sombras sobre la construcción, las que pueden beneficiar en verano o perjudicar en invierno. El estudio del movimiento anual de las sombras proyectadas por los cuerpos adyacentes a la construcción es indispensable al considerar cualquier sistema de calefacción ya sea pasivo o activo.

#### 4.2 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES PARA LOS CAPTADORES

Un aspecto decisivo en cuanto a la elección de los materiales para conformar los colectores planos y en general de todos los tipos se refiere a los costos. Para este punto es necesario involucrar tres aspectos decisivos que hacen rentables y competitivos a los colectores: buenas propiedades mecánicas, resistencia al intemperismo y un bajo costo.

Para la fabricación de colectores planos se requerirá primeramente de un material rígido para la caja estructural y un tipo de aislante térmico altamente eficiente. Este último no sólo requerirá propiedades de baja conductividad térmica sino características de desgaste lento, que deberá ser mínimo tal que, permita una larga vida del equipo y una amortización a corto plazo. Los materiales que integran los colectores, son objeto de intensos análisis que buscan lograr una mayor eficiencia. Dichos análisis parten del punto de que todos los materiales tienen una relación definida entre la radiación que absorben y la que emiten es decir, un cuerpo absorbe energía solar y emite energía radiante característica de su temperatura, la temperatura en equilibrio final del cuerpo es directamente proporcional a la relación entre la absorptancia sobre la emitancia. Entonces se requieren materiales con alta absorción en la banda de emisión solar y baja emitancia en el intervalo de emisión de un cuerpo

negro. Todo lo anterior lleva al conocimiento de las superficies selectivas. Estudios realizados indican que dichas superficies pueden llegar a reducir hasta un 79% las pérdidas por radiación. Se han obtenido diversos tipos de superficies selectivas en base a óxidos y llegan a tener absorptancias de 0.9 para radiación solar una emitancia entre 0.1 y 0.2 para radiación infrarroja. Es importante que el material en el que se depositen los óxidos debe estar pulido a espejo a fin de lograr las menores emitancias posibles.

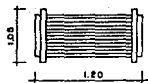
En la actualidad de manera comercial hay muy diversos diseños de colectores disponibles en el mercado con características de resistencia, eficiencia y durabilidad resultado de un completo análisis de los materiales que los conforman. Estos dispositivos tienen como ventaja el poco o nulo mantenimiento de que son objeto lo que propicia una mayor competitividad frente a los sistemas convencionales.

En la siguiente figura (24) se presentan algunos ejemplos de colectores que se encuentran disponibles de manera comercial y se manejan algunas de sus características principales.

En cuanto a los dispositivos para la conversión de energía solar a electricidad se debe considerar que el funcionamiento de los diversos tipos de celdas responde a los planteamientos de la

## COLECTOR MODELO SM-37

<b>DIMENSIONES</b>	LARGO 2.10 mts. ANCHO 1.08 mts. GRUESO 0.08 mts.
<b>PESO</b>	40 KILOS
<b>MARCO DEL COLECTOR</b>	ALUMINO ANODIZADO 100% HERMETICO
<b>PLACA ABSORBENTE</b>	CONSTRUCCION DE LAMINA Y TUBERIA DE COBRE, TUBO CABE- ZAL QUE NO PRODUCE TURBULEN- CIAS, SOLDADURA ESPECIAL
<b>SUPERFICIE ABSORBENTE</b>	PINTURA NEGRO MATE ALTA TEMPERATURA Y CROMO NEGRO (OPCIONAL)
<b>PLACA TRASERA</b>	LAMINA DE ALUMINIO
<b> AISLANTE</b>	POLI-ISOCIANURATO
<b>VIDRIO</b>	DE 4 mm. CON BAJO CONTENIDO DE HIERRO.
<b>CAPACIDAD</b>	17 000 BTU AL DIA, PRUEBA DEL "FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER"
<b>USOS</b>	AGUA CALIENTE DOMESTICA, COMERCIAL E INDUSTRIAL EN SISTEMAS DE TERMOSIFON Y CIRCULACION FORZADA.



PLANO FRONTAL



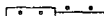
CORTE TRANSVERSAL  
UNID. MTS.

## COLECTOR MODELO SM-47 B

<b>DIMENSIONES</b>	LARGO 2.02 mts. ANCHO 1.22 mts. GRUESO 0.04 mts.
<b>PESO</b>	14 KILOS
<b>PLACA ABSORBENTE</b>	CONSTRUCCION DE LAMINA Y TUBERIA DE COBRE, TUBO CABE- ZAL QUE NO PRODUCE TURBULEN- CIAS, SOLDADURA ESPECIAL
<b>SUPERFICIE ABSORBENTE</b>	PINTURA NEGRO MATE ALTA TEMPERATURA.
<b>CAPACIDAD</b>	DE 3.5 A 6 m <sup>3</sup> DE AGUA CON UN CALENTAMIENTO PROMEDIO ANUAL DE 65° C.
<b>USOS</b>	ESPECIAL PARA ALBERGAS NORMALES O TIPO PERSIANA



PLANO FRONTAL



CORTE TRANSVERSAL

UNID. MTS.

COLECTORES SOLARES

fig. 24

ESPECIFICACIONES

sección 2.3 sólo haciendo variaciones de los materiales para desarrollar las máximas eficiencias en base a las combinaciones de diversos materiales; pero trabajando siempre bajo los mismos principios teóricos.

Con respecto específicamente a las celdas fotovoltaicas, que resultan ser los dispositivos más eficientes, se pueden hacer algunas consideraciones respecto a los materiales con que se elaboran. Cabe hacer hincapié que en México este tipo de celdas se analizan y fabrican a través de los centros de investigación como son el Instituto de Investigación de Materiales de la U.N.A.M. y del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del I.P.N. Para un uso más comercial se debe disponer de celdas que son de importación cuyo costo limita el poder utilizarlas de manera generalizada.

Como se explica anteriormente el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas consiste en poner materiales semi-conductores con un electrón más o menos formando las capas tipo P y N para lograr el flujo de electrones en cuanto se expone este arreglo de materiales a la radiación solar.

De los materiales usados como semiconductores destaca el silicio. El silicio se puede obtener de cualquier arena y es un elemento sumamente abundante.

Se puede disponer del silicio en diversos tipos, así se tiene el silicio monocristalino que tiene como ventaja que el transporte

de los electrones en este medio resulta muy favorable, aunque por otro lado resulta muy sensible a los ataques químicos y su costo resulta ser muy elevado lo que interpone un obstáculo muy importante para su uso dentro de los sistemas solares fotovoltaicos.

Por otra parte, se tiene el silicio policristalino que consiste en finos granos densamente empacados y resulta más barato que el silicio monocristalino. La desventaja principal que presenta este material es que las uniones de los granos lo hacen susceptible a alteraciones debidas a efectos del ambiente como pudiera ser la humedad. Es por esto que se debe poner mayor atención en el encapsulamiento del material lo que eleva considerablemente su costo. Existe aún otra posibilidad, que representa el uso del silicio amorfo que tiene como ventaja no tener fronteras entre granos, lo que implica una mayor resistencia contra los ataques externos. Su costo resulta ser mucho menor. También este material absorbe bien la radiación solar en una importante región dentro del espectro solar. Sin embargo, tiene como desventaja que la movilidad de los electrones resulta ser mucho menor, tanto así que resulta ser por lo menos 100 veces menor que en el silicio monocristalino.

Los electrodos utilizados en este tipo de celdas son de titanio y de plata. Dichos materiales deben tener como característica una alta pureza, ya que en caso contrario ocurrirá una disminución



considerable en la eficiencia de la celda.

Una parte importante en este tipo de dispositivos es la capa antirreflejante que ayuda a evitar en buena parte las pérdidas por reflexión .

La interconexión de las celdas se hace teniendo como sustrato aluminio anodizado. El módulo es encapsulado con una resina de silicón que sirve para proteger la celda del medio ambiente. El encapsulante deberá tener como características la transparencia, la dureza, una impermeabilidad al vapor de agua y al oxígeno y estabilidad a los rayos infrarrojos y ultravioletas. Finalmente, se usa vidrio templado de 5 mm. de espesor a fin de proteger el dispositivo de los impactos fuertes de la intemperie, aunque se tiene como desventaja que absorbe un 10% de la energía que le incide.

Los módulos de este tipo de celdas vienen en un arreglo de 36 celdas de 82.5 mm. de diámetro, interconectadas en serie. El módulo pesa aproximadamente 8 kg. por lo que se sustenta de una estructura bastante rígida en caso de que sea necesario utilizar un número considerable de módulos.

#### 4.3 RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION, MANTENIMIENTO Y USO DE LOS SISTEMAS SOLARES

Para la instalación de sistemas solares suelen hacerse diversas recomendaciones, que de manera general resultan ser similares entre sí para los sistemas de aprovechamiento de la energía solar, más adelante se hacen algunas observaciones referentes a los sistemas de calentadores solares, las que se pueden aplicar a los diversos dispositivos existentes.

Al revisar el sistema deberá verificarse que el área de captación sea la adecuada para las necesidades que se plantean y si la inclinación así como la orientación de los paneles es la correcta. Para un uso adecuado del sistema se debe conocer claramente cómo funciona y los alcances y beneficios que de él se pueden esperar. El uso de un sistema de este tipo requiere de una operación aproximada de 8 horas diarias ; deberá operarse 2 horas después de salir el sol y dejar de operarlo 2 horas antes de que se oculte. El equipo no debe dejarse trabajando durante la noche, pues se convertirá en un enfriador.

Para comprobar si un equipo opera eficientemente, bastará simplemente con tocar el captador, éste deberá estar relativamente fresco lo que indicará que el calor está siendo transmitido al agua. Si el equipo está caliente el sistema requerirá un flujo

mayor de agua lo que se obtiene instalando una bomba más potente, disminuyendo la fricción en las tuberías o instalando una bomba auxiliar.

Otro síntoma de que el sistema no trabaja en forma adecuada es el hecho de que existan burbujas de aire en la descarga, éstas se deben a que la caída de presión en la línea de descarga forma un vacío que toma aire del exterior, es decir que el agua retorna más rápidamente de lo que la bomba es capaz de enviar, la solución es igualar las presiones instalando una válvula en el retorno e irla cerrando hasta que las burbujas desaparecen.

Al efectuar las instalaciones es necesario hacer las siguientes recomendaciones:

- 1.- Anclar perfectamente el equipo, utilizando taquetes y tirantes.
- 2.- Asegurarse de no afectar la impermeabilización de la azotea.
- 3.- Estudiar detenidamente el arreglo hidráulico de los captadores.
- 4.- Prever conexiones de drenaje para vaciar el equipo.
- 5.- Considerar la estética de la instalación.

En el caso de los calentadores domésticos es necesario poner atención en los puntos que a continuación se mencionan.

a) Los paneles deben ser localizados para recibir la mayor cantidad de sol posible, por lo que se debe tener cuidado de que no estén sombreados por lo menos de 9 A.M. a 4 P.M.

Se debe considerar la proyección de las sombras en cada época del año.

b) La orientación de los captadores deberá ser hacia el sur con desviaciones no mayores de 15° a este u oeste. El sur será geográfico no el magnético, si la brújula es colocada en lugares inadecuados (es decir, si hay cerca metales o equipos eléctricos, etc.) pueden producirse errores de más de 20°.

c) La inclinación deberá ser la latitud del lugar que es como se obtiene la máxima captación de energía solar, pero haciendo variaciones según la época del año así la máxima captación durante el invierno se logra cuando la inclinación es de la latitud +10° y el ángulo más adecuado en verano es la latitud -10°.

d) Se deben aislar las líneas de agua caliente del captador al termo-tanque y también el jarro de aire, sobre todo en este último se registran grandes pérdidas de calor.

e) Deberá instalarse en la línea de alimentación de agua fría una válvula de retención para prevenir que en ausencia de presión se vacíe el termo-tanque provocando posibles bloqueos del sistema por aire.

f) Tomar en consideración la altura de los tinacos de alimentación, la presión de la red de agua municipal o la presión de sistemas mecánicos o hidroneumáticos, según sea el caso para evitar fugas o mal funcionamiento en el equipo.

g) El anclaje del sistema deberá tomar en cuenta al viento, la zona sísmica, etc.

h) Para el funcionamiento del termosifón se debe considerar que no se puede colocar el tanque abajo del colector, las tuberías horizontales deberán tener una ligera inclinación de por lo menos 3 mm. por metro hacia los puntos altos y que el diámetro de los tubos debe permitir la circulación sin problemas fuertes de fricción.

En cuanto al mantenimiento de los equipos el problema principal se refiere a la limpieza del vidrio o material que haga el efecto de invernadero, por lo que se recomienda dejar una llave en la parte baja del sistema para poder tomar agua y limpiarlo, esta llave también puede servir como drenaje para el sistema.

En caso de que la caja del captador no sea hermética habrá problemas de condensación sobre la cara interna del cristal, además el polvo y la suciedad penetrarán al interior y hay posibilidades de mejorar el aislante térmico.

En la práctica es muy difícil hacer que sea perfectamente hermético, por lo que se recomienda sellar el captador en operación una vez que hayan desaparecido las condensaciones ( a la hora de mayor calor) y no usar masticado en la junta de vidrio-caja si esto no se soluciona, entonces deberá ventilarse el interior del colector haciendo algunos agujeros pequeños en la caja entre el captador y el cristal en una zona protegida de la lluvia.

**C A P I T U L O 5**  
**EJEMPLO DE UTILIZACION**

## 5.1 EJEMPLO DE UTILIZACION, ANALISIS DE COSTOS Y COMPARACION CON LOS SISTEMAS CONVENCIONALES

A través de los capítulos anteriores se ha podido observar que la utilización de la energía solar para cubrir requerimientos habitacionales es factible técnicamente, pero en la actualidad para que su uso se pueda difundir es necesario conocer si económicamente se justifica. Para este efecto se considera conveniente hacer la evaluación sobre un ejemplo de utilización proponiendo tanto la alternativa solar como una posibilidad convencional para cubrir una necesidad específica en una casa habitación.

Para este trabajo particularmente el requerimiento que se plantea es el de cubrir el abastecimiento de agua caliente para una casa-habitación de 4 personas en la ciudad de Cuernavaca, Morelos. Para satisfacer esta necesidad se propondrán 2 alternativas:

1) Un equipo solar del tipo termosifón, cuyas características se describen a continuación:

DIMENSIONES:	2.83 x 0.86 x 0.10 mts.
PESO;	45 kg.
CUBIERTA:	Poliesférica
MARCO:	Moldura de Aluminio
SELLO:	Neopreno
CAJA:	Acero galvanizado o Aluminio

COLECTOR SOLAR: Acero y 26.25 mts. de tubería de cobre tipo "L" de 12.7mm. y 38 mm.

SOLDADURA: Soldadura de plata en uniones de tubería y de estaño plomo en uniones de placa a tubo de cobre.

ACABADO DE COLECTOR: Superficie selectiva (0.80 Abs. 0.2Ems.)

AISLAMIENTO: Fibra de vidrio o poliuretano.

De acuerdo con las especificaciones del fabricante 2 colectores con las características mencionadas y con la radiación promedio anual de 463 langleyes/día que recibe la ciudad de Cuernavaca se pueden obtener 370 lts. de agua caliente por día a una temperatura de 50°C.

2) Otra alternativa la constituye un sistema convencional de calentamiento de agua. Para este caso se propone un calentador de gas automático con capacidad de 132 lts. tiene una recuperación de temperatura de 25°C a 50°C en 40 minutos, el quemador es de 8900 cal/hora y trabaja con una eficiencia del 65%.



COLECTOR EST-2

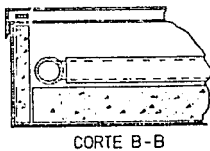
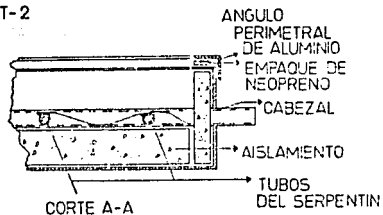
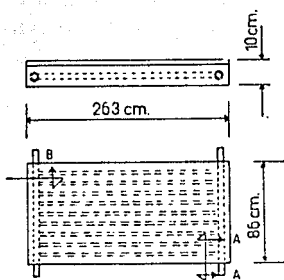


Fig. 25

Las alternativas propuestas tienen la capacidad de satisfacer la necesidad que se planteó en un principio. Para llevar a cabo el análisis económico a continuación se presentan las características de los equipos en lo referente a su costo.

1) Alternativa solar:

Costo: \$2'300,000.00 (YA INSTALADO)

Consumo de energía: 0

Costo de mantenimiento: 2% del costo del equipo (ANUAL)

2) Alternativa convencional:

Costo: \$ 482,000.00 (YA INSTALADO)

Consumo de energía: \$294,654.00 (816.48kg/año)

Costo de mantenimiento: 10% del costo del equipo(ANUAL)

Las alternativas se van a evaluar bajo los métodos de costo anual equivalente, valor presente y tasa interna de retorno.

El método del costo anual equivalente, permitirá conocer cuanto debe pagarse por una inversión determinada que prestará el mismo servicio que otra alternativa si son diferentes tanto sus vidas útiles como sus costos. El método establece que cualquier flujo de caja (es decir, el conjunto de ingresos y egresos de capital) puede convertirse en una serie de pagos anuales iguales, calculando primero el valor presente de la serie original y multiplicando por el factor de recuperación de capital para una serie de

pagos iguales.

El método del valor presente permite establecer que cualquier secuencia de ingresos y egresos generará un valor presente único para un cierto valor dado del interés que se aplique. Entonces, el valor presente es una cantidad actual equivalente a la serie de ingresos y egresos de una inversión determinada a una tasa de interés y con una vida útil ya conocidas. El método involucra que la serie de ingresos y egresos pueden no ser de la misma magnitud.

La tasa interna de retorno es un método útil para situaciones de inversión en las cuales el conocimiento sobre el futuro de las tasas de interés sea altamente incierto, la tasa interna de retorno puede constituir una posibilidad para comparar la factibilidad económica de alternativas de inversión. La tasa interna de retorno se define como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente de una serie de ingresos y egresos.

Para efecto de que ambas alternativas sean comparadas sobre periodos iguales de tiempo se considerará para la alternativa solar una vida útil de 15 años y para el calentador de gas una vida útil de 7.5 años. Haciendo hincapié que se tomará en cuenta para los métodos de valor presente y tasa interna de retorno, el valor de reposición del equipo convencional al término de su vida útil.

Por otro lado, el marco económico en el que se harán las conside-

raciones serán uno sin inflación y considerando una tasa de interés general del 10% y el otro considerando una inflación del 2% mensual y una tasa de interés del 35% anual.

Analizando las alternativas primeramente por el método del valor presente. La siguiente expresión permite conocer el valor presente (P) de una cantidad situada en un tiempo futuro (F), o sea:

$$P = F \times (1 + i)^{-n}$$

donde:

P - Valor presente

F - es la cantidad situada en un tiempo futuro

i - es la tasa de interés que se aplique

n - representa el periodo o periodos de que se trate

La tasa de interés "i" que se aplique puede ser una tasa de interés general en la que no se considera la inflación o, una tasa de interés real o efectiva en la que si se considera, dicha tasa se obtiene de la expresión:

$$i = [(1 + r)/(1 + f)] - 1$$

donde:

r - es la tasa de interés general

f - representa la tasa de inflación

Haciendo el análisis considerando que no hay inflación y con una tasa de interés general  $i = 10\%$

El valor presente de la alternativa convencional estará dado por:

$$VPG = \$482,000.00 + \sum_{n=1}^{15} [(294,654.00 + 48,200.00) \times (1+i)^{-n}] + (\$482,000.00 \times (1+i)^{-15})$$

---

AÑO	$\sum_{n=1}^{15} ((294,654 + 48,200) \times (1+i)^{-n})$
1	\$ 311,685.45
2	\$ 283,350.41
3	\$ 257,591.28
4	\$ 234,173.89
5	\$ 212,885.35
6	\$ 193,532.14
7	\$ 175,938.31
8	\$ 159,943.92
9	\$ 145,403.56
10	\$ 132,185.05
11	\$ 120,168.23
12	\$ 109,243.85
13	\$ 99,312.59
14	\$ 90,284.17
15	\$ 82,078.52

---

T O T A L \$2'607,774.70

El valor presente de la alternativa convencional será:

$$VPG = \$482,000.00 + \$2'607,774.70 + \$235,831.54$$

$$VPG = \$3'325,606.20$$

El valor presente para la alternativa solar, bajo las mismas condiciones estará dado por:

$$VP_s = \$2'300,000.00 + \sum_{n=1}^{15} (46,000 \times (1 + i)^{-n})$$

---

ARO	$\sum_{n=1}^{15} (46,000 \times (1 + i)^{-n})$
1	\$ 41,818.18
2	\$ 38,016.53
3	\$ 34,560.48
4	\$ 31,418.82
5	\$ 28,582.38
6	\$ 25,965.80
7	\$ 23,605.27
8	\$ 21,459.34
9	\$ 19,508.49
10	\$ 17,734.99
11	\$ 16,122.72
12	\$ 14,657.02
13	\$ 13,324.56
14	\$ 12,113.24
15	\$ 11,012.03

---

T O T A L      \$ 349,879.65

El valor presente de la alternativa solar será:

$$VPG = \$ 2'300,000.00 + \$ 349,879.65$$

$$VPG = \$ 2'649,879.60$$

Ahora haciendo el análisis con las características de una inflación del 2% mensual y una tasa de interés general del 35%, la tasa de interés a aplicar será:

$$i = [(1+r)/(1+f)] - 1 = [(1+0.35)/(1+0.24)] - 1 = 0.088$$

El valor presente en estas condiciones para la alternativa convencional estará dado por:

$$VPG = \$482,000.00 + \sum_{n=1}^{15} ((294,654.00 + 48,200.00) \times (1+i)^{-n}) + (482,000 \times (1+i)^{-15})$$

---

AÑO	$\sum_{n=1}^{15} ((294,654.00 + 48,200.00) \times (1+i)^{-n})$	
1		\$ 315,123.16
2		\$ 289,835.25
3		\$ 268,208.87
4		\$ 244,877.27
5		\$ 224,887.20
6		\$ 208,687.79
7		\$ 189,979.59
8		\$ 174,813.59
9		\$ 160,490.43
10		\$ 147,509.59
11		\$ 135,578.66
12		\$ 124,612.74
13		\$ 114,533.77
14		\$ 105,270.01
15		\$ 98,755.53

---

T O T A L      \$2'798,573.40

El valor presente de la alternativa convencional será:

$$VPG = \$482,000.00 + \$2'798,573.40 + \$256,053.26$$

$$VPG = \$3'534,626.60$$

El valor presente con estas consideraciones para la alternativa solar estará dado por:

$$VPG = \$2'300,000.00 + \sum_{n=1}^{15} (46,000x(1+i)^{-n})$$

---

ARO	$\sum_{n=1}^{15} (46,000x(1+i)^{-n})$
1	\$ 42,279.41
2	\$ 38,859.75
3	\$ 85,716.68
4	\$ 32,827.83
5	\$ 30,172.84
6	\$ 27,732.21
7	\$ 25,489.16
8	\$ 23,427.54
9	\$ 21,532.86
10	\$ 19,791.05
11	\$ 18,190.30
12	\$ 16,719.03
13	\$ 15,366.75
14	\$ 14,123.86
15	\$ 12,981.48

---

T O T A L      \$ 375,210.35

El valor presente de la alternativa solar será:

$$VPs = \$2'300,000.00 + 375,210.35$$

$$VPa = \$2,675,210.35$$

Evaluando ahora las alternativas por el método del costo anual equivalente se tiene, que es necesario multiplicar el valor presente de la serie original por el factor de recuperación del ca-



pital. Este factor es de utilidad para cuando se desea recuperar el capital invertido más los intereses, en una serie de cantidades iguales, al finalizar cada ciclo durante un periodo de (n) años. Al hacer la última recuperación no debe quedar ninguna cantidad invertida. El factor de recuperación del capital estará dado por la expresión:

$$FRC = (iB)/(B-1)$$

donde:

FRC - factor de recuperación del capital

B - Es igual a  $(1+i)^n$

n - En este caso será la vida útil del equipo

Haciendo el análisis considerando que no hay inflación y la tasa de interés a aplicar será de  $i=10\%$ . Por lo que el factor de recuperación del capital para cada caso será:

Para el equipo convencional:  $B=(1+i)^n = (1+0.10)^{7.5} = 2.044$

$$FRC=(0.10)(2.044)/(2.044-1)=0.1957$$

Para la alternativa solar:  $B=(1+0.10)^{15} = 4.177$

$$FRC=(0.10)(4.177)/(4.177-1)=0.1314$$

Conociendo el factor de recuperación del capital se va a multiplicar por los valores presentes obtenidos anteriormente para estas mismas condiciones. Para el calentador de gas se tiene:

$$C_{ag} = 0.1957 (\$3'325,606.20)$$

$$Cag = \$650,821.13$$

Para la alternativa solar:

$$Cas = 0.1314 (\$2'649,879.60)$$

$$Cag = \$348,194.17$$

Ahora tomando en cuenta la inflación la tasa de interés a aplicar es  $i=0.088$  por lo que el factor de recuperación de capital para este caso será:

$$\text{Para el equipo convencional: } B = (1+0.088)^{7.5} = 1.882$$

$$FRC = 0.088 (1.882)/(1.882-1) = 0.1877$$

$$\text{Para la alternativa solar: } B = (1+0.088)^{15} = 3.543$$

$$FRC = 0.088 (3.543)/(3.543-1) = 0.1226$$

Aplicando el factor de recuperación de capital al resultado de ambas alternativas en el método de valor presente, se tiene que el costo anual equivalente será:

$$Cag = 0.1877(\$3'534,626.60)$$

$$Cag = \$663,449.41$$

Para la alternativa solar será:

$$Cas = 0.1226 (\$2'675,210.30)$$

$$Cag = \$327,980.78$$

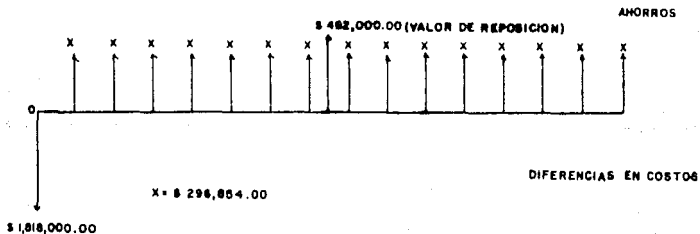
---

	VALOR PRESENTE		COSTO ANUAL EQUIVALENTE	
	c/inflación	s/inflación	c/inflación	s/inflación
SOLAR	\$2'675,210.30	\$2'849,879.60	\$ 327,980.78	\$ 348,194.17
GAS	\$3'534,828.60	\$3'325,806.20	\$ 863,449.41	\$ 650,821.13

---

A través del método de la tasa interna de retorno se analizará el sistema solar considerando las ventajas y desventajas que éste presenta en comparación con los sistemas convencionales. Es decir, tomando en cuenta los ahorros y diferencias en costos que se presentan al elegir este tipo de sistemas.

En base a esta idea, se tendrían que hacer una serie de consideraciones en este sentido: en lo referente al costo inicial resulta ser más económico el sistema convencional por lo que este análisis representará un egreso en términos de la diferencia de costos de ambas alternativas. Por otro lado la diferencia se establecerá a favor del equipo solar en términos de los costos de combustible y mantenimiento del sistema convencional por lo que se representarán como ingresos lo que en realidad resultan ser ahorros, incluyendo en este punto el costo referente a la reposición del equipo convencional al término de su vida útil. De manera gráfica esto se puede representar de la manera siguiente:



Aplicando el método de la tasa interna de retorno, se buscará una tasa de interés que cumpla la siguiente condición:

$$VP(i) = -1'818,000.00 + \sum_{n=1}^{15} \frac{298,854.00x(1+i)^{-n}}{(1+i)^n} + 482,000.00x(1+i)^{-15} = 0$$

Proponiendo una tasa de interés  $i=15.948\%$

AÑO	$\sum_{n=1}^{15} \frac{298,854.00x(1+i)^{-n}}{(1+i)^n}$
1	256,023.38
2	220,808.80
3	190,437.78
4	164,244.12
5	141,853.26
6	122,169.63
7	106,365.89
8	90,873.40
9	78,374.27
10	67,594.33
11	58,297.10
12	50,278.66
13	43,363.11
14	37,398.76
15	32,254.77

T O T A L      1'659,137.20

$$VP(15.948\%) = -1'818,000.00 + 1'659,137.20 + 158,881.22 = 18.42 \approx 0$$

La tasa de interés buscada en este caso es:  $i=15.948\%$

Ahora comparando respecto a los marcos económicos planteados anteriormente se tiene que: 15.948% > 10% (SIN INFLACION)

15.948% > 8,87% (CON INFLACION)

Lo que resulta ser favorable, en caso de elegir la alternativa solar.

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

De todo lo desarrollado en el presente trabajo se puede afirmar que la energía solar representa para nuestro país una alternativa energética muy importante ya que como se mencionó la República Mexicana está ubicada en la zona mundial de máximo asoleamiento y esto debe motivar el empleo de diversas tecnologías para poder explotar al máximo este recurso.

Esta alternativa energética en su empleo más común esta destinada a cubrir los requerimientos habitacionales y en este sentido cumple con los objetivos de satisfacer las necesidades de calentamiento de agua, calefacción o climatización de espacios y generación de energía eléctrica.

De estas posibilidades, el empleo de mayor difusión dada su sencillez y eficiencia es el de los sistemas para calentamiento de agua. Esta alternativa además resulta ser más económica que los sistemas convencionales haciendo hincapié en que el sistema solar podrá cubrir satisfactoriamente las solicitudes siempre y cuando las condiciones de insolación sean las adecuadas. Y aun cuando las condiciones de insolación no fueran las requeridas el sistema solar se puede alternar con algún sistema convencional y esto permitirá tener un ahorro en el consumo de combustibles.

El uso de sistemas solares para calefacción o climatización de espacios no es usada tan frecuentemente como los sistemas para



el calentamiento de agua, sin embargo representan también una alternativa digna de tomarse en cuenta sobre todo en algunas regiones del país donde por lo extremo del clima se consumen cantidades muy grandes de energía eléctrica para activar mecanismos de climatización. El uso de sistemas solares de climatización redundaría en un ahorro de energía y por ende de dinero. El empleo de la alternativa solar en nuestro país, para generar energía eléctrica se encuentra mucho más restringida que para las anteriores aplicaciones. Esto es debido principalmente a su costo ya que muchos de los materiales que se emplean para la fabricación de las celdas solares son de importación. El uso de estos sistemas se podría justificar para llevar energía eléctrica a comunidades que se encuentren aisladas y que comparativamente resulte ser más económico instalar un sistema solar que llevar la energía eléctrica de forma convencional.

Además de todo lo anteriormente expuesto en el presente trabajo se hace un análisis económico en el que se comparan bajo las mismas condiciones un sistema solar de calentamiento de agua contra un método convencional que cumple con la misma función.

El análisis se realizó para una aplicación específica que es la de satisfacer los requerimientos de agua caliente para una casa habitación de cuatro personas en la ciudad de Cuernavaca. Ambas alternativas fueron comparadas bajo las mismas condiciones eco-

nómicas y como se observa en los resultados obtenidos en el último capítulo resulta ser favorable para la alternativa solar. Este resultado indica que el empleo de la energía solar no sólo es factible técnicamente sino que también resulta ser favorable en términos económicos.

El utilizar la energía solar tiene beneficios adicionales a lo que ya se ha comentado, uno de ellos es que se trata de una energía limpia es decir, que no presenta ningún tipo de contaminación y esto se puede afirmar que es una característica muy valiosa. Otro punto en el que se debe hacer hincapié es que a diferencia de otras fuentes energéticas la energía solar se obtiene en el mismo lugar donde se consume, no hay que transportarla del lugar donde se genera al lugar donde se necesita, como ocurre en la mayoría de los casos.

En la actualidad la situación energética depende en gran medida de los combustibles fósiles; sin embargo como ya se ha mencionado en un futuro se tiende a su escasez y eventualmente a su desaparición. En la actualidad el petróleo, por ejemplo, no sólo cumple una función energética sino que hay una serie de derivados de este producto que ya forman parte importante de nuestra vida cotidiana. De todo lo anterior se desprende que el emplear desde ahora otras fuentes energéticas permitiría ampliar la vida de estos combustibles y al mismo tiempo lograr una eventual transición a las nuevas alternativas energéticas.

## BIBLIOGRAFIA

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

- 1.- SV SZOKOLAY ; "ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION" ; EDITORIAL BLUME BARCELONA, 1978.
- 2.- MARTIN McPHILLIPS ; "VIVIENDAS CON ENERGIA SOLAR PASIVA" ; EDICIONES G. GILI, MEXICO D.F., 1985.
- 3.- JOSE LUIS FERNANDEZ ZAYAS, VICENTE ESTRADA-CAJIGAL ; "CALCULO DE LA RADIACION SOLAR INSTANTANEA EN LA REPUBLICA MEXICANA" ; SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M., 1983.
- 4.- MEMORIAS DE LA IV REUNION DE ENERGIA SOLAR ; ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR A.C. ; SAN LUIS POTOSI, 1980.
- 5.- RAFAEL ALMANZA, SERAFIN LOPEZ ; "RADIACION GLOBAL EN LA REPUBLICA MEXICANA MEDIANTE DATOS DE INSOLACION" ; SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M., 1975.
- 6.- RAFAEL ALMANZA, SERAFIN LOPEZ ; "UTILIZACION DE LAS SUPERFICIES SELECTIVAS EN LA ENERGIA SOLAR" ; SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M., 1976.
- 7.- RAFAEL ALMANZA, FELIPE MUÑOZ ; "UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR EN COMUNIDADES RURALES" ; SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M., 1985.
- 8.- E. HERNANDEZ, L. DEL CASTILLO, R. MARTINEZ, P. FUENTES ; "FACTIBILIDAD DEL APROVECHAMIENTO EN MEXICO DE LA ENERGIA SOLAR PARA SATISFACER REQUERIMIENTOS HABITACIONALES" ; CENTRO DE INVESTIGACION DE MATERIALES DE LA U.N.A.M.

9.- CARL W. McPHEE, JOHN I. YELLOT ; "SOLAR ENERGY UTILIZATION FOR HEATING AND COOLING" ; THE AMERICA SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 1974.

10.- CANADA JOHN R. ; "TECNICAS DE ANALISIS ECONOMICO PARA ADMINISTRADORES E INGENIEROS" ; EDITORIAL DIANA MEXICO, 1982.

11.- REVISTA DE INFORMACION CIENTIFICA Y TECNOLOGICA, NUM. 97. CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA, 1984.

12.- LA REVISTA SOLAR, NUM. 9. PUBLICACION DE LA ASOCIACION NACIONAL DE ENERGIA SOLAR, 1984.