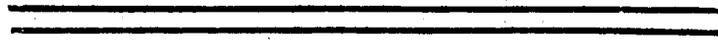


24/151

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Ingenieria**



LA ENERGIA SOLAR Y SU APROVECHAMIENTO EN  
FORMA PASIVA PARA LA CLIMATIZACION DEL  
HABITAT.

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
P R E S E N T A:

**HECTOR SALCEDO TORRES**

**MEXICO, D. F.**

**1981**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# I N D I C E

Página

## INTRODUCCION

CAPITULO I	PRINCIPIOS GENERALES	
I.a	Consumo de energía	2
I.b	Sistema de unidades	10
I.c	Formas de energía	13
I.d	Principios de termodinámica.	16
CAPITULO II	RADIACION SOLAR	
II.a	Flujo de energía mundial	17
II.b	Distribución de la radiación solar	19
II.c	Medición y cálculo de la radiación solar.	23
CAPITULO III	DISPONIBILIDAD DE LA ENERGIA SOLAR EN MEXICO.	
III.a	Porcentajes de radiación solar recibida.	24
III.b	Zonas climáticas	25
III.c	Radiación global media diaria	28
CAPITULO IV	INTENSIDAD SOLAR EN UNA SUPERFICIE	
IV.a	Reflexión, transmisión y absorción.	33
IV.b	Característica del calor	35

CAPITULO V	APROVECHAMIENTO DEL CALOR SOLAR	
V.a	Ganancia directa	42
V.b	Ganancia indirecta	46
V.c	Ganancia aislada	56
V.d	Ventajas y desventajas de los sistemas solares pasivos.	57
CAPITULO VI	REGLAS PRINCIPALES PARA ESCOGER EL SISTEMA.	
VI.a	Localización de la construcción.	60
VI.b	Criterios para selección del sistema y materiales	62
VI.c	Criterios para hacer más eficiente el sistema	71

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

- 1 -  
**Introducción**

Ante las magníficas características de insolación en México y el probable aumento del costo de los hidrocarburos, en los años venideros, es posible participar a corto plazo una rápida expansión de la tecnología solar, con aplicaciones a la vivienda, ya sea en zonas rurales, donde el suministro de energéticos es difícil e incosteable, como en zonas urbanas.

El propósito fundamental de este trabajo, consiste en despertar el interés de todas las personas involucradas de una u otra manera, en decisiones sobre el diseño y construcción habitacional, respecto a la potencialidad arquitectónica que representa, el considerar las características climáticas locales, así como las características térmicas de los materiales de construcción, ya que en conjunto se encuentran indisolublemente ligadas a las condiciones óptimas del confort térmico humano.

Se analizan las características de intensidad y duración de la insolación en el país, incluyéndose además información respecto a los distintos climas y orientaciones preferentes. Se plantea el aprovechamiento de la energía solar en forma pasiva, como una solución completamente factible a problemas de climatización (enfriamiento y calentamiento) destacándose las cualidades de esta fuente energética suficiente y limpia, capaz de proporcionar en forma total o parcial las condiciones necesarias para la sensación de bienestar térmico requeridas en diferentes regiones climáticas. Se incluyen además propiedades térmicas de materiales de construcción, ya sea tradicionales o recientes, estos últimos.

CAPITULO I

PRINCIPIOS GENERALES

I.a) Consumo de energía

Quizás la característica más importante de nuestra sociedad, al menos desde el punto de vista objetivo y material es que está fundamentada en un abastecimiento energético cada vez mayor. Sin esto, nuestra industria, nuestros transportes e incluso la agricultura o la vida doméstica urbana no podrían existir.

Durante miles de años la sociedad ha subsistido en base al trabajo desarrollado por el hombre y por el animal. Las primeras fuentes de energía inanimadas como por ejemplo, los molinos de viento o las ruedas hidráulicas, significaron un incremento del régimen de trabajo (potencia) pero el salto cualitativo no se produjo hasta los siglos XVII y XVIII.

Para poder hacer más ilustrativa la comparación de la magnitud de unas fuentes energéticas se expone el siguiente cuadro (usando como unidad de potencia el watio, W).

Hombre	80 W		(hasta 300 W durante períodos cortos)
Burro	180 W		
Mula	370 W		
Buey	500 W		
Caballo	750 W		
Molino de agua	1.5-3.8 KW		(rueda de alimentación superior de 5 m. de diámetro)
Molino de viento	1.5-6.0 KW		(molino de viento típico)
Máquina de vapor	5.2-7.5 KW		(tipo estacionario antiguo)
Automóvil de 1000 cc	45-60 KW		
Turbina de vapor	de hasta 100 Mw.		

El desarrollo del motor de combustión interna y de diversas turbinas, incrementaron tanto la potencia de trabajo que dichas unidades podían desarrollar, que su número fué aumentado de una manera exponencial a partir del siglo XVIII, provocando ésto un gran aumento en el consumo mundial de combustibles.

El siguiente cuadro o gráfica muestra el crecimiento del consumo energético mundial en un período de 40 años, comprendido entre 1931 y 1971. Basado en datos del UN Statistical yearbook.

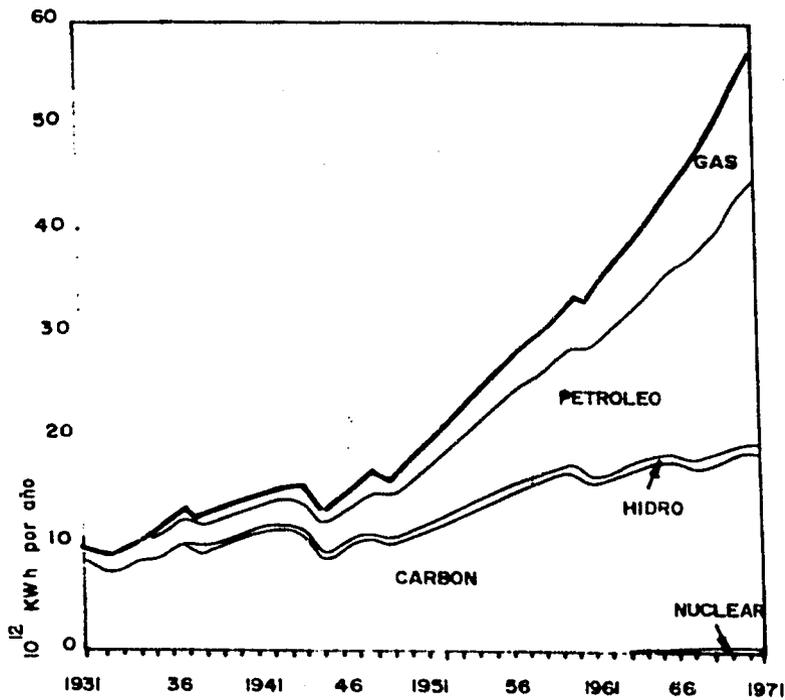


FIG. I - 1. Producción energética mundial 1931 - 71

Hoy en día, más del 98% de nuestra energía procede de los combustibles fósiles: Carbón, petróleo y gas natural. Por importantes que éstas sean, debemos estar conscientes que son limitadas.

El ritmo actual de explotación es claramente imposible de mantener. Debemos tener en cuenta que, tanto el carbón como el petróleo no son solamente combustibles, sino también importantes materias primas para nuestra industria química.

Existen diversas formas de presentar una hoja de balance de inventario, en el aspecto contable: la más sencilla es la que utiliza el índice estático. Este aplicándolo al aspecto de los combustibles se obtiene dividiendo el consumo anual actual por la cantidad de reservas conocidas. A pesar de que el resultado obtenido es un número de años, esto no significa ser una previsión, sino solamente es un índice estático, ya que no se toma en cuenta el aumento del consumo anual. De esta forma obtenemos que para el carbón son 2 300 años y para el petróleo 31 años.

El índice exponencial se calcula de una manera similar, pero teniendo en cuenta el crecimiento exponencial del consumo, de ésta forma tendremos que son solamente 111 años para el carbón y 20 años para el petróleo. En realidad este último es más representativo, ya que se apega más a la realidad de las cosas.

Las previsiones actuales tienen en cuenta las estimaciones de descubrimientos futuros de reservas, así como la reducción de

la tasa de consumo, dictada por los incrementos en los precios esperados como consecuencia de la creciente escasez. La siguiente gráfica muestra estimaciones altas y bajas para la producción futura del petróleo y carbón. Basado en Resources and Man, Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y Consejo de Investigación Nacional. Conversiones empleadas: 1 toneladas de carbón 8 000 Kwh. ; 1 barril de petróleo 1870 Kwh

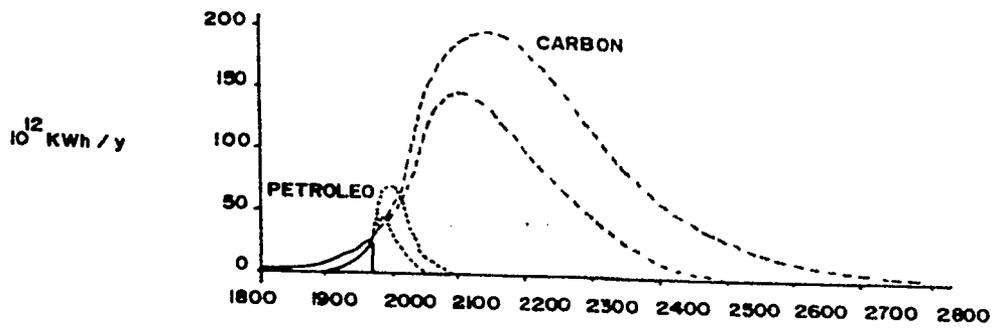


FIG. I - 2.

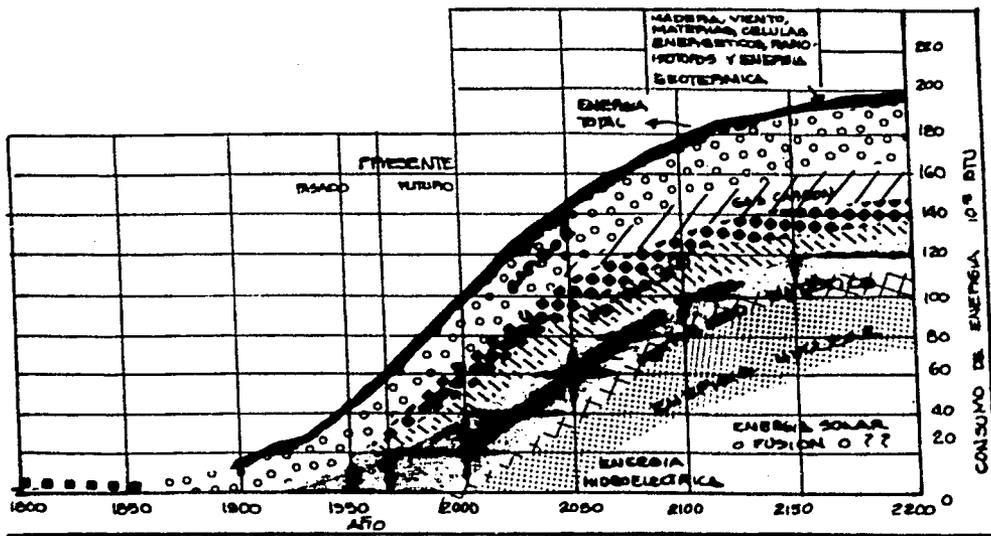
Se cree que los combustibles fósiles se han producido durante un período aproximado de 600 millones de años. El proceso continúa, probablemente, y al mismo ritmo anterior. Dentro de otro millón de años se producirá más combustible fósil por una cantidad aproximada de 1/600 parte del total ya formado.

Estamos usándolo más rápidamente de lo que el sol lo reemplaza, y en el último siglo transcurrido hemos retirado casi veinte veces más de energía-capital que en los siete siglos anteriores.

Se ha observado que en la historia reciente, una nueva fuente de energía se ha desarrollado cada pocas décadas. En 1870 el carbón comenzó a desplazar a la madera, el agua y el viento como fuentes de energía. Unos cuarenta y cinco años más tarde el gas se sumó al panorama de los combustibles. El petróleo fué descubierto en 1859, y la energía hidroeléctrica comenzó a contar a partir de 1890. Naturalmente, el descubrimiento más reciente en este terreno fué la energía nuclear, cuya primera central exclusiva se terminó en 1957.

"Leon Gaucher, ex integrante del plantel de investigaciones de Texaco, Inc., cree que este proceso cíclico debe repetirse y que para el año 2 000 otra fuente importante de energía la producirá para todo el mundo".

Podría tratarse, según él, de la fusión nuclear, pero lo más probable es que sea la energía solar, siempre que la investigación respectiva se inicie pronto y se prosiga con empeño.



GRAFICA DEL USO DE ENERGIA EN EL PASADO, PRESENTE Y FUTURO.

FIG. 1-3

Como se ve en la figura adjunta, preparada por Gaucher, tanto la población como el consumo de energía están destinados a seguir aumentando. El carbón, el gas natural, el petróleo y la energía hidroeléctrica se ven como los principales contribuyentes a las necesidades energéticas. No se muestra la energía nuclear porque en este momento su contribución es mínima. Incluso dentro de un siglo, la energía nuclear solo habrá logrado equipararse al carbón como productora de energía (y el gas hecho con carbón seguirá dando cantidades adicionales de energía fósil).

El gas natural estará en declinación y el petróleo contribuirá al total con el mismo porcentaje que ahora. Sin embargo, hay una amplia superficie no sombreada que totaliza más o menos el 20% de las necesidades que deben satisfacerse con una nueva fuente de energía, a menos que reduzcamos nuestra demanda en tal sentido. Al pasar el tiempo, este 20% ascenderá al 30% en el siglo XXII.

La parte del total de energía representado por fuentes tales como los combustibles de madera, el viento y la energía geotérmica se muestra con aumento cada vez mayor en el gráfico de Gaucher, lo cual indica que se escaseará cada vez más el combustible convencional. Pero no es posible esperar que estas fuentes naturales llene la brecha de energía que ya se perfila en el horizonte.

La idea de volver a la madera para producir energía sugerida en estos años, se está investigando a fondo. Parece una proposición atrayente pues el hombre viviría de un subproducto de la energía solar, pero los hechos y las cifras dicen que si toda nuestra tierra cultivable se empleara para obtener

madera o siquiera para un cultivo avanzado y eficiente de las algas, el combustible producido, sólo cubriría el 10% de las necesidades mundiales. Además nos quedaríamos sin lugares donde vivir, y por si fuese poco nos moriríamos de hambre.

La energía del viento es por supuesto resultado de la energía solar. En la Organización Meteorológica Mundial se ha calculado que hay un potencial de energía eólica, en lugares favorables del mundo, de unos 20 millones de megavatios. Esto es unas sesenta veces más que la actual capacidad generadora de las centrales de energía eléctrica existentes en los Estados Unidos.

Con todo lo atrayente que es este tipo de energía, él mismo entraña problemas técnicos que al parecer impiden la implantación de ésta solución de nuestras necesidades energéticas. Por ejemplo, las mayores turbinas eólicas factibles de construir solo tienen al parecer unos pocos megavatios de capacidad y se considera que se precisarían 3 millones de ellas para satisfacer las necesidades de los Estados Unidos.

En los últimos años Rusia planeaba según se informó, construir unos 600 000 molinos de viento de producción unitaria de dos megavatios para usarlos en las praderas en donde soplan vientos moderados pero constantes. Sin embargo, no hay indicación alguna que los planes decenales se haya cumplido. Al contrario de otros métodos de la energía solar, el poder energético del viento se viene explotando desde hace muchos siglos; las pruebas parecen demostrar que le falta algo.

Por el momento solo se aprovecha un 8.5% del potencial de la energía hidráulica. El potencial máximo se estima en unos

3 mil millones de kilovatios, tanto como lo que ahora usa toda la industria del mundo. Casi toda esta energía no desarrollada se encuentra en Africa, América del Sur y el sudeste de Asia, y en todas esas regiones existen problemas económicos para el desarrollo de este tipo de energía.

La energía geotérmica que ahora se usa en muchos lugares, contando con una central de 370 megavatios en Lardarello, Italia tiene un potencial pequeño. Al contrario de la energía mareal, es limitada y se calcula que si toda ella se explotara en un plazo de cincuenta años produciría unos 60 millones de kilovatios de energía, más o menos lo mismo que la energía mareal. Claro que al cumplirse ese plazo ya no quedaría más energía geotérmica en la tierra.

La energía de las mareas tiene un potencial estimado en 64 millones de kilovatios, lo cual representa solo el 2% aproximadamente del potencial hidroeléctrico.

Solamente la energía solar, en forma más directa que la energía eólica y los combustibles de madera, parece ofrecer la fuente capaz de satisfacer las necesidades futuras de energía que ya aflige a las naciones desarrolladas. Gaucher está convencido de que la energía solar debe usarse dentro de 30 o 50 años, no simplemente como fuente de energía, sino también para producir los combustibles y productos químicos necesarios para nuestra sociedad tecnológica, y que ahora se están quemando para producir energía.

### I.b) Sistema de unidades

Antes de profundizar en el tema del trabajo que se pretende desarrollar será útil revisar algunos de los principales principios físicos.

La energía, es el potencial para llevar a cabo una acción y se mide en idénticas unidades que la acción. En el sistema internacional esta unidad se deriva de tres unidades básicas aceptadas y acordadas: longitud, masa y tiempo. La lógica de ésta derivación es útil también para mostrar la interrelación existente entre cantidades físicas mismas.

#### Definiciones:

Longitud	M (metro)
Masa	Kg. (kilogramo)
Tiempo	S (segundo)
Velocidad	La longitud de movimiento en una unidad de tiempo m/s
Aceleración	Cambio de velocidad en una unidad de tiempo m/s <sup>2</sup>
Momento	Estado de un cuerpo, producto de su masa y velocidad Kg m/s
Fuerza	Medida por su efecto: cambio de momento por unidad de tiempo o aceleración dada la unidad de masa. Kg m/s <sup>2</sup>

Esta unidad es conocida como Newton N

Trabajo, energía	Medida como producto de una fuerza por la distancia que recorre su punto de aplicación: Mxm: Kg m <sup>2</sup> / s <sup>2</sup>
------------------	---

Esta unidad es conocida como el Joules o Julio.

Potencia

Medida como el régimen al cual se realiza un trabajo o el régimen de flujo de energía  $\text{Kg m}^2/\text{s}^2$

Esta unidad es conocida como Watt (J/s)

Quando un régimen de flujo de energía de 1 W se mantiene durante una hora ( 3 600 seg.), la cantidad de energía gastada es de 1 WH (watio-hora). En consecuencia un Wh es una unidad de energía de la misma dimensión física que J:

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$$

A pesar de que la unidad oficial del sistema internacional para energía o trabajo es el Julio, adoptaremos el Watio-hora (WH) como unidad mucho más práctica. Su múltiplo, el Kw se usa generalmente como unidad en la electricidad.

Por ejemplo:

Un calentador eléctrico de 1 Kw, utilizado durante una hora consume 1 Kwh de electricidad y emite 1 Kwh de calor.

Una lámpara eléctrica incandescente de 100 W, utilizada durante 10 horas consume 1 Kwh de electricidad y emite aproximadamente 950 W de calor y 50 W de luz.

En vista que diversas fuentes utilizan una multitud de unidades de energía y potencia es necesario contar con una tabla de conversiones, como la siguiente.

Energía o potencia

1 J	0.000278	Wh
1 Kj	0.278	Wh
1 erg	0.278x10	Wh
1 ft lbf	0.000377	Wh
1 cal	0.001163	Wh
1 Btu	0.293	Wh
1 Kcal	1.163	Wh
1 hp h	0.746	KWh
1 termia	29.33	KWh

Potencia o régimen de flujo de energía

1 erg/seg	0.000 000 1	W
1 Btu/h	0.293	W
1 k cal/h	1.163	W
1 ft lbf/s	1.355 82	W
1 cal/s	4.1868	W
1 hp (métrico)	735	W
1 hp	746	W
1 termia/h	29 307	W

I.c) Formas de energía

La energía potencial (o energía posicional) de un cuerpo en una posición a partir de la cual puede caer libremente, es la misma que la acción necesaria para levantarlo a la misma posición contra la fuerza gravitacional. Es el producto de la fuerza gravitacional que actúa sobre su cuerpo (su peso) y la altura disponible:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{masa} & \times & \text{aceleración gravitacional} & \times & \text{altura} & = & \text{energía} \\ \text{Kg} & & \text{m/s}^2 & & \text{H} & & \text{J} \end{array}$$

En un sistema mecánico, la suma de energía cinética y energía potencial es constante.

Por ejemplo:

Cuando una bala sale de un fúsil (apuntando vérticalmente) tiene un máximo de energía cinética y cero energía potencial. Cuando alcanza el máximo de su recorrido balístico, su energía cinética se reduce, pero ha adquirido una energía potencial, que en la caída libre se convertirá nuevamente en energía cinética.

La energía del sonido es un caso especial de energía mecánica transmitida como vibración de partículas en una sustancia convirtiéndose cada partícula de energía cinética en energía potencial y viceversa. La magnitud de la energía presente en el sonido es pequeña.

Ejemplo:

Una conversación significa la emisión de aproximadamente  $10^{-5}$  W mientras que una remachadora hidráulica 1 W es decir 1 J/s. Un sonido de 120 decibeles correspondería al flujo de 1 J de energía a través de una área de  $1 \text{ m}^2$  en un segundo, es decir 1  $\text{W/m}^2$ .

El calor es una forma de energía contenida en cuerpos como movimiento molecular que hace que el cuerpo tenga una cierta temperatura. Con el incremento de éste movimiento molecular, el sólido se licuará y si se aumenta todavía más, puede llegar a evaporarse.

El calor específico de un material es la cantidad de energía térmica necesaria para aumentar la temperatura de la unidad de masa en un grado centígrado y se mide en Wh/Kg°C ó J/Kg °C.

La energía química de los compuestos es idéntica a la energía necesaria para producir estos compuestos a partir de sus componentes básicos. Los procesos que requieren energía (calor) para acumular estos componentes se llaman procesos endotérmicos.

Los procesos exotérmicos son aquellos que liberan energía (calor). Los materiales combustibles son compuestos con elevado contenido de energía que puede liberarse fácilmente por combustión. La combustión u oxidación son procesos exotérmicos.

La energía química que puede liberarse como calor, se mide

como valor calorífico en Wh/Kg o Wh/m<sup>3</sup> (J/Kg o J/m<sup>3</sup>)

La energía eléctrica. Si una potencia de 1 W opera durante 1 segundo, se realiza una unidad de acción (1J) o se ha gastado una unidad de energía.

$$J = W \times S$$

La energía eléctrica se produce muy frecuentemente por aplicación de energía mecánica (en generadores o dinamos) o por la liberación de energía química, como es el caso de las baterías, pudiéndose convertir en cualquier forma de energía.

En los sistemas activos solares también se puede lograr todos estos tipos de energía, mientras que en los sistemas pasivos solamente la energía calorífica como se podrá apreciar en el desarrollo del tema.

La energía radiante es un término aplicado a todas las formas de radiación electromagnéticas, desde ondas eléctricas o de radio de baja frecuencia (onda larga) pasando por calor, luz, rayos X, hasta diversas radiaciones gamma y radiaciones cósmicas de muy alta frecuencia, ondas cortas. Para ilustrar mejor esto, se expone a continuación la gráfica del espectro de radiación en relación con el espectro electromagnético total.

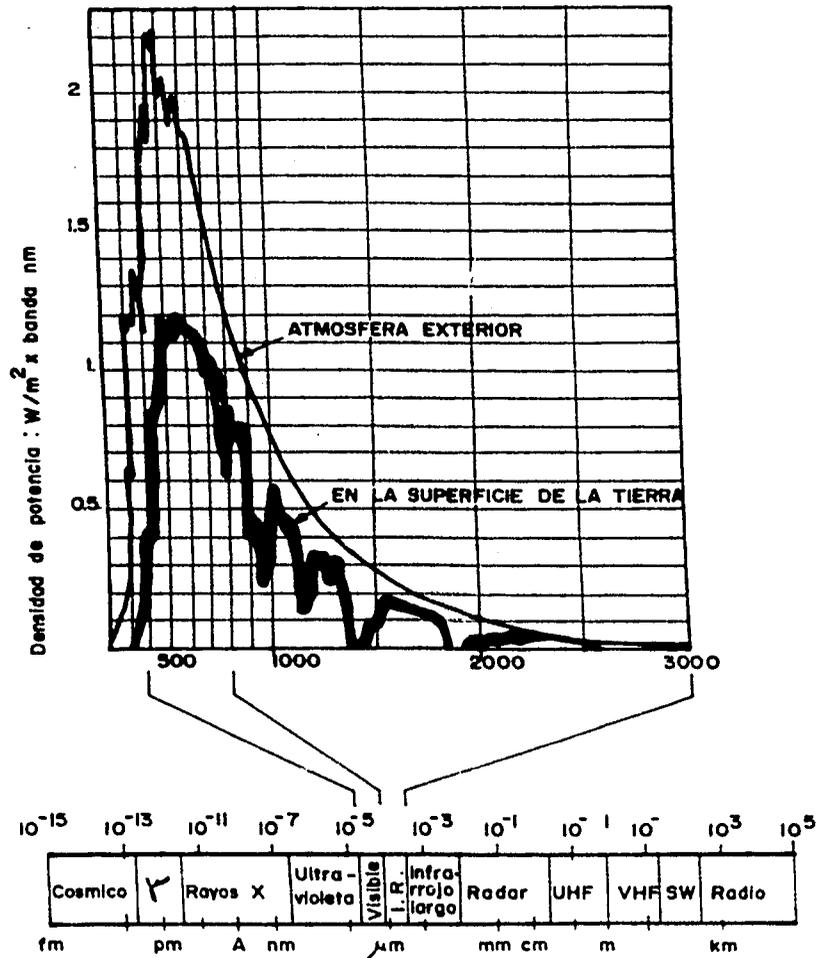


FIG. 1-4.- Espectro de radiación solar en relación con el espectro electromagnético total.

I.d) Principios de termodinámica.

En términos simples, la primera ley de la termodinámica es la conservación de la energía. La energía no puede crearse ni destruirse, únicamente se transforma (excepto en los procesos nucleares, donde pequeñas partes de la materia usada pueden ser convertidas en energía).

La segunda ley de la termodinámica [formulada por Clausius 1850] establece que la transferencia de calor (energía) puede producirse espontáneamente solo en una dirección; de un cuerpo más caliente a uno más frío. Kelvin amplió la ley para manifestar que es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo y desarrolle acción (convirtiendo el calor en acción mecánica) con un depósito único. De donde vemos que son necesaria tanto una fuente como un receptor. En otras palabras el calor debe fluir de una fuente a un receptor y únicamente una parte de éste flujo puede convertirse en acción (aplicable en bombas de calor).

CAPITULO II

RADIACION SOLAR

II.a) Flujo de energía mundial.

La tierra recibe energía radiante del sol a un régimen de  $173 \times 10^{15}$  W, calculada de la siguiente manera:

Area proyectada de la tierra  $(6.3 \times 10^6)^2 \times 3.14$

∴ área proyectada de la tierra  $124 \times 10^{12} \text{ m}^2$

Constante solar  $1395 \text{ W/m}^2$

o sea  $124 \times 10^{12} \text{ m}^2 \times 1395 \text{ W/m}^2 = 173 \times 10^{15} \text{ W}$

Mientras que el consumo energético mundial es:

.....  $61 \times 10^{15} \text{ Wh}$

Si lo dividimos entre las horas de un año, tendremos el siguiente régimen de consumo:

$$61 \times 10^{15} \text{ Wh} / (24 \times 365) = 7 \times 10^{12} \text{ W}$$

La tierra también emite una cantidad idéntica, esto es una condición del equilibrio. La emisión depende de la temperatura de la tierra.

La temperatura a la cual la emisión es igual a la admisión, es la denominada temperatura de equilibrio, es decir la temperatura de la tierra tal como lo conocemos. Si la admisión cambiase por cualquier razón también cambiaría la temperatura de equilibrio y por lo tanto nuestro sistema sufriría un fuerte cambio.

La siguiente figura muestra el flujo de energía por el sistema terrestre.

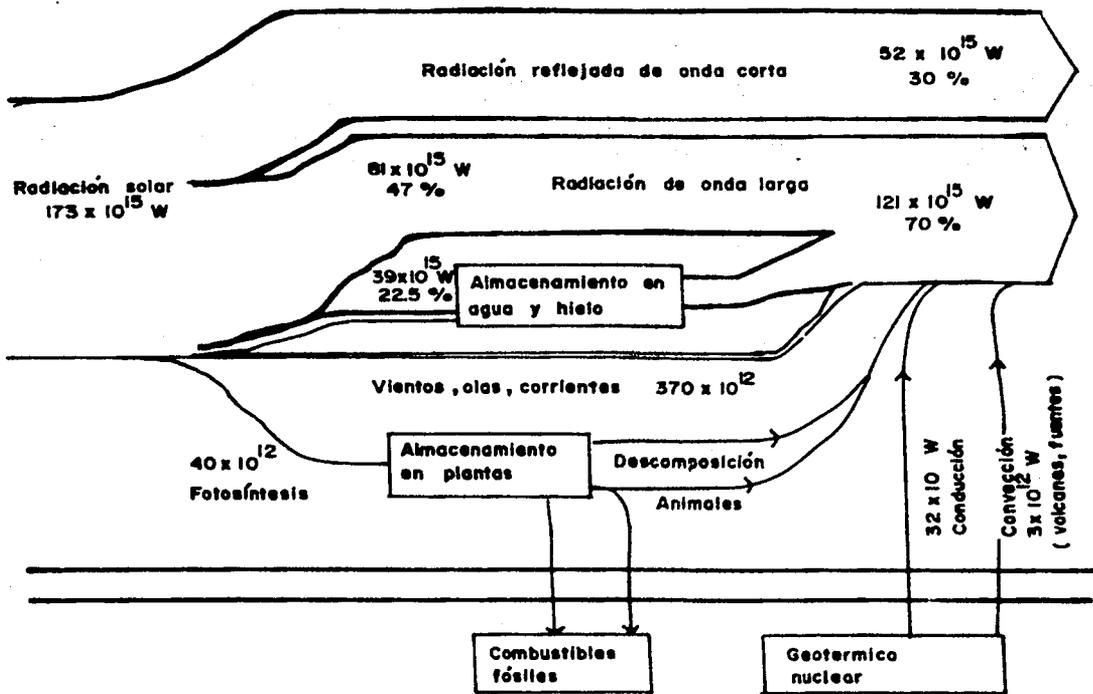


FIG. II - 1 . Flujo de energía por el sistema terrestre.

Aproximadamente el 30% de la radiación que la tierra recibe, se refleja sin cambio en la longitud de onda; mientras que el 47% es absorbido por la atmósfera y la superficie de la tierra, el cual provoca un incremento en la temperatura, irradiándose después hacia el espacio.

Únicamente el 23% restante pasa a formar parte de la fuerza motriz (energía) de vientos, corrientes, olas, etc... regula nuestro clima y da lugar al ciclo hidrológico.

Solamente el 0.02% del total ( $3.46 \times 10^{15}$ ), es utilizado por el sistema biológico por fotosíntesis en las plantas y otros organismos.

Una pequeña proporción de la energía almacenada químicamente en plantas y tejidos de los cuerpos animales se ha acumulado a lo largo de millones de años (600) bajo condiciones geológicas favorables en forma de carbones y aceites minerales, convirtiéndose en nuestras reservas de combustibles fósiles.

El ritmo de formación de combustibles fósiles (si es que existe) es mínimo en comparación con el ritmo de consumo.

## II.b) Distribución de la radiación solar.

La intensidad de la radiación solar que llega a nuestra atmósfera (en la parte externa), tiene un valor medio de  $1395 \text{ W/m}^2$ , siendo esta considerada como la constante solar.

La absorción por parte de la atmósfera reduce la intensidad en una medida que depende parcialmente de la longitud de recorrido a través de la atmósfera y parcialmente del estado de la masa de aire (nubosidad, partículas suspendidas).

Durante el día, cuando el sol se encuentra en el cenit, la radiación tendrá su recorrido más corto, y por tanto su intensidad será mayor que cualquier otra que pueda alcanzar en cualquier hora del día, pudiendo en éste momento alcanzar una intensidad media sobre un plano horizontal de  $1 \text{ KW/m}^2$  (a nivel de mar). En el ocaso tendrá un recorrido más largo para poder alcanzar la superficie de la tierra, por lo que su intensidad será bastante pequeña.

Mientras más largo sea el recorrido de la radiación solar a través de la atmósfera, menor es la intensidad o cantidad de energía que llega a la superficie de la tierra.

Ahora, si nos encontramos a mayor altura sobre el nivel del mar, el recorrido de la radiación a través de la atmósfera será menor, por lo que la energía recibida será mayor en los lugares más altos.

Debido a la inclinación de la tierra y a sus movimientos de rotación y traslación el ancho de la atmósfera tendrá que recorrer la radiación solar para alcanzar la superficie de la

tierra variará en todo el año. Por esto decimos que la inclinación de la tierra (o de su eje de rotación  $23^{\circ}47'$ ) es el responsable de las variaciones del clima, produciéndose así las estaciones. Desarrollándose éstas durante el movimiento de traslación alrededor del sol.

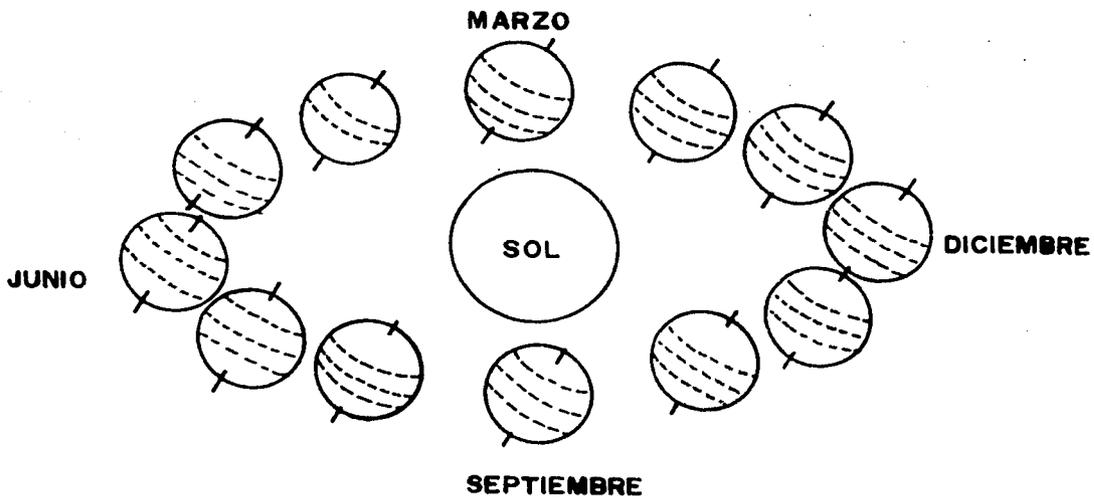


FIG. II - 2

En verano el hemisferio norte recibe más horas de insolación, ya que el recorrido a través de la atmósfera es más corto, pues se acerca bastante a la perpendicular. Mientras que en el invierno la situación es al revés, entonces el hemisferio norte tendrá menos horas de insolación y el recorrido a través de la atmósfera, de la radiación solar, es más largo, por lo que contaremos con menos energía recibida.

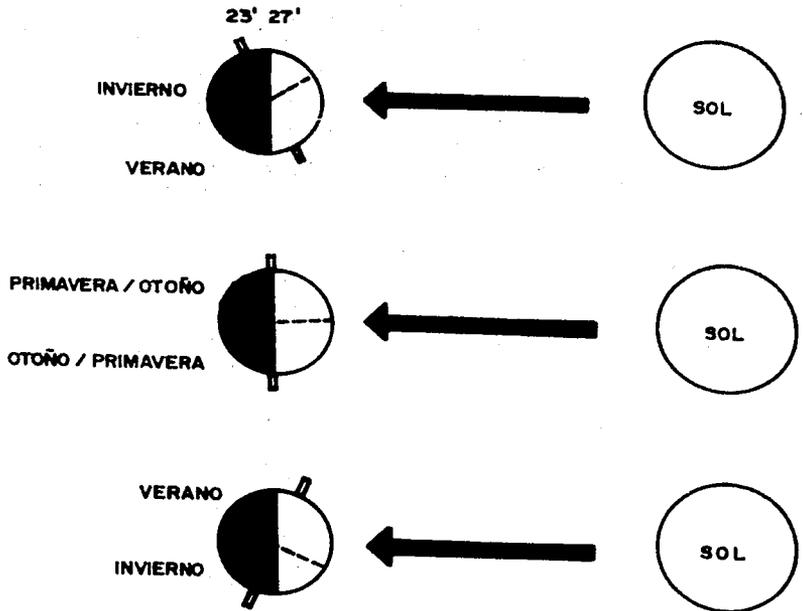


FIG. III - 3

En la siguiente figura se muestra la intensidad de la radiación solar sobre un plano horizontal como función del ángulo de altitud solar, a nivel del mar y a diversas alturas.

La cantidad anual total de irradiación recibida en un lugar dado depende de su altitud geográfica y de los factores climáticos locales.

Para tener una mejor comprensión se ilustra el tema con la siguiente figura, donde se muestra el mapa de irradiación solar en el mundo. Además se anexa la gráfica de radiación solar media diaria en diferentes ciudades del mundo.

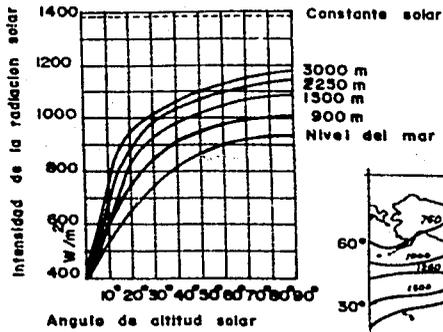


FIG. II - 4



FIG. II - 5

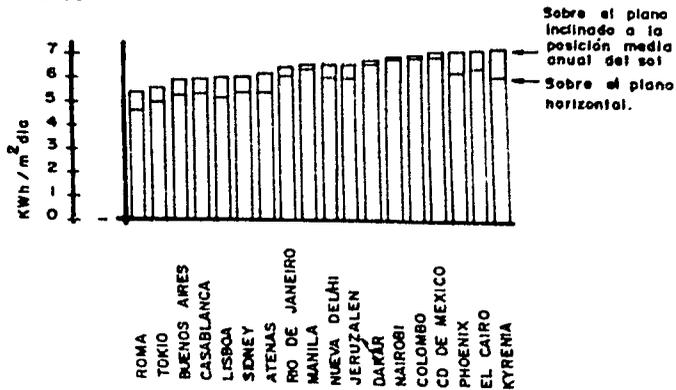


FIG. II - 6

## II.c) Medición y cálculo de la radiación solar.

Los registros metereológicos pueden dar totales horarios o intensidades medias horarias ( $W/m^2$  o  $Wh/m^2$ ) medidas en un plano horizontal. Algunas estaciones registran la radiación solar total y el componente difuso por separado, éstas son las menos y muy separadas.

Muchas veces lo podremos contar con totales diarios o posiblemente un total diario medio para cada mes. El total anual muchas veces se utiliza para caracterizar un clima en particular.

Sino disponemos de los datos de radiación, pero sabemos las horas de sol con que contamos en cierto lugar, se puede estimar la radiación diaria total por medio de la expresión de Glover y McCulloch.

$$Q = Q_{sc} (0.29 \times \cos \phi \times 0.52 \times n/N)$$

En la que:

Q radiación diaria sobre un plano horizontal medida en  $Wh/m^2$  día.

$Q_{sc}$  constante solar por día.

$\phi$  latitud geográfica

N horas posibles de sol por día

n horas reales de sol por día

Ometto sugiere el uso de las constantes 0.26 y 0.51 respectivamente en la expresión de Glover y McCulloch.

CAPITULO III

DISPONIBILIDAD DE LA ENERGIA SOLAR EN MEXICO

### III.a) Porcentajes de radiación solar recibida.

Dado que la disponibilidad de la energía solar en un lugar determinado de la tierra depende fundamentalmente de su latitud geográfica y de sus características climatológicas, principalmente la nubosidad. La energía solar disponible en la República Mexicana es cuantiosa por encontrarse dentro de la zona mundial de máximo aoleamiento anual.

En la siguiente figura puede apreciarse su ubicación latitudinal, observándose claramente como el Trópico de Cáncer divide al país en dos regiones de elevada insolación, donde se presentan climas cálidos extremosos, ya sea secos (zonas áridas) o húmedos (selvas tropicales).

Líneas que muestran los porcentajes de la radiación solar que alcanza a llegar al suelo respecto a las diferentes latitudes geográficas.

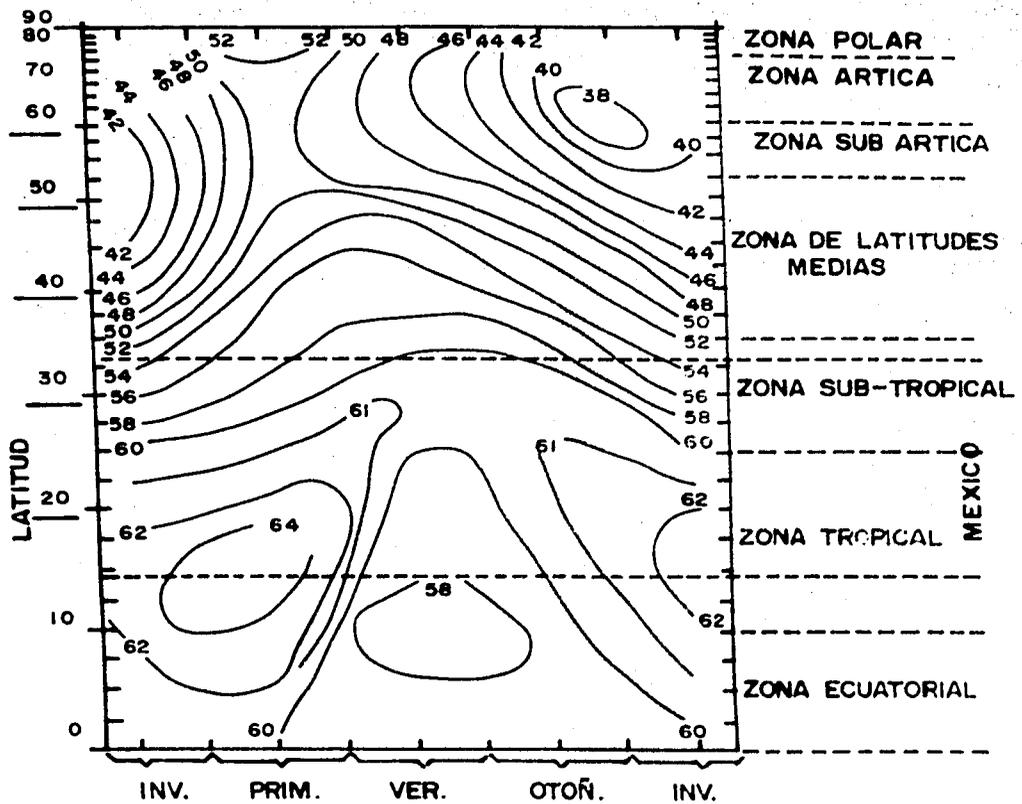


FIG. III-1 LINEAS QUE MUESTRAN LOS PORCENTAJES DE LA RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE QUE ALCANZA A LLEGAR AL SUELO RESPECTO A LAS DIFERENTES LATITUDES GEOGRAFICAS.

### III.b) Zonas climáticas.

La figura III.2 muestra los tipos de clima imperantes en nuestro país, según la modificación al sistema Kopen; adaptado a nuestro país por E. García. Dentro del contexto mundial, México está clasificado como un país privilegiado, en cuanto a intensidad, duración y calidad de la insolación.

En particular el Noroeste de México junto con otras regiones del planeta, como el Norte y Sur de Africa, la Península Arábiga, la zona central de Australia y la parte Norte de Chile; son regiones que gozan de espléndidas características de insolación (anual).

La radiación recibida sobre una superficie horizontal, ya sea en forma directa o difusa, forman en conjunto la radiación global (figura III.3). La intensidad de ésta, depende de las atenuaciones que sufra en su trayecto atmosférico debido a los fenómenos de absorción, reflexión y dispersión por los gases atmosféricos y partículas suspendidas. En sí las nubes son las causantes principales de la disminución de la energía solar que alcanza a llegar en ocasiones a la superficie de la tierra.

#### Climas húmedos

Los climas húmedos de la República Mexicana pertenecientes a los grupos cálidos y templados.

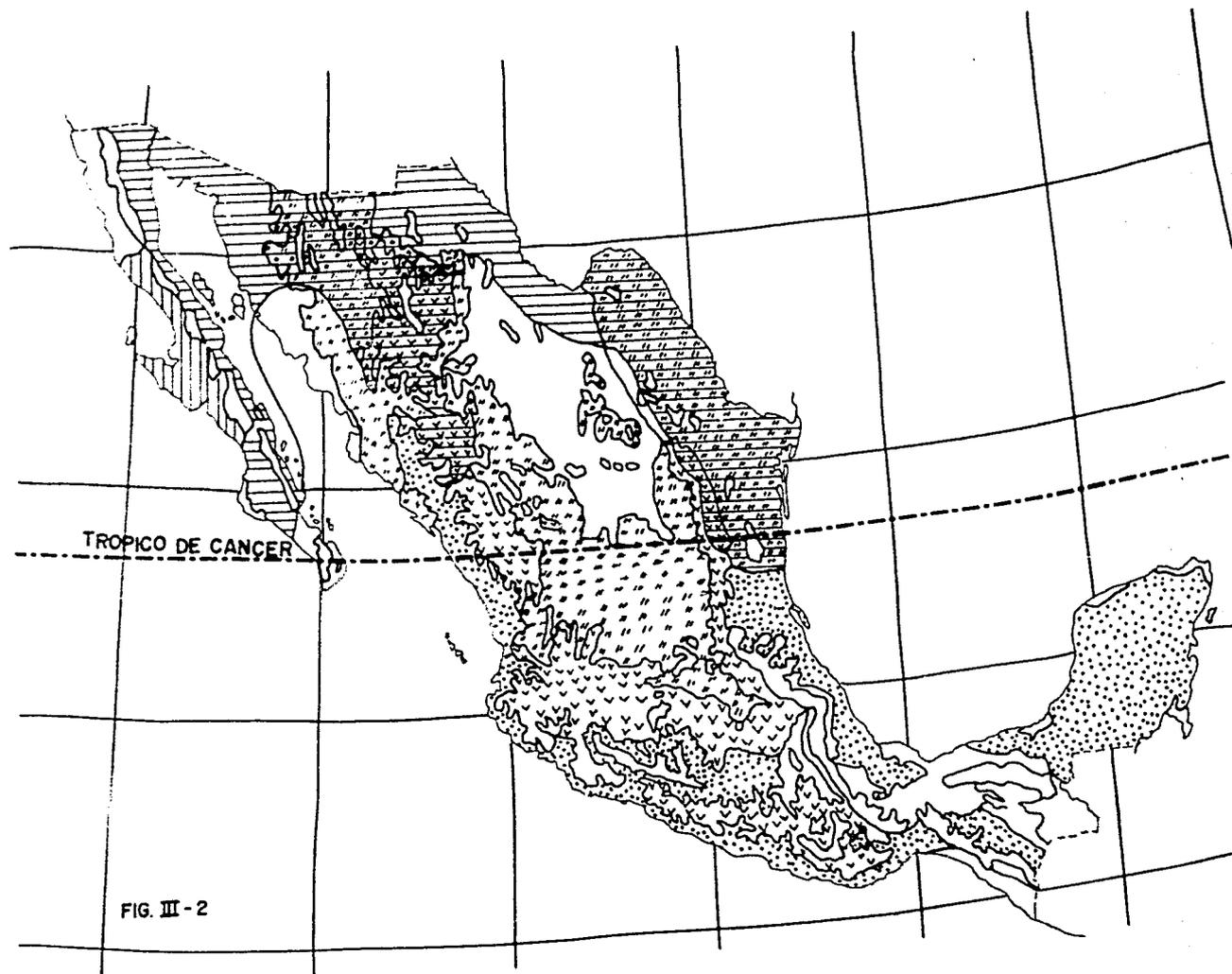


FIG. III - 2

- Cálidos húmedos se dividen en tres tipos:

- A1 Cálido húmedo con lluvias todo el día
- Am Cálido húmedo con lluvias en verano
- Aw Cálido subhúmedo con lluvias en verano

- Templados húmedos

- C1 Templado húmedo con lluvias todo el año
- Cw Templado húmedo con lluvias en verano
- Cx Templado subhúmedo con lluvias en todas las estaciones.
- Cs Templado húmedo con lluvias en invierno.

Climas Secos o áridos

En ellos la evaporación excede a la precipitación y se dividen en dos tipos principales esteparios o semisecos, desérticos o muy áridos.

- BSw Semiseco o estepario con lluvias en verano
- BSx' Semiseco o estepario con lluvias poco abundantes en todas las estaciones
- BSs Semiseco o estepario con lluvias en invierno
- BWw Desértico o muy árido con lluvias en verano
- BWz' Desértico o muy árido con lluvias poco abundantes que pueden presentarse en cualquier época del año.
- BWs Desértico con lluvias en invierno.

HUMEDOS			SECOS					
			ESTEPARIOS			DESERTICOS		
EPOCA LLUVIOSA								
TODO EL AÑO	VERANO	INVIERNO	TODO EL AÑO	VERANO	INVIERNO	TODO EL AÑO	VERANO	INVIERNO
 AI  CI  Cx'	 Am  Aw  Cw	 Cs	 BSx'  BSw  BSs			 BWx'  BWw  BWs		

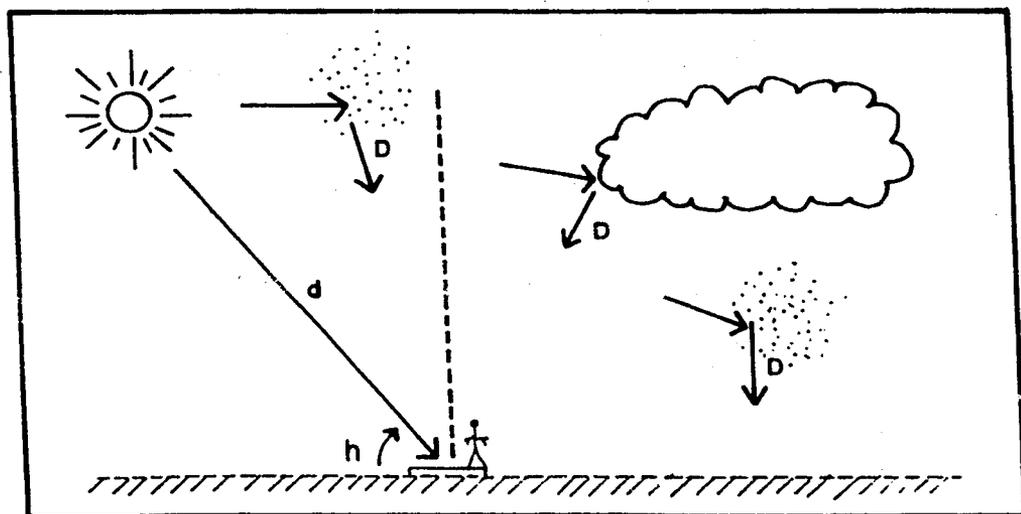


FIG. III-3. RADIACION SOLAR GLOBAL  
(DIRECTA + DIFUSA)

RADIACION DIRECTA (d) : PROVENIENTE DIRECTAMENTE DEL DISCO SOLAR.

RADIACION DIFUSA (D) : PROVENIENTE DE LA ATMOSFERA Y LAS NUBES (DISPERSADA Y REFLEJADA).

El efecto neto de estos fenómenos repercute en un aumento de la componente difusa. La energía instantánea que puede esperarse del sol en una superficie horizontal de  $1 \text{ m}^2$  en nuestras latitudes, fácilmente puede superar el valor de  $1000 \text{ Watts/m}^2$  (Ver figura III.4). Comparativamente, ésta es la potencia requerida para mantener encendidos 20 focos de 50 watts cada uno.

En promedio anual el equivalente energético recibido cotidianamente en México es del orden de  $5.5 \text{ Kwh/m}^2$ . Esta cantidad representa una energía considerable al comparársele con lo que podría ser el consumo mensual de energía eléctrica estimada en  $100 \text{ Kw/h}$  en una vivienda de tamaño medio (sin requerimientos de climatización), donde habitaran en promedio 5 personas, disponiendo de la iluminación y enseres eléctricos más comunes.

Variación del flujo de radiación solar a incidencia normal a 1 500 metros de altitud, bajo buenas condiciones atmosféricas (azul intenso puro) y en función de la masa atmosférica y altura solar.

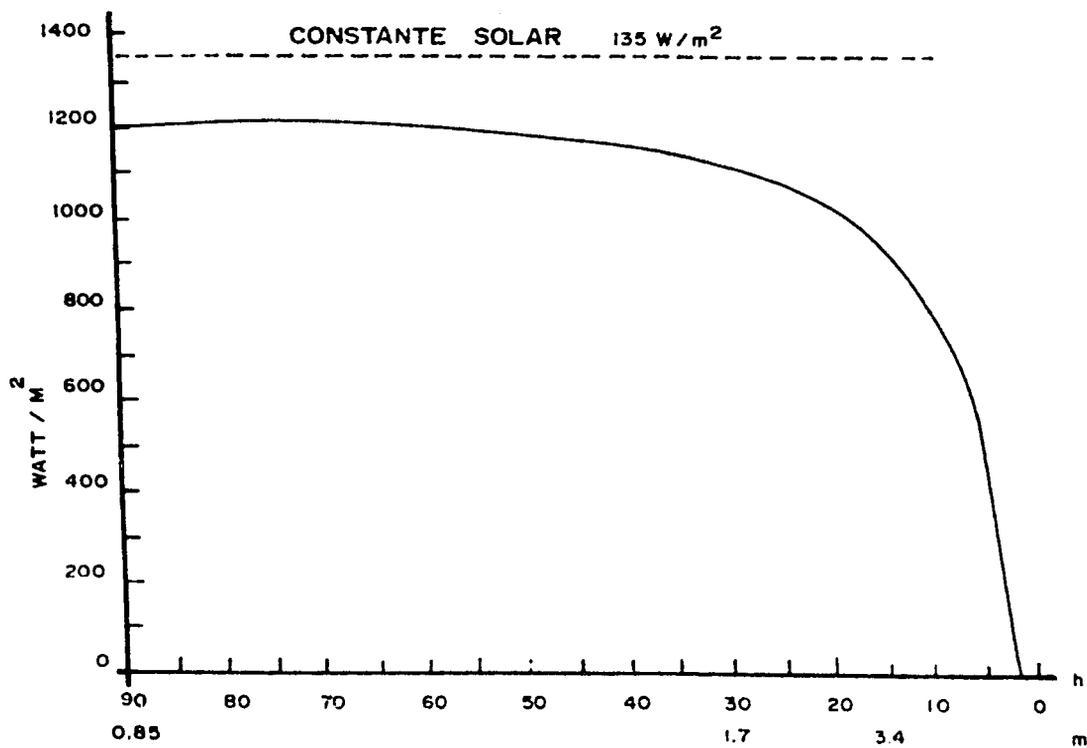


FIG. III - 4

### III.c) Radiación global media diaria.

En el mapa de la figura III.5 se muestra la distribución anual de radiación solar global (promedio diario).

Es fácil observar que el Noroeste del país, principalmente la Península de Baja California y los Estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, etc. Así como la parte norte de la Península de Yucatán, gozan de magníficas condiciones de insolación.

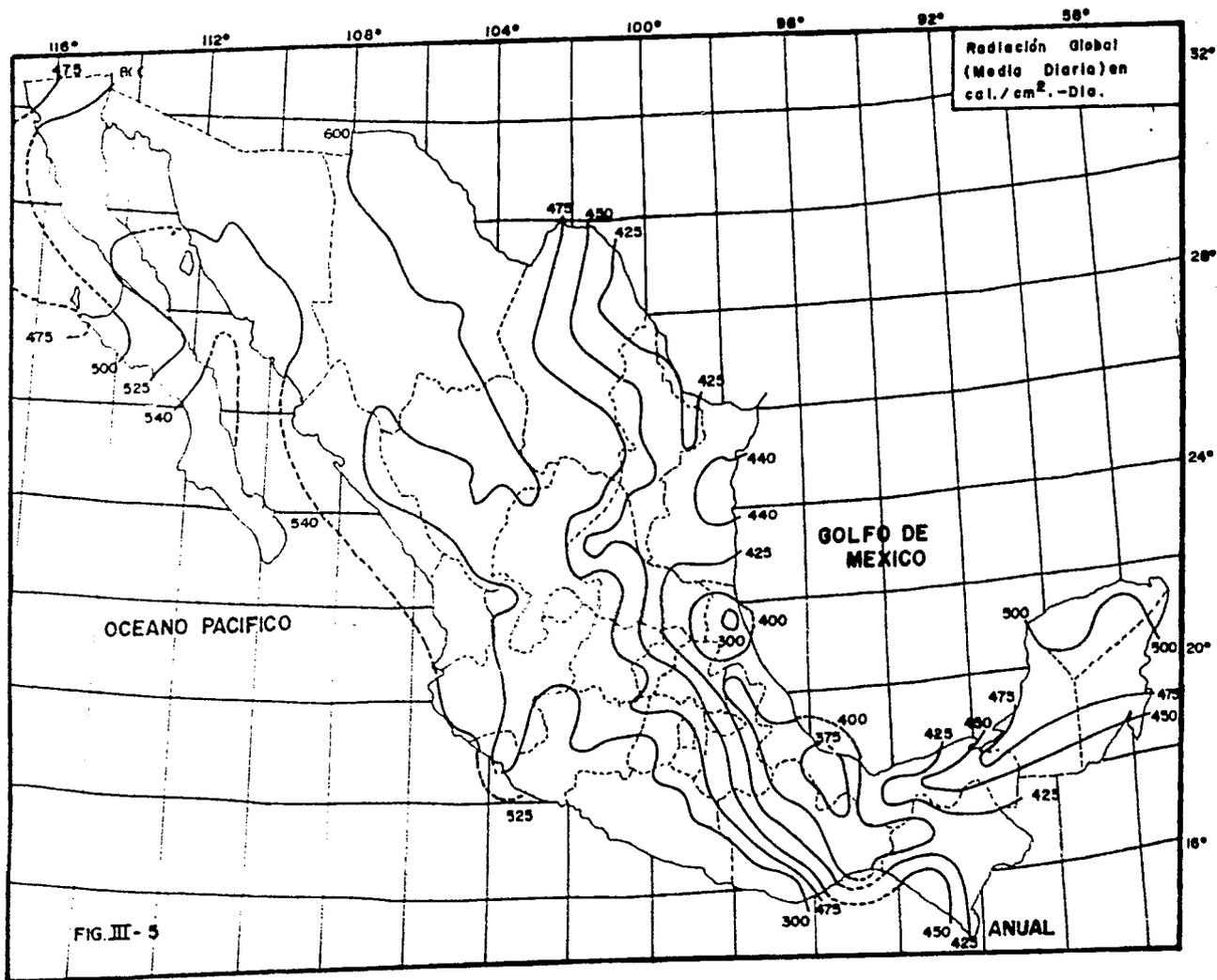
La misma descripción puede utilizarse o aplicarse al mapa de la figura III.6 donde se muestra el promedio anual del número de horas mensuales de insolación.

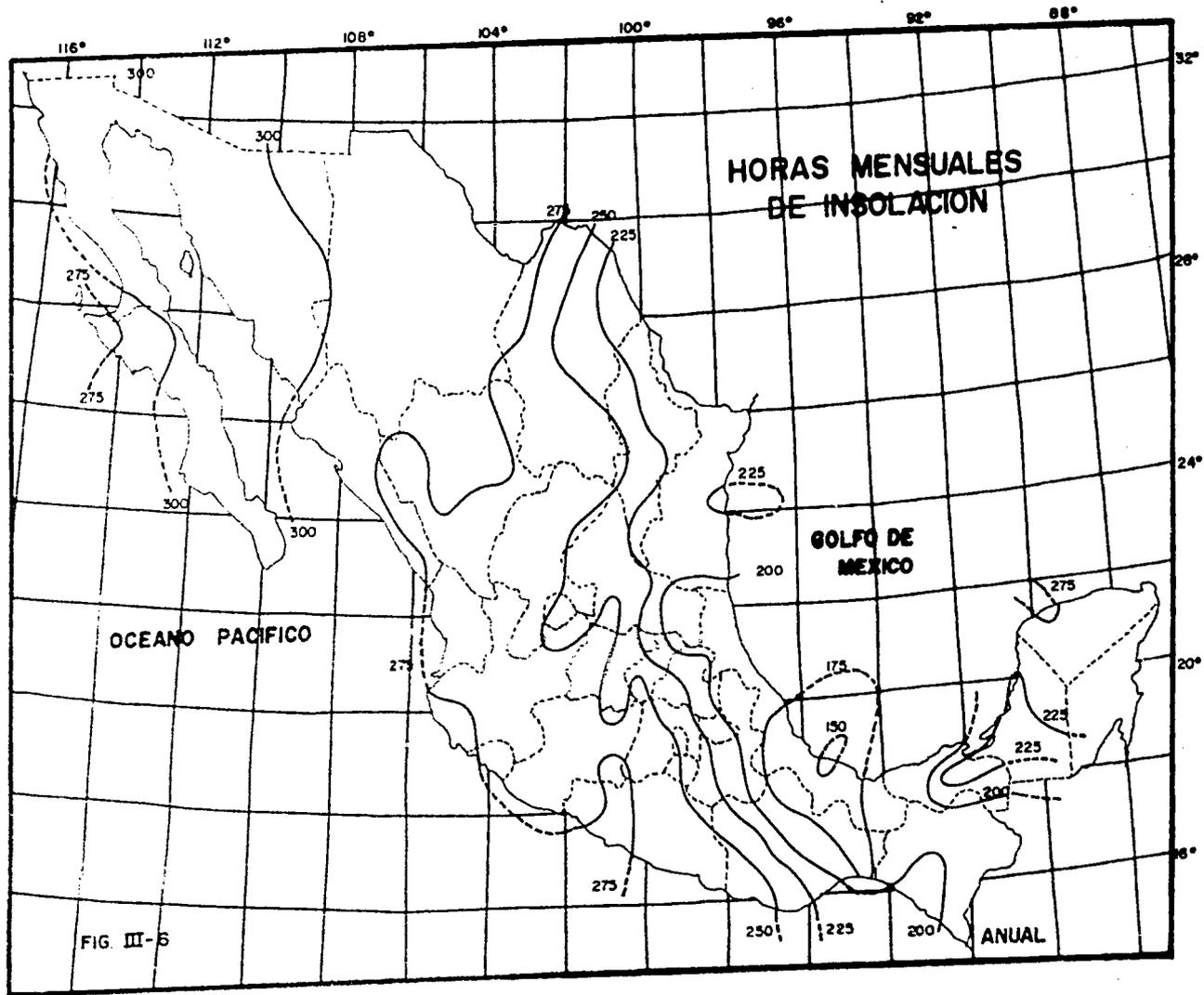
Aunque de ambos mapas pueden apreciarse zonas de baja insolación, como los Estados comprendidos en la vertiente del Golfo de México, los valores de insolación resultan ser relativamente elevados, al comparárseles con los valores que se registran en promedio anual en otros países de América, Europa y Asia situados más al norte de nuestro hemisferio.

Puede decirse que en las regiones más asoleadas de México, el aprovechamiento de la energía solar puede llevarse a cabo tanto mediante dispositivos de captación de radiación directa como difusa, o sea, mediante captadores concentradores o planos. Por el contrario en las regiones menos soleadas o nubladas donde la radiación solar es predominantemente difusa, queda restringido el uso de dispositivos de concentradores, siendo los colectores planos los más eficientes. Ahora que los sistemas pasivos para el aprovechamiento de la energía solar son aplicables en cualquier clima extremo del

país, por lo que su uso será mayor.

En el Noroeste de México, la energía que se recibe diariamente durante el verano, es en promedio cercano a los  $8 \text{ Kwh/m}^2$ , mientras que en los Estados de la vertiente del Golfo de México, en los meses menos soleados de invierno, el valor mínimo es de aproximadamente de  $3.5 \text{ Kwh/m}^2$ . Estas dos últimas cantidades representan un 30% y un -35% respecto al valor promedio diario o anual considerado sobre todo el territorio nacional ( $5.5 \text{ Kwh/m}^2$ ). Así en promedio, el techo de una casa con una superficie de 100 metros cuadrados recibe durante 8 horas en un día soleado, cerca de  $550 \text{ Kwh} \times 8 \text{ horas} = 4400 \text{ Kw}$ . Esta cantidad representa el equivalente calorífico que correspondería a la combustión de 65 Kg de carbón o 55 litros de gasolina aproximadamente.





CAPITULO IV

INTENSIDAD SOLAR EN UNA SUPERFICIE

El ángulo que forman los rayos del sol, al ser interceptados por una superficie, es el que va a determinar la cantidad de energía que la superficie recibirá. Ya que la radiación solar viene a la tierra esencialmente en rayos paralelos. Una superficie perpendicular a los rayos solares, interceptará la mayor cantidad de energía; según transcurra el tiempo, los rayos solares irán perdiendo su perpendicularidad con la superficie, de esta manera la energía interceptada disminuirá conforme se alejen de la perpendicularidad.

Quizás la mejor manera de imaginarse esto es pensar en los rayos paralelos del sol, como un racimo de lápices sostenidos en la mano, de manera que sus puntas toquen una superficie de la mesa. Los puntos hechos por la punta, representarán para nosotros unidades de energía, cuando los lápices son sostenidos perpendicularmente a la superficie de la mesa, los puntos estarán tan compactamente arreglados como sea posible, la densidad de energía por centímetro cuadrado se encontrará al máximo.

Mientras que cuando los lápices se encuentran inclinados, los puntos cubrirán una mayor área, entonces la densidad de energía por centímetro cuadrado será menor, por lo que mientras más se inclinen los lápices, menor será la densidad de energía por  $\text{cm}^2$ . (figura VI.1)

Sin embargo un  $\text{cm}^2$  puede estar hasta  $25^\circ$  desviada de la perpendicularidad de los rayos del sol, pudiendo llegar a interceptar más del 90% de la radiación directa. El ángulo que los rayos del sol forman con una línea perpendicular a una superficie (también llamado el ángulo de incidencia) determinará el porcentaje directo de luz de sol interceptada por esa superficie.

PORCENTAJE DE RADIACION INTERCEPTADA POR UNA SUPERFICIE PARA DIFERENTES ANGULOS DE INCIDENCIA. Figura IV.2

Ang.de Incidencia	Radiación Interceptada
0	100.00
5	99.60
10	98.50
15	96.50
20	94.00
25	90.60
30	86.60
35	81.90
40	76.60
50	64.30
60	50.00

La cantidad total de radiación de energía radial interceptada por una superficie, es mayor que la reflejada directamente. La cantidad de radiación difusa o la energía desparramada sobre la atmósfera y redirigida a la superficie de la tierra puede ser el 50% del total cuando el sol está en su altitud menor y 100% en un día completamente soleado. Sin embargo, en días claros la radiación difusa comprende solo una pequeña porción del total.

La intensidad de la radiación que llega a una superficie sobre un material reflejante depende de la calidad del acabado del material en su superficie y del ángulo de incidencia entre los rayos y la misma superficie.

#### IV.a) Reflexión, transmisión y absorción.

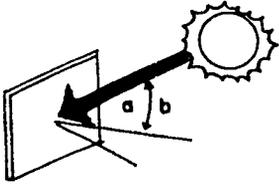
Cuando la radiación solar es interceptada por una superficie de un material, pueden suceder tres cosas: la radiación puede ser reflejada, transmitida y/o absorvida.

Dependiendo de la textura de la superficie del material, la radiación reflejada puede ser difundida o reflejada de una manera predecible, las superficies irregulares desparramarán la radiación, mientras que las superficies como la de un espejo o aluminio altamente pulido reflejarán la luz en rayo paralelos en forma predecible. Por ejemplo:

Una pared de mampostería no reflejará la radiación en una forma predecible, difundirá la radiación en varias direcciones, por el contrario una superficie lisa y altamente pulida producirá una reflexión predecible.

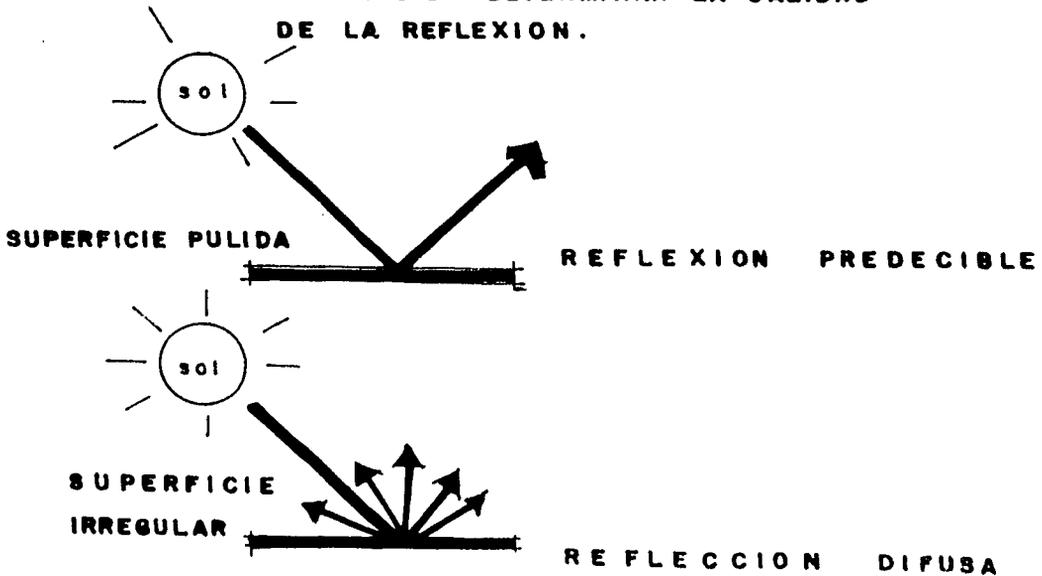
El ángulo en el cual los rayos dan a una superficie reflectiva será equivalente al ángulo con que salgan los rayos reflectantes o puesto de otra manera, el ángulo de incidencia será igual al ángulo de reflexión.

fig. IV - 2



ang. a      ang. de incidencia  
ang. b      ang. altitudinal

figura IV - 3.- LOS TERMINADOS DE LAS SUPERFICIES DETERMINAN LA CALIDAD DE LA REFLEXION.



La radiación solar que penetra a un material será transmitida o absorvida.

Un material que transmite la mayor parte de la radiación visible que llega a él, es transparente. El paso directo de la luz del sol a través de un material, puede ser ilustrado de una manera más comprensible, por medio de las ventanas de cristal. Casi toda la radiación solar pasa a través del cristal con muy poco distorsión: una ventana de vidrio grueso transmite cerca del 85% de energía solar que llega a su superficie.

Mientras más grande es el ángulo de incidencia, más grande será la reflexión. La absorción dependerá principalmente del contenido de hierro de cristal, por lo que cristales con alto contenido de hierro tendrán una transmisión baja, por consiguiente una alta absorción.

Si cuando observamos el borde de una hoja de cristal notamos una coloración verde, quiere decir que su contenido de hierro es alto.

#### IV.b) Característica del calor

Según sea calentado un material debido a la acción de la radiación solar, éste buscará su equilibrio con los objetos que le rodean, a través de tres básicos procesos: conducción, difusión y radiación.

Primero cuando una radiación solar es absorbida por un material, la energía absorbida se redistribuirá así misma dentro del material cuando es pasada o conducida entre las moléculas. La conducción es un proceso en el cual la energía del calor es transmitida entre las moléculas de una sustancia, como energía vibracional. La dirección del fluido de calor es de caliente a frío, entonces cuando sean calentadas las moléculas en la superficie de un material, pasan esta energía a moléculas adyacentes más frías, dispersando así el calor a través del material, adquiriendo este último una temperatura uniforme.

Segundo un material transmitirá energía de calor a la superficie de las moléculas de un fluido adyacente, por moléculas de difusión. La difusión es definida como la transferencia de calor entre una superficie y un fluido móvil, o por la transferencia de calor por movimiento de las moléculas de un punto de un fluido a otro.

En los procesos de difusión, el calor se mueve siempre de caliente a frío, mientras más grande sea esta diferencia, mayor será el calor transmitido.

La conducción de calor de la superficie del material al fluido es el proceso inicial de transferencia de calor, según el fluido se vaya calentando este se expande llegando a ser

menos denso, por lo cual se eleva, cuando las moléculas más frías calientes se elevan, son repuestas por moléculas más frías, provocando así un movimiento en el fluido; cuando sólo el calor es el responsable del movimiento del fluido, al proceso se le llama difusión natural. Este proceso también trabaja inversamente, cuando un fluido caliente llega a estar en contacto con una superficie fría, las moléculas más calientes transmiten algo de su calor a la superficie fría, tornándose en un fluido pesado, y posteriormente hundiéndose por ejemplo: el aire caliente de una habitación, al ponerse en contacto con el vidrio de la ventana, que tiene una baja temperatura, forman una corriente de aire frío en el piso cerca de la ventana.

Si el fluido es soplado a través de una superficie, el grado de difusión caliente transmitida aumentará. Cuando un fluido frío llega a estar en contacto con una superficie caliente, el fluido es calentado, puesto que la cantidad de calor que se desprende de las moléculas de la superficie caliente, es absorbida por las moléculas frías del fluido.

Por ejemplo: cuando soplamos a la superficie caliente de un líquido, las moléculas de aire que han sido calentadas en la superficie del líquido son quitadas y repuestas por moléculas de aire más frías, las cuales son capaces de absorber más calor. A este proceso se le llama difusión forzada.

Todos los materiales están irradiando energía termal constantemente en todas las direcciones, debido al continuo movimiento de sus moléculas en su superficie. En contraste con la radiación solar, la cual consiste en radiaciones de onda corta emitidas a temperaturas muy altas, la radiación termal re-

cibida como calor consiste de ondas largas infrarrojas emitidas a muy baja temperatura.

En general la mayor parte de los materiales son buenos conductores de la radiación termal, esto es que irradian energía termal fácilmente. La emisividad (E) de un material es un indicador de la habilidad del material de emitir radiación termal. Muchos de los materiales de construcción tienen una emisividad de 0.9, lo que significa que irradian el 90% de la energía termal teóricamente posible a una temperatura dada. Normalmente las superficies altamente pulidas, tales como los metales brillantes, son emisores pobres de la radiación termal, esto significa que irradian poco calor a una temperatura dada. En general estas superficies altamente pulidas o brillantes reflejan grandes cantidades de la radiación termal que interceptan.

Los diseñadores de aviones toman ventaja de este principio al proveer a los costados de las naves con un acabado metálico pulido, para que la energía termal o calor irradiado de la pista de asfalto sea reflejado; por lo que así se mantiene más fresco el interior de los aviones cuando se encuentran estacionados en una terminal.

Aunque el color es un buen índice de la habilidad de reflejar radiación solar, es un pobre indicador de la habilidad de reflejar radiación termal. La mayoría de los materiales utilizados en la construcción, sin importar color, actúan como un cuerpo negro, absorbiendo mayor radiación termal que interceptan.

La cantidad de radiación termal que una superficie intercepta depende del ángulo que forme la radiación con la superficie.

Este es el mismo principio que se aplica a la radiación solar,

Los materiales que transmiten radiación solar visible no necesariamente transmiten radiación termal. El vidrio permite virtualmente que toda la radiación solar que llega a su superficie, penetre, absorbiendo la mayor parte de la radiación termal que intercepta. Esta propiedad del vidrio es altamente útil para la recolección de la energía solar. Una vez que se transmite la luz solar a través del vidrio y es absorbida por los materiales localizados en un espacio, la energía termal que éstos irradian no pasarán a través del vidrio, conservándose el calor en el espacio considerado, a este proceso la recolección del calor por energía solar se le llama el efecto invernadero. Un buen ejemplo del resultado de este efecto es el calor que se concentra en un automóvil que ha estado expuesto al sol por unas horas. Otros materiales, como los plásticos esmaltados admiten un alto porcentaje de radiación solar, permitiendo únicamente que sólo el 40% de la energía termal pase a través de ellos, por eso son poco útiles para la aplicación en la tecnología de la energía solar.

Todos los sistemas de calefacción solar se basan en el almacenamiento de energía solar dentro de un material por un período de tiempo. Esto se logra calentando un material que va a almacenar el calor hasta que se necesite. Por otro lado, los sistemas de enfriamiento trabajarán a la inversa.

El calentar o enfriar un espacio, se basa esencialmente en mantener una diferencia de temperatura entre la sustancia y la temperatura a su alrededor. Por esta razón cuando se requiere poner calefacción solar a un edificio, es importante cons-

truirlo con los materiales que puedan almacenar la energía solar (calor) en el día, para conservar el edificio tibio durante la noche.

La capacidad de un material de almacenar energía se llama calor específico, que se define como la cantidad de calor (medida en BTU) que una libra de una sustancia puede mantener cuando su temperatura se eleva un grado Fahrenheit. Por ejemplo:

el concreto tiene	0.156	(Btu/lb-°F)
el ladrillo	0.20	"
el acero	0.12	"
la madera	0.57	"
el agua	1.0	"
Poliuretano expandido	0.38	"

Aunque el concreto y el ladrillo tienen casi la mitad del calor específico del poliuretano expandido, su densidad es mucho mayor, así que por unidad de volumen pueden almacenar --s substancialmente más calor.

La madera y el ladrillo tienen más o menos la misma capacidad de almacenar calor; sin embargo; la madera no es usada para almacenar calor, la razón es simplemente que la madera no conduce el calor tan bien como el ladrillo y no es por lo tanto capaz de transferir mucho calor de su superficie a su interior, para que así lo pueda almacenar.

CAPITULO V

APROVECHAMIENTO DEL CALOR SOLAR

Hay básicamente dos tipos de aprovechamiento del calor solar, los sistemas activos y los sistemas pasivos. Los primeros cuentan con colectores de charola plana o colectores de enfoque, estos están generalmente montados sobre el techo del edificio, también cuentan con una unidad de almacenamiento de calor, ya sea; arcón de piedra, tanque de agua o una combinación de ambos. El calor colectado y almacenado en este tipo de sistemas, se suministra a los espacios interiores del edificio en cuestión, por medios mecánicos. Mientras que los sistemas pasivos colectan y transportan el calor por medios no mecánicos.

La definición más común para un sistema solar de calefacción o de enfriamiento pasivos, es la siguiente: se trata de un sistema en el cual los flujos de energía térmica en un sistema, son por medios naturales como: la radiación, conducción y la convección natural. En esencia, la estructura del edificio o algún elemento de él, son los que formarán parte del sistema pasivo.

La diferencia más notable entre los dos sistemas es que el sistema pasivo opera en base a la energía disponible en el medio ambiente inmediato, mientras que los sistemas activos, necesitan fuentes externas de energía como electricidad, para poder proporcionar potencia a los ventiladores y bombas del sistema, no hay que descartar la posibilidad, de que también se puede instalar otro sistema activo para generar este tipo de energía necesaria para el funcionamiento del conjunto de sistemas activos.

Existen dos elementos básicos en los sistemas pasivos de ca-

lefacción solar: vidrios en la cara sur del edificio, para la recolección solar; masa térmica para la absorción calorífica, el almacenamiento y su distribución.

No se debe caer en el error de usar estos dos elementos en forma excesiva, ya que no es necesario, pues si se hace un buen diseño del sistema pasivo tendremos que, se utilizarán en cierta medida, ya que se pueden combinar con otros elementos secundarios.

Para introducirnos en el tema, se clasificará éste en tres conceptos: ganancia directa, ganancia indirecta y ganancia por aislamiento.

Cada una explica la relación entre el sol, el almacenamiento de calor y el espacio de vida o espacio de habitación.

V.a) Ganancia directa.

Este es el primer concepto y el más simple de la calefacción solar pasiva, y consiste en que el espacio habitación se caliente directamente por la luz solar.

Como el espacio habitación se usará como colector solar, también tendrá que contener un método para absorber y almacenar suficiente calor durante el día, para que así se pueda utilizar parte de la energía en la noche.

En otras palabras, con el concepto de ganancia directa, el espacio habitación se convierte en un colector solar, y un sistema de almacenamiento de calor y de distribución integrados. Es importante hacer notar que los sistemas de ganancia directa, están trabajando todo el tiempo. Debido a que captan toda la energía que pasa a través del vidrio en forma directa o difusa, no solo funcionan bien en lugares muy asoleados, sino que también en climas nublados con grandes cantidades de energía solar difusa, en donde los sistemas activos no pueden funcionar adecuadamente.

El vidrio localizado en la cara sur del edificio, va a estar expuesto a la máxima cantidad de energía solar en el invierno y a la cantidad mínima en verano, por esta razón es el sitio ideal para la penetración de la luz solar directa al espacio habitación.

Como una porción de la posible ganancia de calor solar durante el día, se debe utilizar en la noche, los pisos y/o las paredes deben construirse de materiales capaces de almacenar calor.

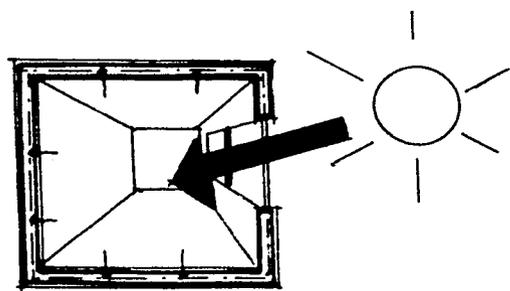
Los materiales de almacenamiento térmico de albañilería incluyen el concreto, el block de concreto, ladrillo, piedra y adobe; tanto individualmente como en sus variadas combinaciones.

Por lo que respecta a nuestros métodos constructivos, estos son los ideales para la aplicación de los sistemas pasivos de calefacción solar, ya que utilizamos principalmente material con buenas características de almacenamiento de calor, lo que hay que prever cuando el almacenamiento de calor se haga por medio de agua, es que la pared de agua se localice en el espacio habitación de tal manera que recibe la mayor parte del día, la acción de los rayos directos del sol.

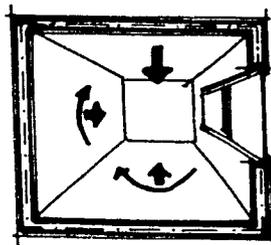
Los materiales más comunes que se utilizan para construir las paredes de agua con recipientes de metal o plástico.

**FIG. V-1 SISTEMA DE GANANCIA DIRECTA**

**MATERIALES DE ALBANILERIA**

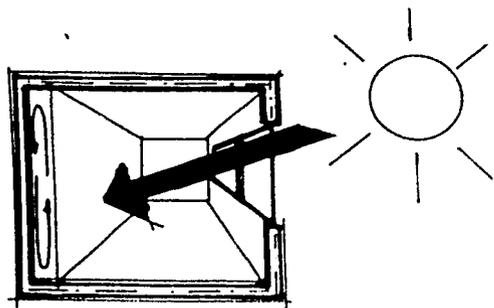


**DIA**

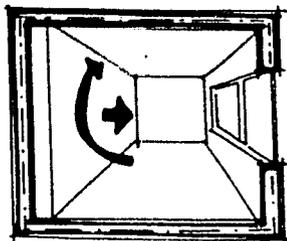


**NOCHE**

**PAREDES DE AGUA INTERIORES**



**DIA**



**NOCHE**

Durante el día, la masa se carga de calor para que en la noche cuando la temperatura del espacio habitación empieza a bajar, este calor retorne al mismo espacio y de esta manera se mantenga la temperatura de comfort.

En climas con veranos calurosos y temperaturas nocturnas frías, la masa térmica puede actuar también para mantener el espacio habitación fresco durante el día.

El procedimiento a seguir es el siguiente, se debe dejar circular el aire frío durante la noche, para que así las masas térmicas se enfríen, pudiendo absorber el calor durante el día.

Uno de los ejemplos más ilustrativos con que podemos contar, de la aplicación de un sistema pasivo de ganancia directa, es el de la secundaria de San Jorge en Wallasey, Inglaterra. El edificio fué diseñado por el arquitecto Emslie A. Morgan.

El edificio está construido de concreto y mampostería, cuenta con una cara transparente, la cual esta orientada al sur, para que de esta manera se cuente con una máxima ganancia directa de calor en el invierno. Los espesores de sus pisos y techos es de 18 a 25 cm. hechos de concreto. La pared orientada al norte es de ladrillo con un espesor de 28 cm. al igual que todos los muros interiores de distribución.

El muro norte al igual que el techo, cuentan con un material aislante, colocado en su cara externa, el cual tiene un espesor de 13 cm. y es de poliestileno. Las fluctuaciones de la temperatura dentro del salón de clases fueron de 10°C., esto se debió al efecto regulador de la mampostería, ya que trabajó como masa térmica de almacenamiento, por lo que se pudo

mantener la temperatura del espacio habitación relativamente estable.

La cara orientada al sur, admitió suficiente energía solar, como para absorber el 50% de las necesidades de calor del edificio durante el año.

Wallasey se localiza en la costa occidental de Inglaterra, a 53 grados de latitud norte, sus temperaturas exteriores son moderadas por el calor proveniente de las corrientes del golfo, pero la corriente trae consigo también neblina, por lo que la aplicación de sistemas solares activos de calefacción es muy remota.

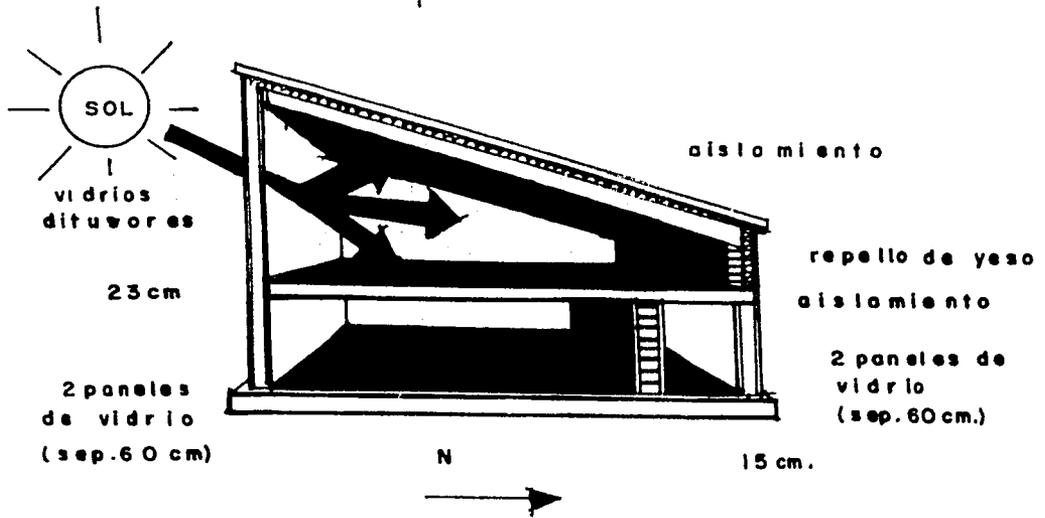
Es conveniente tener un sistema auxiliar de calefacción, para que se pueda complementar con el sistema elegido de calefacción solar, aunque muchas veces, si contamos con un buen diseño, poco será el uso que le daremos al sistema auxiliar de calefacción.

A continuación ponemos las figuras V.2 y V.3 en donde podemos darnos cuenta de los porcentajes de energía utilizados, y sus fuentes de donde provienen; así como de la sección del edificio de la escuela en Wallasey.

FUENTE	% DE CALOR
energía solar	50
luces incandescentes estudiantes 15-35	34
por salón	16

Joseph E. Perry Jr. "The Wallasey School" Passive solar heating and cooling conference and workshop proceedings.

fig. IV LUZ SOLAR DIFUNDIRA SOBRE  
UN AREA DE MAMPOSTERIA Y  
CONCRETO.



V.b) Ganancia indirecta.

En este concepto de la calefacción solar pasiva, la luz solar choca primeramente con una masa termal, la cual se localiza entre el sol y el espacio habitación. La luz solar que absorbe la masa termal, se convierte a energía calorífica y posteriormente se transfiere al espacio habitación.

Existen dos tipos de sistemas de ganancia indirecta que son las paredes de almacenamiento termal y los contenedores de agua en el techo, la diferencia entre los dos sistemas es la localización de los mismos, ya que el primero se contiene en una pared, mientras que el otro en el techo del espacio que se está calentando.

En el caso del uso de la pared termal, esta debe contar con una cara transparente de vidrio, con orientación al sur, para que así tengamos una ganancia de calor solar máxima en invierno y una masa termal separada por lo menos 10 cm. detrás del vidrio. Este espacio servirá para el almacenamiento y distribución del calor, transmitiéndoselo después a la masa termal, la cual puede ser de concreto, mampostería o agua.

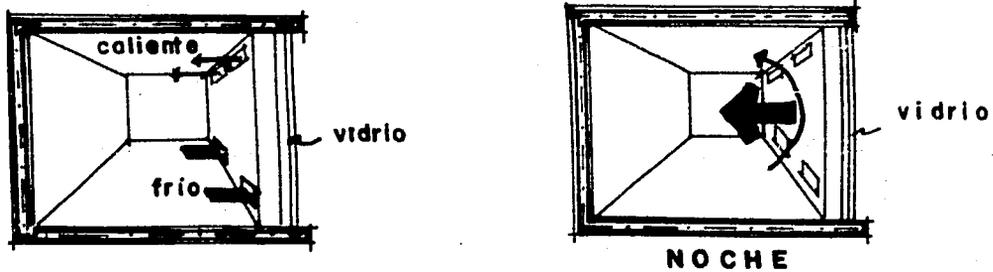
La superficie exterior de la pared termal, está usualmente pintada de negro o de un color obscuro, para que de esta manera tengamos una mayor absorción de luz solar y por consiguiente de energía termal. El calor adquirido por la cara externa de la pared termal, es conducido a través de la misma, para que posteriormente sea distribuido al espacio habitación por radiación y en cierto grado por convección natural.

Si además agregamos ventilas a la pared, la distribución por convección natural o termocirculación de la cara exterior de la pared es también posible, pero únicamente durante el día y al atardecer. Su funcionamiento será de la siguiente manera: El paso de la radiación solar a través del vidrio, es absorbido por la pared que de antemano se pintó de negro para una mayor absorción de calor, por tanto se calienta su superficie alcanzando temperaturas de 65°C; este calor se transfiere al aire que se encuentra en el espacio entre la pared y el vidrio, haciendo que el aire caliente tienda a subir, por lo que si el muro lo dotamos de ventilas en su parte más alta y más baja simultáneamente abiertas, el aire caliente que tiende a subir, entrará al espacio habitación por la ventila de arriba, desplazando al aire frío que se encuentra dentro del espacio habitación, obligándolo a salir de éste por las ventilas de abajo y al pasar por el espacio entre la cara exterior de la pared y el vidrio, se calienta, por lo que se repite la operación inicial, formandose así un ciclo de calefacción por convección natural. De esta manera se puede abastecer de calor adicional al espacio durante períodos de clima con mucho sol. Figura V.3

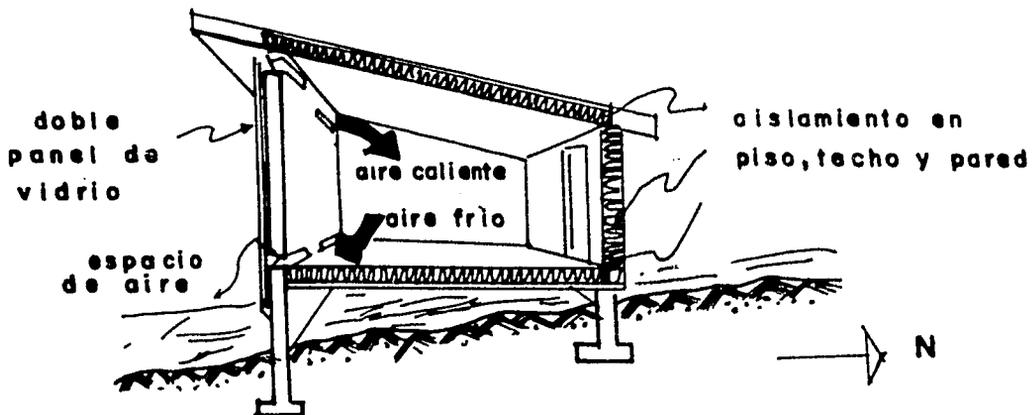
Un ejemplo muy conocido es el sistema utilizado en la casa de Trombe en Odeillo, Francia. La casa fué construida en 1967, y diseñada por Felix Trombe y el arquitecto Jacques Michel. Se antepone a la pared, un cristal doble, para así tener cierto aislamiento con respecto al exterior, la pared es de concreto, y está pintada de negro para tener una mayor absorción de luz y por lo tanto de calor debido a sus dos particularidades esenciales, la casa se calienta principalmente por radiación y convección de la cara interna de la pared.

Los resultados de estudios muestran que aproximadamente el 70% de la necesidad anual de calefacción es suministrada por la energía solar. Además desde 1974 las investigaciones realizadas indican que cerca del 36% de la energía incidente en el vidrio es efectiva en la calefacción del edificio en invierno por lo que la eficiencia del sistema es comparable con la de un buen sistema de calefacción solar activa.

**FIG. V - 3 GANANCIA INDIRECTA CON MURO TERMAL DE (mamposteria o concreto)**



**fig. V- 4 SECCION DE LA CASA TROMBE EN ODEILLO, FRANCIA**



Un ejemplo de un sistema de pared termal de mampostería en los Estados Unidos es la casa Kelbaugh en Princeton, Nueva Jersey, esta localizada un poco al norte de los 40 grados de latitud norte, recibe el 55% de la energía radiante en el invierno.

La casa es una estructura de dos niveles, encierra un área de 195 m<sup>2</sup>, la cual será calefactada por una pared termal de 56 m<sup>2</sup> de área y un invernadero, ambos orientados al sur. La casa se localiza en la parte norte de un terreno de 20 m por 30 de largo. Su localización dentro del terreno es para prevenir las sombras de los árboles durante el invierno. El sistema de recolección de energía solar, consiste en una pared de concreto, de 38 cm. de espesor, pintada de negro y con dos hojas de vidrio reforzado puestas frente a la pared.

La calefacción se logra principalmente por la radiación y la convección natural provocada por la cara interna de la pared; sin embargo las ventilas localizadas en la parte superior y en la parte inferior de la pared en cada piso, permite la calefacción durante el día, por medio de la convección natural del aire tibio de la cara externa.

De acuerdo con los datos recopilados en el invierno de 75-76 este sistema redujo el costo de la calefacción del espacio habitación en un 76%.

Las fluctuaciones de temperatura de la casa, durante este período fueron pequeñas, con el orden de 5 grados centígrados. En la planta alta las temperaturas de estación, tanto la alta como la baja fueron, de 23 y 17 respectivamente, mientras que en la planta baja fueron de 20 y 15, por lo que podemos dar--

nos cuenta que la planta alta tuvo temperaturas un poco más altas que la planta baja, esto se debió a la migración de aire tibio de la planta baja, a través del cubo de escaleras que conecten a los dos pisos. Se hicieron varias modificaciones al sistema, como poner ventilas operables para prevenir la ter mocirculación reversible en las noches, además se puso una puerta en la parte superior del cubo de las escaleras para redu cir la migración del calor de la planta baja a la planta alta. Esto mejoró el funcionamiento del sistema, de manera que la contribución solar fué mayor, reduciendo los costos de calefacción por un 84% Fig. V.5

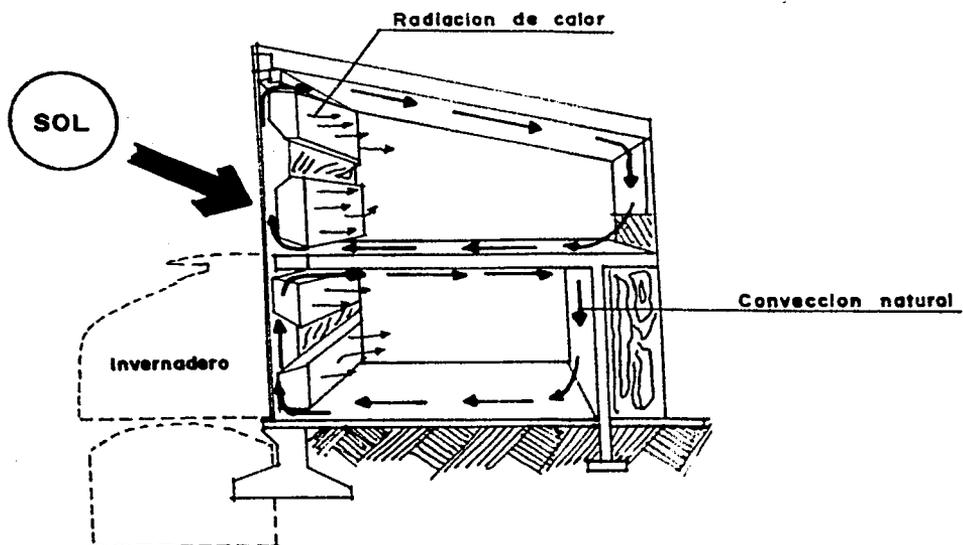


FIG. V- 5. Seccion de la casa Kelbaugh en Princeton.

Esencialmente las paredes de mampostería y de almacenamiento termal por medio de agua, recoleccionando el calor y lo distribuyen a un espacio de la misma manera, solo la pared acuática transfiere este calor a través de la pared, por medio de convección en su interior a través del agua, en vez de conducción. La cara exterior de la pared de agua esta usualmente pintada de negro o de cualquier color obscuro para así tener una mayor absorción solar.

Cuando la pared empieza a absorber calor solar, su superficie se calienta, sin embargo las corrientes de convección dentro de ella mantienen a la superficie relativamente fría, mientras que se distribuye el calor recolectado a través del volumen completo de agua.

Este calor recolectado durante el día, se transmite al espacio interior, por radiación y algo de convección de la cara interior de la pared.

Un ejemplo de sistema de pared acuática es la residencia de Steve Baez en Corrales, Nuevo México. La casa es una serie de diez domos conectados que encierran  $186 \text{ m}^2$  de área de piso, los domos emplean una combinación de sistemas pasivos de calefacción, de ganancia directa y de paredes de almacenamiento termal.

Algunas de las paredes orientadas al sur, son verticales y contienen tambos metálicos de 208 litros, los cuales se encuentran llenos de agua, estos están acomodados horizontalmente en un marco metálico de soporte. Las paredes aproximadamente de  $37 \text{ m}^2$  de área, tienen enfrente de ella una hoja

de vidrio, contando además con p neles de material aislante en la parte exterior, estos últimos están avisagrados en la pared en su parte inferior, para que durante el día en su posición abatida, funcionen como reflectores, incrementando la ganancia solar diaria de la pared sur; en la noche cerrando los p neles aislantes, aislan a la pared, para mantener el calor recolectado durante el día por los tambores llenos de agua, que se encuentran dentro del espacio. Para poder controlar la descarga del calor recolectado, se utilizaron cortinas comunes y corrientes, las cuales se cierran cuando ya no se quiera percibir más calor.

Este sistema mantuvo la temperatura dentro del edificio entre los 17 y 21 grados centígrados durante casi todo el invierno.

La pared acuática junto con las paredes de adobe y el piso de concreto moderaron las fluctuaciones diarias de temperatura dentro del edificio, las cuales fueron de 3 grados C. Como resultado de su gran capacidad termal, el edificio responde lentamente a las variaciones bruscas del clima en el exterior, por lo que en días nublados, la temperatura media de la habitación descenderá solo 1 o 2  C diarios. Figura V.6

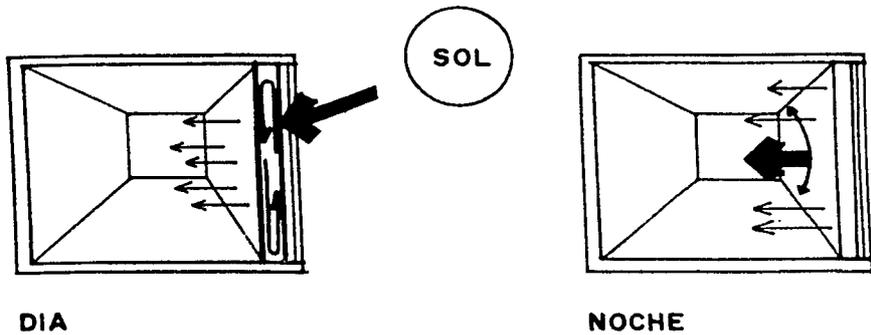


FIG. V - 6. Sistema de ganancia Indirecta  
 "Pared de almacenamiento termal con agua"

Un invernadero adjunto a la casa habitación es esencialmente una combinación de los sistemas de ganancia directa o indirecta.:

En este caso un invernadero o cuarto de sol, se construye en el lado sur del edificio con una gruesa pared separando el invernadero del edificio.

Como está calentado el invernadero directamente por la luz solar, decimos que funciona como un sistema de ganancia directa, sin embargo, el espacio adyacente o espacio habitación, recibirá el calor a través de la pared, ya sea por conducción o por ventilas en la parte superior e inferior de la pared, o por pared termal de agua, a donde estos últimos sistemas pertenecen al grupo de ganancia indirecta.

Básicamente la luz solar se absorbe por la pared trasera del invernadero, convertida la luz en energía calorífica, una porción de ésta se transfiere entonces al edificio. En esta forma el invernadero adyacente es simplemente un sistema expandido de la pared de almacenamiento termal, únicamente que en lugar que la cara de vidrio enfrente de la pared, se encuentre a solo unos 10 cms. este se encontrará a más de 1.50 m. o lo suficientemente ancho para poder sembrar plantas en él.

Para que sea efectivo como fuente de calor para el edificio, la pared se construye usualmente de mampostería o con recipientes de metal llenos de agua.

Una pared construida de materiales ligeros tiene muy poca masa y por lo tanto baja capacidad de almacenamiento de calor por lo que en la noche cuando las temperaturas bajan en el

exterior, la pared no es una fuente suficiente para el espacio habitación y para el invernadero.

Hay muchas variaciones que permiten la flexibilidad de diseño en la aplicación de los invernaderos adjuntos, como conducir el aire tibio durante el día, por medio de convección natural a espacios que si puedan almacenar calor, como poner un lecho de piedras por debajo del piso del espacio habitación, ya que en la noche el calor se transmitirá por radiación. Figura V.7

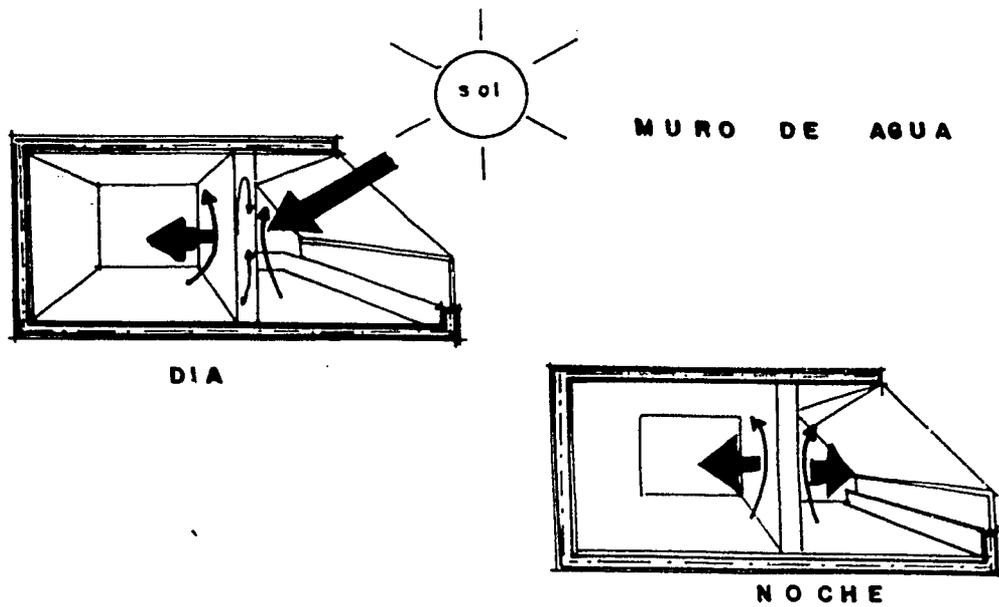
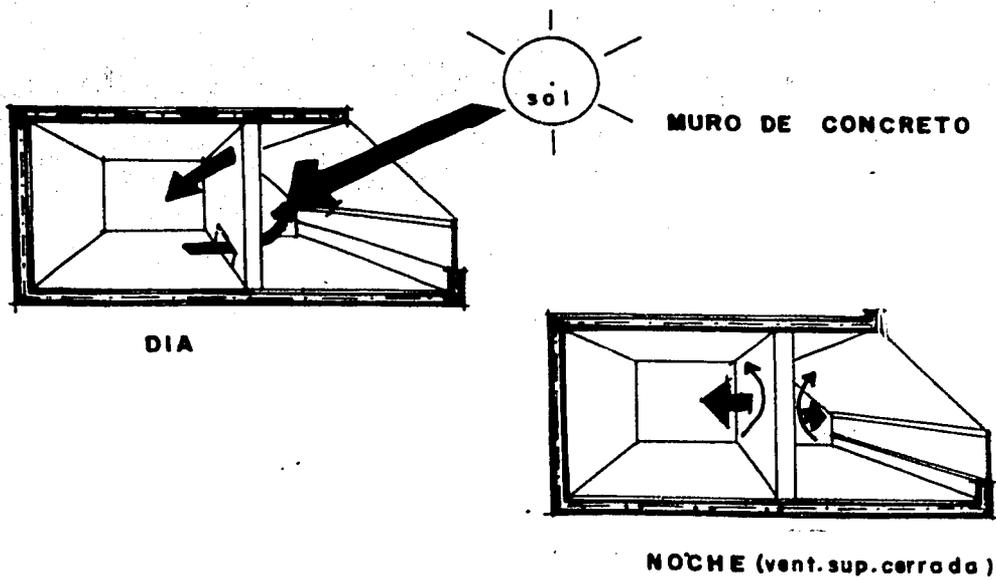


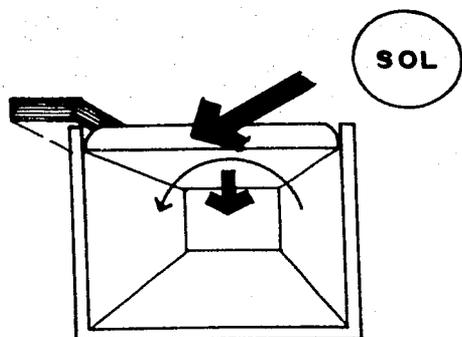
fig 5 - 7 GANANCIA INDIRECTA  
CON INVERNADERO ADJUNTO

Contenedores de agua en el techo, este es un sistema de ganancia indirecta, en el cual la masa termal se localiza en el techo. En este caso albercas de agua cubiertas con bolsas delgadas de plástico transparente son colocadas por encima de una cubierta de metal, la cual es la que va a ser el techo interior del espacio.

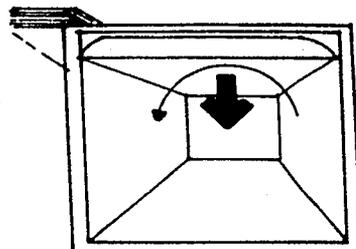
Este sistema es muy apropiado para ser usado en lugares de climas extremos y soleados, ya que sirve tanto para calentar como para enfriar los espacios habitación.

En el invierno las albercas están expuestas a la luz solar durante el día y después cubiertas con paneles aislantes durante la noche, la transmisión del calor al espacio debajo será principalmente por irradiación y muy poco rango de convección.

En el verano la posición de los paneles es totalmente al revés que en el invierno, cubriendo las albercas durante el día y removiéndolos durante la noche para permitir que las albercas se enfríen por convección natural y por la radiación al cielo fresco nocturno. Después de ser enfriados en la noche, los contenedores están listos para absorber calor del espacio debajo de él al día siguiente.

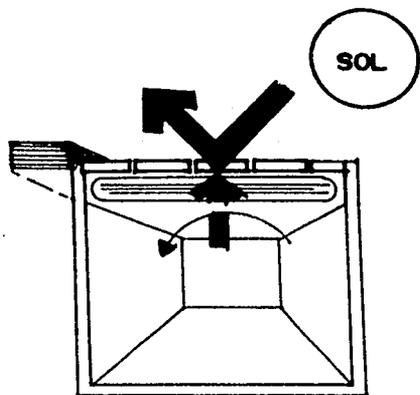


DIA

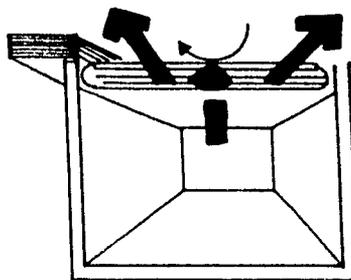


NOCHE

CICLO DE CALEFACCION



DIA



NOCHE

CICLO DE ENFRIAMIENTO

FIG. V-8. Ganancia indirecta con contenedores de agua en el techo.

### V.c) Ganancia aislada

El tercer concepto de los sistemas pasivos de calefacción solar, es el de ganancia aislada, en el cual la recolección y el almacenamiento termal, están aislados del espacio habitación. Esto permite que el sistema funcione independientemente del edificio únicamente extrayéndole calor cuando se necesita. La aplicación más común de este concepto es el lazo de convección natural. Los componentes principales de este sistema son: una charola colectora plana y un tanque de almacenamiento de calor, este último puede ser de dos tipos: de agua y de aire con almacenamiento de rocas.

Cuando el agua o el aire se calientan en la charola colectora de calor, estos se elevan entrando al tanque de almacenamiento por su parte superior, forzando de esta manera al fluido frío a que se desaloje del tanque por su parte inferior, yendo a dar a la charola colectora, en donde se calientan y se repite la acción inicial, esta corriente de convección natural actúa mientras alumbra el sol.

Quizás el uso más simple del lazo de convección es el calentador termosifónico de agua caliente. Aunque hay muchas variaciones de este sistema, la mayoría se caracteriza por una charola colectora plana, conectada a un tanque de agua, bien aislado, y su tubería debe estar también adecuadamente aislada. El tanque se localiza por arriba del colector para así inducir un flujo convectivo de fluido.

Los métodos utilizados para diseñar y medir estos sistemas son similares a los usados en los sistemas activos de calefacción solar.

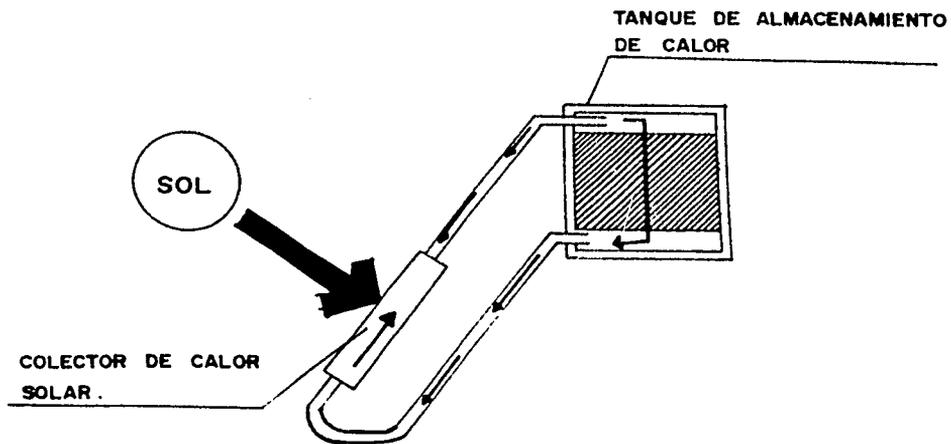


FIG. V-9. Lazo de convección

V.d) Ventajas y desventajas de los sistemas solares pasivos.

Muchas han sido las ventajas que se les han atribuido a los sistemas de calefacción pasiva solar, estas se pueden separar en tres categorías: económicas, arquitectónicas y comfort.

Es de gran interés la posibilidad que se tiene de ahorrar grandes cantidades de energía, gracias al uso de los sistemas pasivos de calefacción, ya que por poco costo adicional o ninguno se puede incluir en el diseño original de un edificio. Las ventajas económicas significativas de un sistema solo pueden ser evaluadas en términos de una instalación particular.

Quizás podemos decir que la ventaja más grande de un sistema pasivo es la simplicidad de su diseño, operación y mantenimiento, ya que esto lo puede hacer una persona con experiencia técnica limitada.

Estos sistemas son construidos con materiales de construcción comunes y generalmente tienen una larga vida, temperaturas de operación bajas, sin ventiladores, bombas, compresores, ductos o tubos y pocas partes móviles. Como no existe equipo mecánico hay poco o nada de ruido asociado al sistema pasivo. Además muchos sistemas son completamente invisibles desde el interior del edificio; no hay radiadores o parrillas con las que se tenga que lidiar.

La cuestión del comfort, depende principalmente en mantener un ambiente termal en el que el cuerpo puede perder calor a una tasa igual a su producción, sin necesidad de sudar o temblar. El adulto normal en descanso debe trabajar continuamente para mantener la circulación, respiración y otras

funciones del cuerpo, la energía que se necesita para llevar a cabo estas funciones es aproximadamente de 80 BTUs por hora.

Como el cuerpo humano es esencialmente un motor de calor con una eficiencia termal de un 20%, debe disipar 400 BTUs por hora de energía de desperdicio a su alrededor. El cuerpo disipa este calor por medio de tres mecanismos: evaporación, convección e irradiación.

Como los factores psicológicos y fisiológicos juegan un papel importante en el comfort, la opinión así como también la sensación deben ser considerados; por esto decimos que se nos hace difícil concluir en términos de hechos, que ciertas condiciones interiores son más cómodas que otras.

Dentro de un rango de comfort, la mayoría de la gente aceptará el comentario de que a menor grado de temperatura en un espacio, mayor será la sensación de bienestar y salud.

Mucha gente siente que el aire frío es más vigorizante, fresco y menos encerrado, y por lo tanto su habilidad para trabajar y pensar, se incrementa en un espacio donde están tibio pero a una temperatura ambiente que sea menor a los 21°C.

En climas fríos los sistemas de calefacción de tipo convectivo, tienden usualmente a gradientes de temperatura grandes piso a techo, con bajas de temperatura de piso causando descomfort termal.

En un espacio con calefacción pasiva la temperatura de la superficie del piso es usualmente más alta que en el piso similar en un espacio con un sistema convectivo de calefacción, sin importar que el sistema sea de ganancia directa, de contenedores de agua en el techo, o de pared de almacenamiento térmico.

En contraste con lo anterior, uno de los problemas asociados con los sistemas pasivos es el control. Como cada sistema tiene una gran capacidad de almacenamiento de calor que es parte integral de la estructura del edificio, su capacidad de responder repentinamente a los cambios de temperatura se impide bastante. También el almacenaje de calor requiere un cambio en la temperatura del material y puesto que los materiales de almacenaje son parte integral del edificio, el espacio también fluctuará en temperatura. Las fluctuaciones de temperatura de una manera excesiva en el espacio, llevan a condiciones insatisfactorias de comfort si el sistema no está propiamente diseñado.

Afortunadamente existen soluciones relativamente sencillas a estos problemas, para aplicaciones residenciales el control de temperaturas se lleva a cabo por medio de ventanas operable, sistemas de sombreo y un sistema de calefacción de respaldo. Mientras que en aplicaciones de gran envergadura, la solución al control está en escoger efectivamente a los requerimientos de comfort del usuario.

CAPITULO VI

REGLAS PRINCIPALES PARA ESCOGER EL SISTEMA

#### VI.a) Localización de la construcción.

Se debe poner mucha atención cuando se va a localizar la construcción, dentro del terreno; ya que si tenemos obstáculos para recibir principalmente los rayos del sol, de las 9:00 A.M. a las 3:00 P.M., el edificio no podrá hacer uso de los sistemas pasivos de climatización.

Para poder aprovechar la mayor cantidad de radiación solar, es aconsejable ubicar nuestra construcción en la parte norte del terreno, pues entonces aseguraremos que las áreas exteriores y los jardines puestos en el sur, tendrán sol invernal adecuado, y también ayudará a disminuir la posibilidad de sombrear al edificio en un futuro, por construcciones que se desarrollen en otros terrenos.

Una vez que se ha decidido la ubicación de la construcción dentro del terreno, es necesario ir pensando en un anteproyecto de la casa antes de hacer la distribución de los interiores; cuando se piense en hacer el anteproyecto es necesario tomar en cuenta la cantidad de luz solar que se va a permitir entrar en la casa. Una de las formas más eficientes de ubicar la construcción, es hacerla a lo largo de un eje este-oeste, para que de esta manera tenga un área mayor de exposición hacia el lado sur.

Al hacer la distribución de espacios interiores, es necesario pensar cuales son las habitaciones que requieren de mayor calefacción, debido al mayor uso, como son las habitaciones, comedor, estancia, sala, cocina; las cuales las podemos situar en la parte sur, sureste y sudoeste de la casa,

mientras que los espacios que requieren menos calefacción como closets, escaleras, las podemos ubicar en la parte norte. Estos últimos servirán como amortiguamiento de los espacios interiores localizados en la parte sur y el exterior de la parte norte de la construcción.

También es importante proteger la entrada principal de la casa, pues una gran cantidad de frío del exterior entra al edificio a través de hendiduras alrededor de la puerta y el marco, así como cada vez que se abre la puerta. Esta infiltración de aire frío conjuntamente con la pérdida de conducción a través de la puerta pueden ser la causa de un 10% de la pérdida total de calor de la casa habitación. Haga en la entrada principal un espacio cubierto pequeño (vestíbulo), para que se forme un cerramiento de aire entre el edificio y el exterior; esto prevendrá que una gran cantidad de aire calentado o enfriado salga del edificio cada vez que se abra la puerta.

Se debe tener también en cuenta la distribución y medidas de las ventanas, pues estas también provocan fugas de calor del edificio, es por eso que tenemos que localizar las ventanas más grandes en las partes sur, sureste y sudoeste de la casa de acuerdo a los requerimientos internos de cada espacio. En el este, oeste y especialmente en el norte de la casa cuente con ventañás pequeñas, contando éstas con doble vidrio y si es posible tratar de suprimirlas, poniendo en estos espacios, tragaluces orientados hacia el sur.

## VI.b) Criterios para selección del sistema y materiales.

Después que los espacios interiores han sido distribuidos, el sistema de calentamiento de cada espacio debe ser determinado antes de proceder con el diseño de la casa, ya que el sistema pasivo va a formar parte de la casa; cada sistema tiene sus limitaciones y oportunidades específicas de diseño. Tenemos que escoger un sistema particular que satisfaga los requerimientos de diseño de cada espacio, aunque también hay que tener en cuenta que diferentes sistemas pueden ser usados para diferentes espacios o pueden ser combinados para calentarlos.

Para poder hacer la mejor selección del sistema tenemos que tomar en cuenta las siguientes consideraciones de diseño:

- 1 Forma del edificio
- 2 Areas con vidrio
- 3 Materiales de construcción a usar
- 4 Control termal
- 5 Eficiencia
- 6 Factibilidad del sistema como un reajuste a edificios ya existentes.

Todos los sistemas van a actuar bien en una gran variedad de climas, aunque ligeras modificaciones deben ser hechas para optimizar la eficiencia.

## GANANCIA DIRECTA

### Forma del edificio:

El edificio es generalmente alargado en dirección este-oeste, con los espacios que requieren de más calor localizados en la región sur de este. El edificio puede ser escalonado si el terreno nos lo permite, (terreno con pendientes fuertes), o con techo del tipo de serrucho o dentado. El edificio también puede ser construido en una disposición vertical.

### Areas con vidrio:

Estas deben localizarse u orientarse al sur, para tener una mayor ganancia de calor solar en el invierno, naturalmente estas ventanas pueden tener otras funciones tales como para iluminar el espacio o para tener vista al exterior, como ya se comentó, el uso excesivo de las ventanas no se recomienda, por lo que tenemos de minimizar el número y tamaño hasta tener la condición óptima para calentar el espacio.

### Materiales de construcción:

Cada espacio debe tener una masa termal para el almacenamiento de calor solar, por lo que respecta a este punto, nuestra forma de construir se apega bastante a las necesidades, pues nuestros materiales de construcción son esencialmente de mampostería, aunque también podemos pensar en el uso de una masa termal compuesta de agua, ya que esta tiene una mayor captación de calor, pudiéndose este almacenar para proveer de calor a la habitación en días nublados de invierno.

### Control termal:

Los sistemas de ganancia directa se caracterizan por sus diarias fluctuaciones de temperatura en los interiores, los cuales estan en el rango de 12°C dependiendo de la localización y tamaño de las ventanas orientadas al sur, masa termal y el color de las superficies interiores; para prevenir sobre calentamientos, es recomendable usar implementos que nos proporcionen sombra a las ventanas, tales como cortinas exteriores, etc.... Sin embargo cuando añadimos un sistema convencional de aire forzado a un espacio, la uniformidad de las temperaturas interiores puede ser mantenida uniforme.

### Eficiencia:

Cuando se encuentra apropiadamente diseñado un sistema de ganancia directa, es aproximadamente de 30 a 75% eficiente en invierno, esto significa que la mayor parte de la luz solar que pasa a través de los vidrios es aprovechada para calentar el espacio.

### Aplicación a edificios construídos:

Para la aplicación de sistemas de ganancia directa en edificios ya construídos, debemos de observar si este cuenta con una cara orientada al sur, para que de esta manera, se le puedan añadir ventanas en esa parte y colocar masas termal en sus espacios interiores para almacenamiento del calor solar.

### PARED DE ALMACENAMIENTO TERMAL

Las habitaciones que cuenten con pared termal, deben contar con unas dimensiones tales como: 4.5 x 6.0 m. ya que es la distancia óptima que puede calentar por irradiación una pared termal, la cual deberá dar cara al sur, ya sea que el edificio sea de cualquier tipo.

#### Áreas vidriadas:

El vidrio funciona como un colector de superficie únicamente y no admite ninguna luz natural que penetre al espacio, sin embargo pueden ser añadidas ventanas en la pared termal para admitir el paso de la luz solar al interior del espacio.

#### Materiales de construcción:

Tanto el agua como la mampostería pueden ser usados para hacer una pared de masa termal. Se deberá poner una doble protección de vidrio a la pared termal en su parte exterior como ya se indicó en capítulos anteriores.

#### Control termal:

Las fluctuaciones de la temperatura en el interior son controladas por el mismo espesor de la pared termal. La capacidad de salida de calor de una pared de mampostería puede ser regulada por la adición de ventilas de termocirculación con compuertas operables o por paneles aislantes móviles o cortinas puestas sobre la cara interior de la pared.

**Eficiencia:**

La eficiencia total es comparable a los más activos sistemas de calefacción solar, ya que esta es de aproximadamente del 30 al 45%.

**Aplicación a edificios construídos:**

Este sistema se puede aplicar fácilmente a una pared del edificio que de al sur.

**INVERNADERO ADJUNTO**

**Forma del edificio:**

El invernadero debe situarse a lo largo de la pared con cara al sur, esto significa un invernadero alargado en dirección este-oeste. Es importante cubrir una superficie larga de la pared sur para la transferencia más eficaz de calor para los espacios adyacentes.

**Envidriado:**

El área de envidriado del invernadero debe ser un 1.5 mayor que el área de piso del espacio que se va a calentar, es conveniente pensar en una masa termal de almacenamiento de calor para poder contar con él en los días nublados.

**Materiales de construcción:**

La mayor parte del invernadero será construido con vi-

drio puesto en hojas dobles o con plástico transparente, la pared común entre el invernadero y la casa debe ser construído con una masa termal ya sea de mampostería o de agua a menos que el almacenamiento de calor sea por otros medios como masa de rocas localizada debajo del piso de la habitación a calentar, la cual está conectada con el invernadero.

#### Control Termal:

La temperatura del invernadero puede ser controlada eficazmente dentro de un rango predecible dimensionado adecuadamente el área colectiva y la masa termal.

#### Eficacia:

Cuando se diseño apropiadamente el invernadero se calentará a si mismo y surtirá de calor el espacio adyacente. Toda luz solar admitida en el invernadero es usada para calentar. El total de eficacia es de aproximadamente del 60 al 75 durante el invierno, y el calor suministrado a los espacios adjuntos es de aproximadamente de un 10 al 30% de la energía incidente en la pared colectora.

Este sistema puede ser fácilmente añadido a un edificio ya construido pues si cuenta con una cara al sur, esto será suficiente.

## ALBERCAS O CONTENEDORES DE AGUA EN EL TECHO,

### Construcción:

Ya que el techo es el colector este sistema es más conveniente para calentar casas de un solo nivel. El área de techo que reciba los contenedores puede ser plana o escalonada hacia el norte.

### Envidriado:

Cuando se va a utilizar este sistema de calefacción en invierno, el área envidriada no debe ser sombreada por ningún objeto, mientras que para enfriamiento en verano es todo lo contrario tal como ya se estudió anteriormente. Las horas principales de soleamiento en invierno son de las 10:00 A.M. a 2:00 P.M. La profundidad de estos contenedores es generalmente de 15 a 30 cm. y estos contenedores se apoyarán en una cubierta de metal la cual será el cielo raso terminado de la habitación a calentar; usando paredes de mampostería en el interior para tener una masa termal esto ayudará a tener una temperatura constantemente uniforme.

### Control termal:

El calentamiento y enfriamiento de los contenedores de agua en el techo es caracterizado por temperaturas interiores estables y altos grados de confort, debido a la gran superficie radiante (usualmente todo el cielo raso de la habitación).

**Eficiencia:**

Los contenedores de agua en el techo varía su eficiencia de un 30 a un 45%, esto se debe tomar en cuenta como que la efectividad del sello hecho de aislante movible tendrá un impacto en la eficiencia del sistema. Este sistema resulta bastante aceptable en latitudes menores o iguales a los 36 gr dos latitud norte.

VI.c) Criterios para hacer más eficiente el sistema.

En la construcción de la casa es recomendable usar materiales de baja conducción de energía o biodegradables como adobe, cemento, concreto, ladrillo, piedra, concreto y agua en contenedores; para los materiales de acabados use triplay, madera comprimida, duela, etc. La intención principal de la construcción es usar la tecnología para mantener los costos de producción tan bajos como sea posible.

Los sistemas de calefacción pasiva se caracterizan por contar con ventanas con cara al sur, es por eso que se recomienda que en climas fríos con temperaturas de más menos 5° al cero en invierno, se recomienda dotar de un 30% de área vidriada con respecto al área de piso del espacio a calentar, mientras que en climas templados fríos se recomienda poner un 25% de área vidriada con respecto al área de piso del espacio a calentar.

Después de dimensionar la ventanas solares, una porción de la luz solar que se admite en el espacio debe ser almacenada en forma de calor para su utilización durante la noche y en días nublados.

Para contar con una mejor difusión de la luz solar, así como la mejor captación de calor en los espacios se recomienda la siguiente distribución de colores en el interior del mismo.

- 1 Use color oscuro para pisos de mampostería
- 2 Las paredes de mampostería pueden ser de cualquier color
- 3 Pinte todas las construcciones ligeras de color claro.

- 4 Evite la luz solar directa sobre superficies de color oscuro de mampostería por largos períodos de tiempo.
- 5 No use alfombras de pared a pared sobre pisos de mampostería.

La medida de la pared de agua y el color de las superficies; determinarán las fluctuaciones de temperatura en el espacio a través del día.

Cuando se utiliza una pared interior de agua para almacenamiento de calor, esta debe contar con un buen asoleamiento sobre todo en las horas de las 10:00 A.M. a las 2:00 P.M., hay que hacer la superficie del contenedor expuesta a la luz solar directa de un color oscuro, para así tener por lo menos una absorción de un 60% de calor, por lo que respecta al volumen de agua, este debe tener una proporción de 28 litros por cada  $0.093 \text{ m}^2$  de ventana solar.

En climas fríos con temperaturas de menos  $5^{\circ}\text{a}$  más  $5^{\circ}\text{centígrados}$  se recomienda contar con 40 a un 90% de área de pared con respecto al área del piso de la habitación a calentar, estas deben contar con una doble capa en su cara externa si se trata de paredes exteriores. En climas templados con temperaturas de  $10^{\circ}\text{C}$ . arriba de cero se recomienda usar un 20 a 60% de área de pared con respecto al área del piso de espacio a calentar.

## DIMENSIONANDO EL INVERNADERO

La naturaleza complicada de los flujos de energía termal entre un invernadero adjunto y un edificio hace difícil dimensionar acertadamente un invernadero y de predecir su funcionamiento como un sistema de calefacción. Cuando se dimensiona apropiadamente el invernadero adjunto no solamente se calienta a sí mismo, sino que calienta los espacios adyacentes a él, sin embargo la cantidad de calor que se provee depende de muchas variables tales como latitud, clima, la masa de almacenamiento termal y las propiedades de insulación y medidas del invernadero y de los espacios que van a ser calentados.

Se recomienda extender el invernadero a lo largo de la pared del sur del edificio adjuntando los espacios que usted quiere calentar. En climas fríos use un 10% de área de doble vidrio con cara hacia el sur (invernadero) por cada  $m^2$  de (adjunto) área de superficie del edificio. En climas templados utilice 5% de área de vidrio por  $m^2$  de área de superficie construida. Esta área de vidrios coleccionará suficiente calor durante un día de invierno claro para mantener el invernadero y el espacio adjunto a una temperatura media de  $15^{\circ}C$  a  $21^{\circ}C$ .

Localice suficiente masa termal en el invernadero para que absorba la luz solar directa y humedezca las fluctuaciones de las temperaturas interiores. Construya la pared masa entre el edificio y el invernadero a manera que permita la transferencia eficiente de calor entre los dos espacios.

## CONEXION DEL INVERNADERO

El detalle de la concesión termal entre el invernadero y el edificio va a determinar la efectividad del invernadero como fuente de calor. Para sistemas que se apoyan en transferencia de calor a través de la pared común ante el invernadero y los espacios adyacentes, la eficiencia del sistema está determinado grandemente por el área de superficie de la pared, su espesor, material y color de la superficie cuando el método principal de transmisión de calor entre el invernadero y el edificio es una pared termal. Haga la superficie de la pared de un color medio oscuro y sea cuidadoso de no bloquear la luz solar directa para permitir que llegue a él. En climas fríos templados, localice pequeñas ventilas o ventanas operables en la pared para permitir que el calor del invernadero penetre directamente al edificio durante el día.

Provea ventilas exteriores operables instrumentos de sombreado para prevenir un almacenamiento exagerado de calor en el invernadero durante el verano y agregue insulación movable y reflectores para hacer del invernadero una fuente de calor más efectiva.

En este patrón dos métodos son presentados, de transmisión de calor del invernadero al edificio: una pared común de mampostería o agua entre los espacios o un sistema activo de almacenamiento de rocas con una distribución pasiva de calor. El sistema activo se menciona aquí solo porque se usa tan frecuentemente.

#### PARED TERMAL DE MAMPOSTERIA COMUN

Cuando la pared común de mampostería es el único método de almacenamiento de calor y de transferencia entre los espacios, las temperaturas diarias en el invernadero van a fluctuar de 4°C a 15°C en un día claro de invierno. Esto pasa porque la mampostería sola no puede absorber y almacenar el suficiente calor. En estos casos, el invernadero debe contener masa termal adicional (agua en contenedores) para ayudar a humidificar las fluctuaciones.

El material que constituye la pared, su espesor y color de la superficie determinan grandemente la cantidad de transferencia de calor al edificio. La pared de mampostería funciona como un sistema de almacenamiento termal de mampostería son similares que el espesor óptimo de la pared y el color de la superficie son los mismos; como también las fluctuaciones de temperatura en el espacio adyacente.

#### PARED TERMAL DE AGUA COMUN

Cuando el método de transferencia de calor entre el invernadero y el edificio es a través de una pared común de agua, el volumen de agua determina las fluctuaciones de temperatura en el invernadero y el espacio adyacente. A mayor volumen de agua menor serán las fluctuaciones de temperatura en ambos espacios con 30% de agua (o más) con respecto al área de vidrio con cara al sur, no se necesita masa adicional en el invernadero. La pared de agua debe exponer lo más posible de área de superficie tanto en el invernadero como en los espacios adyacentes para la absorción de calor adecuada y su transferencia.

#### ALMACENAMIENTO ACTIVO DE PIEDRA-DISTRIBUCION PASIVA DE CALOR.

En climas templados o fríos 2 a 8°C. se recolecta considerablemente más calor por el invernadero que lo que se puede utilizar para calefacción. Si el invernadero se usa como fuente primaria de calor, puede ser ventajoso de tomar activamente el calor del invernadero durante el día y almacenarlo en el edificio para utilizarlo en la noche. El aire caliente tomado del invernadero por medio de un ventilador se almacena en una cama de piedra usualmente localizado abajo del piso de la habitación adyacente. La ventaja de este sistema es que el invernadero puede ser construido de cualquier material y no necesita contener una pared termal esto es importante cuando una conexión visual fuerte (una ventana grande) entre el edificio y el invernadero se desea en este caso el invernadero recibirá el suficiente calor en retroceso del edificio por las noches (a través de la pared común y el vidrio) para mantenerlo a una temperatura aproximadamente entre la temperatura exterior e interior. En este caso es importante utilizar ventanas operables o una puerta para asegurar que durante los períodos de climas extremadamente fríos el invernadero puede recibir calor directo del edificio para prevenir que se hiele. En climas fríos las temperaturas menores de 2°C. en adición a las ventanas operables deben instalarse alguna masa termal en el invernadero para almacenamiento de calor durante el día. Esto asegura fuente adicional de calor al invernadero en las noches para mantener las temperaturas arriba de las heladas del invierno.

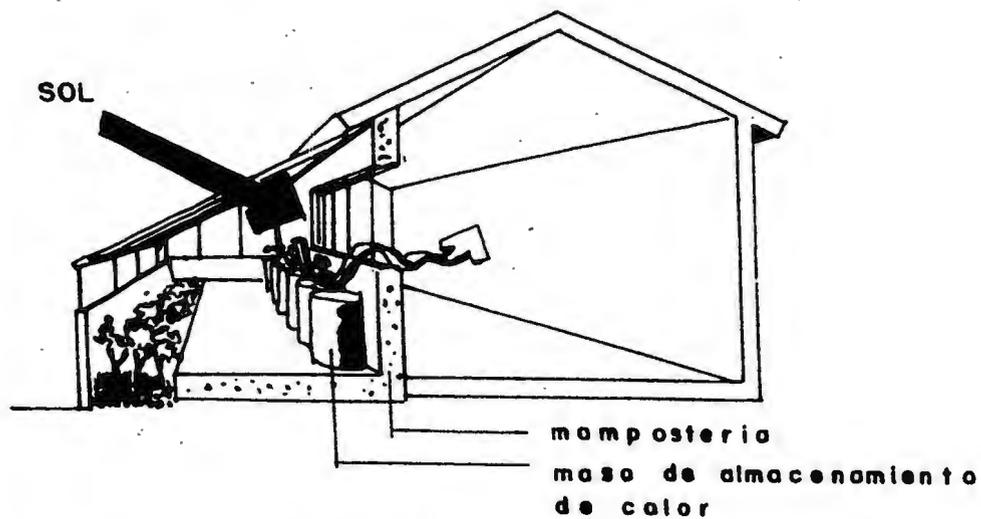
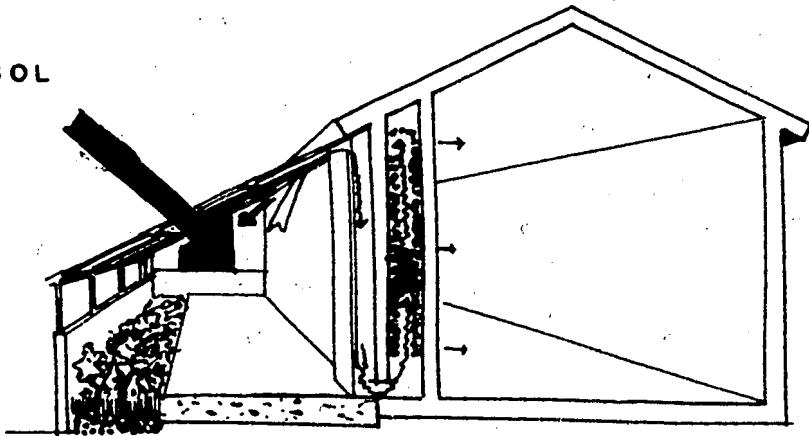


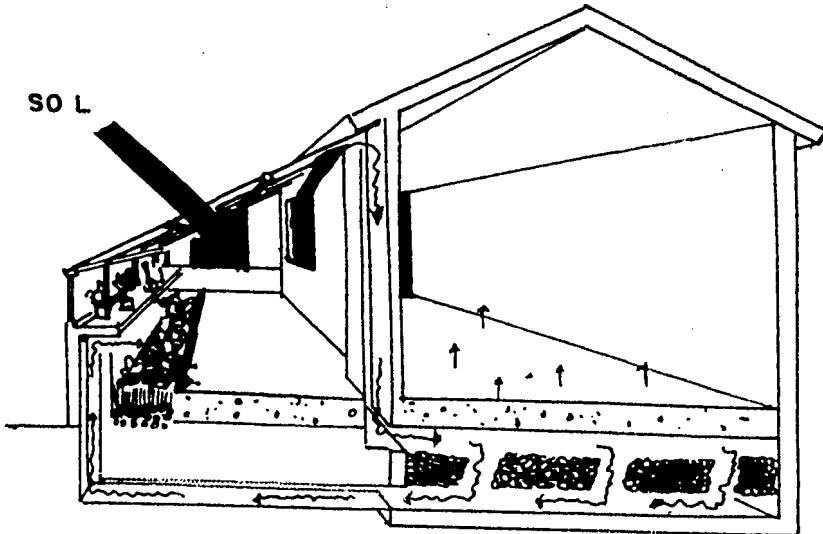
FIG. VI - 1

SOL



CAMA DE PIEDRA  
VI-2

SOL



CAMA DE  
PIEDRA  
VI-III

CONCLUSIONES

México es un país privilegiado, ya que se encuentra situado en la zona de mayor asoleamiento mundial. Al analizar las características de intensidad y duración de la insolación en Mérida puede constatararse que la energía solar disponible representa un recurso inmenso e inagotable, capaz de suministrar, en la medida que las posibilidades tecnológicas de conversión lo permitan, un gran porcentaje de los requerimientos energéticos tanto doméstico como industriales.

Se ha mostrado la importancia de reenfocar el diseño arquitectónico de las construcciones para que de esta manera cumplan con la finalidad original por la que fueron diseñadas, y que consiste en proporcionar abrigo y confort térmico a sus ocupantes. Resulta evidente que para lograr este propósito es indispensable reconsiderar entre otros, los siguientes factores: conocimiento de las condiciones microclimáticas locales; propiedades térmicas de los materiales de construcción que se van a utilizar; intercambios energéticos del ocupante con su medio ambiente (radiación, convección y conducción); aprovechamiento de las fuentes energéticas disponibles "in situ", principalmente la energía solar. En la actualidad el calentamiento solar de agua representa la aplicación más común y rentable en nuestro país.

El calentamiento de aire solo tiene precedentes en el secado de productos alimenticios y agrícolas; no siendo hasta la fecha utilizado en México para propósitos de climatización mediante termocirculación natural; por lo que, conviene empezar a explotar este fenómeno a través de sistemas de climatización del tipo pasivo. Al respecto se recomienda el diseño

de construcción aplicando conjuntamente los principios de termocirculación del aire y emisión de radiación de calor los cuales se han ilustrado de una manera sencilla en este trabajo; sin olvidar que para su funcionamiento eficaz y utilidad práctica, es necesario hacer previamente las consideraciones y cálculos necesarios de los factores involucrados (capacidad técnica, orientación, transferencia de calor, insolación etc...) ya que de no hacerlo así, por simples que parezcan los principios de funcionamiento, se ha comprobado que el diseñador puede fracasar irremisiblemente en su intento, logrando muchas veces el efecto de climatización contrario al deseado; o en el mejor de los casos, un funcionamiento deficiente.

Las características climatológicas de México y las condiciones económicas indican como solución más conveniente a problemas de climatización y aprovechamiento racional de la energía solar, mediante el uso de sistemas pasivos cuyas ventajas económicas son considerables. No obstante en muchos casos los sistemas activos pueden ser una solución económicamente factible dada su gran eficiencia; o también como fuente complementaria en el uso combinado de sistemas pasivos y activos.

BIBLIOGRAFIA

- 1        The passive solar energy book  
         Edward Mazria  
         Radale press, tmmaus P.a. (1979)
  
- 2        Tecnología y aplicaciones de la energía solar  
         J. Richard Williams Ph D  
         Librería Técnica Bellisco (1977)
  
- 3        Solar houses  
         48 Energy-saving designs  
         Louis Gropp  
         Pantheon books - New York (1978)
  
- 4        La nueva era de la energía solar  
         Halacy S. Daniel (1975)  
         Marymar Ediciones
  
- 5        Aprovechamiento de la energía solar en el  
         hábitat  
         Arq. Raúl Cacho Blott