

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE INGENIERIA



*Lej.
15*

**APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES DE LA
ENERGIA SOLAR EN LAS EDIFICACIONES**

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

ROBERTO AVENA CABRERA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO JULIO 1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-321

Al Pasante señor ROBERTO AVENA CABRERA
Presente.

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Rosendo Ortiz Piñón, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

**"APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR
EN LAS EDIFICACIONES"**

- I Introducción
- II Aprovechamiento y aplicaciones de la energía solar
- III Aplicaciones de la energía solar en edificaciones
- IV Conclusiones
- V Bibliografía

Ruego a usted se sirva tomar nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cdr. Universitario, 22 de noviembre de 1978.
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPIRITU


JJE/Quil/mdr.-

INDICE

Capítulo I. Introducción	1
Fuentes Actuales	4
Energía del Mañana	10
Datos Históricos	12
El Sol en la Mitología	13
Avances en el Aprovechamiento de la Energía Solar	16
Distribución Espectral de la Radiación Solar	21
Capítulo II. Aprovechamiento y Aplicaciones de la Energía Solar	
Evaporación Solar	27
Destiladores de Agua	28
Fotosíntesis	30
El Colector Solar	32
La Inclinación Correcta de un Colector	38
Secado Agrícola	40
Calentadores Solares de Agua	41
Estufas Solares	47
Calefacción y Clima Acondicionada	49
Aire Acondicionado Solar	50
Celdas Fotoeléctricas y Baterías Solares	53

Capítulo III. Aprovechamiento y Aplicaciones de la Energía Solar en

Edificaciones	57
Casa Solar MIT I	58
Factores en el Diseño Solar	60
La Comodidad Humana y la Energía Solar	61
Sistema de Energía Solar	64
Almacenamiento de Agua	66
Almacenamiento de Rocas	67
Almacenamiento con Pequeños Recipientes de Agua	67
Almacenamiento de Calor Latente	68
Aislamiento	69
Transporte	70
Energía Auxiliar	70
Controles	70
Condiciones Físicas y la Planeación del Sistema	71
Capítulo IV. Conclusiones	78
Bibliografía	84

I. INTRODUCCION

Ante la pregunta ¿ Durante cuanto tiempo nos suministrarán los combustibles fósiles una cantidad adecuada de calor y sobre todo energía ? los científicos han buscado otro tipo de fuentes de energía que además de durables, no contaminen el medio ambiente, creando un problema mayor al de la escasez de combustible. A raíz de la crisis de energéticos en los últimos años, se pone de manifiesto la necesidad de usar otras formas de energía que además de abundantes no sean susceptibles de ser controladas por una nación o un bloque de naciones y que puedan ser utilizadas en forma práctica. Entre las fuentes de energía que no producen contaminación ambiental se encuentra la de la energía solar (E.S.).

Hay varias razones por las cuales se considera a la energía solar como un recurso importante para cubrir las necesidades de los diferentes países, y en particular, las necesidades de los países en vías de desarrollo. Primero, la mayoría de los países en vías de desarrollo se encuentran en, o cercanas a regiones tropicales donde hay gran cantidad de energía solar. En particular el territorio de México capta uno de los más altos índices de insolación en el mundo, según afirmación del Maestro Roberto Best y Brown del Centro de Investigación de Materiales de la UNAM. Segundo, los países en vías de desarrollo no tienen, en general, reservas disponibles de recursos de energía convencionales. Tercero, la energía es uno de los requisitos críticos para satisfacer

las necesidades de los países en vías de desarrollo ya que está relacionada con la producción de viviendas, ropa, comida y producción agrícola e industrial. La mayoría de los países en vías de desarrollo se caracterizan también por climas áridos, poblaciones dispersas e inaccesibles, mano de obra fácilmente accesible y una deficiencia de capital de inversión.

Estas son algunas de las razones importantes por las cuales se considera a la energía solar como un recurso que puede satisfacer las necesidades de estos países. Gran parte de las demandas de energía son para satisfacer las necesidades de energía térmica (calor), y la E.S. es fácilmente convertida en calor. Su uso comprende efectos indeseables mínimos sobre el ambiente. Para algunas aplicaciones, el equipo necesario es tal que puede ser manufacturado en el propio país, asimismo que el uso de E.S. reduce la necesidad de importar combustibles, lo cual implica que se contribuye a lograr una independencia económica.

Como ya se mencionó, la energía es un requisito importante para el desarrollo, y si la E.S. es una solución, debe de ser capaz de contribuir a cubrir las necesidades básicas como son la calefacción, refrigeración de alimentos, alumbrado, distribución y obtención de agua potable y producción de sal.

La agricultura necesita energía capaz de bombear agua para la irrigación y para el ganado, y suficiente para secar productos agrícolas y otros como frutas, granos, forrajes, semillas de aceite, pescado, carne, tabiques, etc. Los servicios públicos requieren de energía para comunicación y transporte; para el segundo probablemente se continuará a utilizar combustible. Las necesidades de hospitales y escuelas cubren alumbrado, aire acondicionado, calentamiento

de agua, destilación y esterilización. El sector industrial requiere de energía mecánica y eléctrica, mientras que telecomunicaciones e institutos educativos necesitan energía eléctrica.

Fuentes comerciales de energía usados hoy en día consisten en carbón, petróleo, gas, hidrogenación y en forma limitada, material nuclear. En algunos países se utilizan materiales combustibles como la madera y el abono. En estos países el uso de otro tipo de fuente de energía podría salvar grandes cantidades de madera, lo cual contribuiría a controlar la erosión del suelo y la desaparición de bosques; y el abono sería utilizado como fertilizante en vez de combustible.

Fuentes Actuales

Energía Química

El descubrimiento del fuego y su uso fue uno de los primeros pasos del hombre hacia el camino de la civilización, y aun hoy en día, el fuego sirve como base de ésta. El fuego es un tipo de combustión en la cual el oxígeno se combina químicamente con el carbono y otros elementos de sustancias orgánicas para producir calor y luz. De las diversas sustancias que pueden utilizarse como combustible la madera es la menos eficiente. El carbón, petróleo, y gas son mucho más eficientes ya que representan energía que ha sido concentrada por la descomposición de materia orgánica. Estos combustibles se conocen como combustibles fósiles por razones obvias. Durante el proceso de descomposición, los compuestos menos combustibles son expulsados, concentrándose los elementos altamente combustibles como carbono, hidrógeno y oxígeno.

Cuando los combustibles orgánicos se queman, se desprenden en forma de calor grandes cantidades de energía química almacenada. Este calor puede utilizarse bien en forma directa o ser transformada, por ejemplo, en energía eléctrica.

El carbón es el producto final de la materia vegetal que se acumuló en pantanos sobre la superficie terrestre hace millones de años. El tamaño de la capa de carbón depende de la extensión del pantano original y de la cantidad de materia vegetal que se acumuló.

El carbón está siendo rápidamente reemplazado por combustibles más eficientes y fáciles de manejar, como son el petróleo y el gas. Afortunadamente, también hay una gran fuente de abastecimiento de estos combustibles, y es a ellos a los que debemos nuestro progreso industrial y alto nivel de vida.

El petróleo y el gas son restos de materia orgánica reducida por descomposición a un estado en que el carbono y el hidrógeno son los principales elementos. Estos elementos se combinan en una gran variedad de maneras para formar moléculas de sustancias conocidas como hidrocarburos. La característica que distingue a las moléculas de los diferentes hidrocarburos es el número de átomos de carbón que contienen.

Energía Geotérmica

La Energía geotérmica puede llegar a ser, a largo plazo, una fuente importante de energía con un futuro muy prometedor. La energía geotérmica es altamente evaluada no sólo por sus inmensas reservas, sino que también porque es una fuente puramente doméstica (i. e. de la nación) de energía limpia. Se han hecho varias estimaciones con respecto a la cantidad de energía geotérmica en existencia que se puede aprovechar. Si se pudiera extraer y utilizar la energía térmica de volcanes y piedras secas mediante el desarrollo de sistemas artificiales de agua caliente, se cree que esto produciría el equivalente de 100 millones de kilowatts, juzgando del ejemplo de los Estados Unidos. Probablemente los recursos geotérmicos aumentarán conforme se localizen y exploten nuevas reservas geotérmicas.

Energía Hidráulica

Energía obtenida a partir de agua (ríos, presas, lagos) es de sumo interés ya que se considera que es una fuente casi inagotable. Su principal aplicación yace en las plantas hidroeléctricas. Sin embargo, a pesar de su utilidad, la energía hidráulica que se utiliza hoy en día compone sólo el 1.8 por ciento de todas las fuentes de energía en existencia.

Energía de Mareas

Aunque la energía obtenible de mareas es inmensa, pocos se han interesado en su aplicación. El nivel de mareas a boca de ríos varía enormemente, llegando a una altura máxima de 53 pies. Hay una cantidad sorprendente de energía cinética en el efecto de mareas.

Energía Eólica

La fuerza del viento, al igual que la del agua, puede ser utilizada directamente por medios mecánicos o indirectamente, haciendo que genere electricidad. La tecnología de captación de la energía del viento se conoce desde hace varios siglos

En años recientes, al ser más urgente el perfeccionamiento de alternativas al petróleo, los ingenieros han empezado a considerar el viento no sólo como fuente directa de energía que debe aprovecharse para bombear agua y moler grano, sino también como medio de generar electricidad.

La fuerza del viento tiene desventajas. Impredecible, como los vientos mismos, demandaría el empleo de sistemas de almacenamiento de electricidad o generadores movidos por hulla, como medidas auxiliares. El empleo de la fuerza

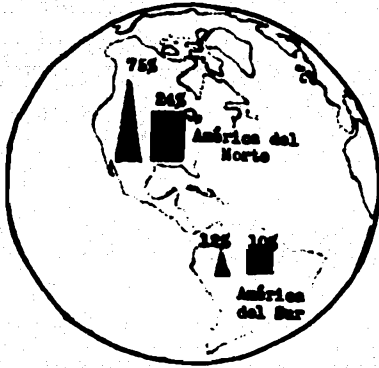
del viento resulta economicamente difícil de justificar donde las corrientes de aire son débiles.

TABLA 1.- Productos del petróleo.

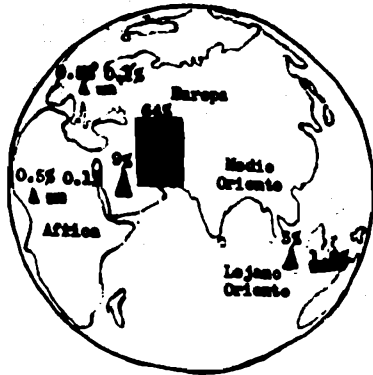
PRODUCTO	TEMPERATURAS DE EBULLECIÓN °C	NUMERO DE ATOMOS DE CARBONO EN LA MOLECULA	USOS
Gas	menos de 32	1-4	Gas combustible, negro de humo
Gasolina	38-205	4-12	Combustible para motores
Nafta	52-205	7-12	Solventes.
Kerosina*	205-355	12-15	Combustible para tractores, mo- tores diesel, calefacción, tin- ta de imprenta
Combustible	205-300	15-18	Combustible para calderas, mo- tores diesel
Aceite lubricante	más de 345	16-20	Labricación
Petrolató	más de 345	18-22	Labricación, ungüentos
Parafina	se funde 52-55	20-34	Impermeabilizantes
Asfalto	residuo		Telas, revestimiento de cami- nos, techados

* Tomado de American Society for Testing Materials.

Figura 1



Producción Mundial del
Petróleo



% de reservas



% de producción

Energía del Mañana

La energía nuclear será indudablemente nuestra fuente de energía del futuro. El carbón, el petróleo y el gas nos proporcionan solamente la energía química almacenada en los electrones de sus átomos; los combustibles atómicos liberan energía mucho mayor que se encuentra aprisionada en los núcleos atómicos. Ya que la masa y la energía son intercambiables, el núcleo de un átomo que contiene 99.95% de su masa, encierra casi la totalidad de la energía. Así si los núcleos atómicos pudieran reaccionar uno con otro de tal manera que liberaran su fuente de energía interna, la energía producida sería de un millón de veces más grande que la liberada por reacciones químicas ordinarias.

Hasta ahora, sin embargo, la gran cantidad de energía nuclear que se ha logrado liberar proviene de los átomos de unos cuantos elementos radiactivos. Uno de estos es el uranio, elemento naturalmente inestable. En 1939 Hahn y Strassman descubrieron que cuando el isótopo Uranio 235 captura un neutrón, su núcleo se vuelve inestable y se fisiona. Se producen dos elementos cuyos protones suman los 92 del Uranio, pero la suma de sus números de masa es menor. Se ve claramente que se han perdido neutrones, los cuales se llevaron grandes cantidades de energía. Cuando se inicia este proceso en una pila de uranio, los neutrones que escapan de un átomo chocan contra los núcleos de otros átomos y producen una reacción en forma tal que la energía liberada puede utilizarse para fines constructivos. La energía nuclear impulsa actualmente submarinos y produce energía eléctrica, y en un futuro no muy lejano se utilizará para propulsar aviones.

El Uranio se forma por actividad ígnea y aparece en rocas de este tipo. El principal mineral de Uranio es la uraninita, un óxido complejo, a veces llamado "pechblenda". Otro óxido complejo con menor cantidad de Uranio es el mineral amarillo suave, llamado cornotita que se encuentra en la meseta del Colorado.

El abastecimiento de Uranio 235 es bastante limitado. Se considera que el Uranio 238 es 140 veces más abundante, pero no puede utilizarse directamente como combustible atómico. Actualmente están en desarrollo procesos para utilizar el Uranio en cualquier forma y se ha anunciado la posibilidad de generar un combustible atómico a partir del Uranio 238.

Las reservas de Uranio, expresadas en toneladas no son grandes, pero medidas en términos de energía potencial, probablemente iguallen las reservas de carbón, petróleo y gas combinadas.

La energía nuclear producida por la fusión de núcleos atómicos ligeros para producir grandes cantidades de energía aún no se logra para usos prácticos porque la reacción requiere temperaturas de millones de grados y debe contenerse y controlarse para que realice un trabajo útil. Teóricamente es menos peligrosa y más abundante que la fisión, pero su logro práctico está, en el mejor de los casos, en un futuro muy distante.

Datos Históricos

Hace aproximadamente 3000 años ya existía la utilización tecnológica de la energía solar; mediante evaporación al aire libre se lograba la producción de sal por medio de la evaporación solar del agua del mar. Estos primeros campos en los cuales se practicaba la evaporación solar fueron hechos por los Fenicios y se encontraban en la región de la actual Ciudad de Cádiz.

Esta técnica no se limita al viejo mundo ya que existen diversos lugares en la costa del Perú cuyas denominaciones indias contienen la raíz "cachi" que significa "sal" en lengua Quechua. En estos lugares existen pozos de evaporación de agua de mar mediante calor solar para la producción de sal. Posterior a la Conquista, se encontraron lugares al norte de Lima y en Chile donde se obtenía la sal por la técnica de evaporación solar del agua de mar.

El Sol En la Mitología

En la mitología del mundo antiguo, el Sol era considerado como el Dios de la vida. En Egipto el Sol (el dios Ra) era el señor supremo de la Tierra y cada faraón era considerado como hijo divino del Sol y era venerado como tal. Numerosas festividades en el antiguo Egipto tenían sus orígenes en el Sol.

En la mitología Indu, el Sol se llamaba Surta y se revela en el Rig - Veda con otros nombres tal como Savitr (quien da y sostiene la vida, quien despierta al hombre y al universo cada mañana). El culto a Mithra, de los persas, fue esparcido en India en un tiempo muy prematuro. Pusan o Pushan era el dios celestial esférico que protegía caminos y ganados y guiaba la flama sagrada por la región de la muerte. Con los no-Arios de la India, el culto al Sol era más difundido entre los Indus. Los Dravidianos y Kolarianos llamaban al Sol "Parameswar", que quería decir creador y preservador.

En Grecia, el dios sol tenía dos nombres: Helios y Apollo. Platón nos habla del "peregrinaje del sol". En la Grecia antigua el culto al sol solía significar el poder físico del fuego, y el disco solar mismo.

Helios aparece en la mitología greiga en el papel doble de hombre y Dios. Como hombre es un tipo hermoso. Homero nos relata como le roba ganado a Zeus (Odisea XII). Es un símbolo de brillantez y calor, de vitalidad y fertilidad; el calor es la fuente de su fuerza. A diferencia de los otros Dioses que destruyen hombres con sus relampagos y truenos, Helios envía vida a la tierra en forma de rayos luminosos. Sofocles lo llama "Panderkes" en su obra Oedipus Rex y se refiere a el como el Dios de la fertilidad.

Todos los rayos de Helios tienen el poder divino de restaurar o destruir la vista porque Helios ve todo, el es el juez y jurado de todos los hombres, sentado a la diestra de Zeus el padre. El es singularmente inmortal. Helios es identificado como uno de los dioses más importantes en la historia Griega.

En el mundo antiguo Rhodas era llamado la "Isla del Sol". Los restos de los templos dedicados al sol aun están de pie hoy día. La festividad anual del sol, conocida como halieia, atraía miles de sacrificios, juegos y procesiones. Parte de una ceremonia era conducir una carroza de cuatro corceles al mar. Corinto también rendía culto al sol, siendo la ciudadela de la ciudad dedicada a Helios. La mitología cuenta que Helios ganó este honor como victoria de una pelea con Poseidón, Dios del Mar, pero luego lo cedió a Aphrodita, quen lo compartió con amphititra.

Durante el Imperio Romano los Corintos aun adoraban a Helios; Una estatua de Helios adornaba el Templo de Aphrodita. En el Peloponeso se han encontrado templos al Sol en lugares tales como Elis, Trezene y Megalopolis.

Los historiadores seguran que las tribus pre-Romanas Italianas adoraban al Sol. El Emperador Augustus, despues de conquistar Egipto, trajo dos obeliscos de Heliopolis y las instaló en Roma, consagrándolas al Sol. Jupiter (el Zeus de los Griegos) era conocido no sólo como Jupiter Enernos, sino también como Jupiter Sol (el Dios Sol).

En Japón se encuentra en la mitología que el Sol es un dios, aun de mayor categoría que la diosa Luna.

Vemos con estos ejemplos que desde el principio de la humanidad se ha adorado al Sol. Es curioso que nadie haya visto en el Sol una fuente potencial de energía. Una excepción a ésto eran los experimentos del matemático y físico Arquímedes.

Se cuenta que en 212 A.C. Arquímedes defendió Siracusa incinerando la flota Romana mediante un espejo que dirigió los rayos solares, reduciendo los barcos a cenizas. Así mismo, Plutarco reporta que en el tiempo de Nurna Pompilius (~14 - 671 A.C.) se encendía la flama sagrada por medio de recipientes metálicos de forma cónica que colectaban y enfocaban los rayos solares.

Sin embargo, tuvieron que pasar más de 1800 años después de la época de Arquímedes antes de que las actitudes del hombre hacia el Sol dejaran de ser de magia y de superstición y prevaleciera un enfoque científico.

Avances en el Aprovechamiento de la Energía Solar

Las maravillosas invenciones del Renacimiento, una época de resurgimiento artístico y científico en Europa que duró desde el Siglo XIV hasta el XVII D. C., incluyeron muchos dispositivos solares. Sin embargo, los dispositivos solares del Renacimiento generalmente eran aparatos con muy limitada aplicación práctica. Su gran utilidad fué el permitir la adquisición de conocimientos y experiencia sobre el aprovechamiento de la energía solar.

Los grandes avances en la aplicación práctica de la E. S. ocurrieron a fines del Siglo XVIII. Para ésta época estaban en uso en toda Europa y Medio Oriente hornos solares capaces de fundir hierro, cobre y otros metales. Estos se construían con hierro pulido, lentes de vidrio y espejos.

Enumeremos algunos de los inventos y avances más sobresalientes de estas épocas.

Atanasius Kircher (1601-1680) logró prender fuego a un montón de leña desde una distancia utilizando una superficie reflectora. Averani y Targioni ampliaron el campo de la energía solar tratando de derretir un diamante con un espejo.

El matemático alemán Ehrenfried Walter von Tschirnhaus (1651-1708) logró la fundición de cerámica con grandes lentes recolectoras de energía solar que él mismo diseñó y construyó. Estas lentes eran de aproximadamente 70 cms. de diámetro. En 1699 el Duque de Orleans trajo uno de estas lentes y lo utilizó para fundir oro y plata. Después Geoffroy continuó fundiendo hierro, cobre, latón y mercurio mediante el mismo método.

George Louis Leclerc Buffon (1707-1788) quien en 1748 construyó un instrumento solar que contenía 360 espejos planos, prendió fuego a un montón de madera en los jardines royales a una distancia de 200 pies. Con su aparato era capaz de fundir plomo a una distancia de 100 pies y plata a una distancia de 59 pies.

Claud Poulley estimó que la energía solar utilizable por yarda cuadrada de la superficie terrestre entre el ecuador y aproximadamente 43° Norte-Sur era de 1/6 unidad termal/segundo que corresponde aproximadamente a 1 HP.

Nicolás de Saussur (1740-1799), el conocido Suizo naturalista, construyó el primer horno solar que alcanzaba una temperatura de 191 ° F y podía aumentar hasta 230 o 320 ° F dependiendo como se enfocara al sol.

El astrónomo francés Jacques Cassini construyó un espejo de 37 pies de Diámetro, llamado el espejo Real, el cual fué presentado a Luis XV en 1747.

Se obtenían temperaturas hasta de 1000 ° C. Cassini derritió hierro en 2 segundos y calentaba la plata hasta formar filamentos al caer en agua fría.

Sir Henry Bessener (1813-1898) construyó una estufa solar en 1868. Medía 10 pies de diámetro y hecha de cientos de segmentos reflectores, logró fundir cobre y zinc.

Stock y Heynemann en Alemania enfocaron los rayos solares dentro de un recipiente altamente evacuado. Adentro de éste había un contenedor hecho de magnesio. Utilizaban lentes cóncavos con un diámetro de 30 pulgadas y distancia focal de 20 pulgadas para fundir silicón, cobre, etc.

John Frederick Herschel viajó a África, donde construyó un horno solar de caoba, el cual aislaba y enterraba en la arena, dejando la parte superior expuesta. De esta manera Herschel cocinaba carne y vegetales, logrando temperaturas de hasta 240 ° F. El científico americano y aeronauta Samuel Pierpont Langley también concentró su atención en hornos solares (1884), probando un diseño propio en una expedición a Mount Whitney en California. Aun con nieve, el horno solar era capaz de cocinar comida a grandes altitudes; La pérdida de calor debida a una temperatura menor del aire es compensada por la mayor intensidad de la radiación solar a estas altitudes.

August Mouchot (1825-1911) profesor de física en Tours, prefería el sistema de reflexión a la de "caja de calor" o horno; Mouchot empezó a experimentar con reflectores en 1860. En una ocasión intentó cocer carne con los rayos directos, pero este método resultó tan tardado que la putrefacción de la carne ocurrió primero. Mas tarde, junto con Abel Pifre, hizo un reflector metálico en forma de cono truncado con tubos de vidrio colocados en el punto focal y conectado a un

boiler convencional. Lo pusieron a trabajar en 1882 con una máquina de vapor que hacía funcionar una imprenta en el Jardín de la Tullerías en París. Mas tarde Mouchot escribió un libro llamado "Le Chaleur Solaire et ses Applications Industrielles" ("El Calor Solar y sus Aplicaciones Industriales"), editado en 1879 en París.

Antoine Lavoisier (1743-1794) fundador de la química moderna, hizo importantes contribuciones a la utilización de la energía solar. Con la ayuda de los sopladores de vidrio de St. Gobain, Lavoisier obtuvo un doble lente cóncavo midiendo 51 pulgadas de diámetro con una distancia focal de 10.5 pies. Llenándolo con alcohol para aumentar la potencia refractora y enfocando los rayos solares, obtuvo temperaturas capaces hasta de fundir el platino, el cual se funde a los 1755 °C.

En 1901 A.G. Eneas instaló un colector con un diámetro de 33 pies que concentraba la radiación solar en el punto focal, lugar en donde se colocaba un boiler. El agua dentro del boiler se calentaba produciendo vapor, el cual hacía funcionar un motor convencional y una bomba.

Una variación a los colectores parabólicos fue el uso, a fines de los años 1800, de colectores planos. El colector plano no enfoca los rayos del sol en un punto sino que acumula la energía solar a lo largo de una superficie horizontal. Estos colectores tenían la ventaja de ser más baratos y de construcción y operación más sencillas. Además pueden funcionar aún en condiciones de cielo nublado.

Frank Schuman en 1907 utilizó un colector plano de 1200 pies cuadrados de área para calentar agua que se utilizaba para evaporizar éter. El éter hacía funcionar una máquina de vapor, la cual se usaba para bombear agua.

Desde principios del Siglo XIX se desarrollaron numerosos motores de aire caliente. La máquina de Stirling, aunque no desarrollada para trabajar con energía solar, fué adaptada para ello. Durante los siguientes cien años se construyeron motores solares que hacían trabajar todo desde imprentas y luces eléctricas hasta aparatos de destilación. Sin embargo, a pesar de que los dispositivos desarrollados para el aprovechamiento de la E.S. eran cada día más sofisticados y confiables, ninguno pudo sobrevivir la competencia con los motores que utilizaban combustibles fósiles. Aunque la energía solar era gratuita, la inversión inicial para la construcción de los colectores resultaba más cara que la necesaria para la instalación y funcionamiento de motores convencionales. Por lo tanto, se abandonaron las máquinas solares. Esta situación hoy día está cambiando debido a la crisis de energéticos a la que nos estamos enfrentando.

Distribución Espectral de la Radiación Solar

La luz es sólo una de las formas de energía electromagnética, llamada así debido a que la energía es transportada mediante ondas eléctricas y magnéticas a través del vacío. Las diferentes formas de energía electromagnética difieren en sus longitudes de onda, y se les da nombres distintos como: radiación X, radiación gamma, ultravioleta, luz visible, infrarrojo y radio.

La mayoría de las características de la radiación electromagnética se pueden describir adecuadamente mediante la representación de propagación de energía por ondas. Esta representación permite describir muchas de las propiedades de la luz, incluyendo principios de la óptica.

La radiación electromagnética viaja a través del espacio vacío en línea recta, aunque puede sufrir alteraciones en su dirección de propagación al pasar por, o cerca de materia mediante reflexión, refracción, ó difracción.

Una propiedad importante de la propagación de energía electromagnética es la ley del cuadrado inverso:

$$\frac{1}{l'} = \left(\frac{D'}{D}\right)^2$$

donde l, l' son luminosidades y D, D' son distancias; es decir, la cantidad de energía que incide por unidad de área decrece proporcionalmente al inverso del cuadrado de la distancia. La velocidad de propagación en el vacío es de 299,793 km/s para todas las longitudes de onda.

Las diferentes formas de energía electromagnética se detectan de maneras distintas. Las ondas de radio, que tienen longitudes de onda hasta de kilómetros pueden ser captadas mediante las corrientes eléctricas que inducen en antenas. La radiación infrarroja ($\lambda < 1$ mm) se puede detectar con termopares, celdas de sulfuro de plomo y algunos bulbos de gas. Radiación infrarroja con $\lambda < 1/1000$ cm puede ser fotografiada con emulsiones especiales. Un detector infrarrojo sencillo es un recipiente de agua. Conforme el agua absorbe la radiación, su temperatura aumenta y puede ser medida con un termómetro.

La luz visible es radiación electromagnética con longitudes de onda entre 4000 y 7000 Angstroms (1 Angstrom = 10^{-8} cm). El color de la luz queda determinado por la longitud de onda exacta de la radiación. Por ejemplo, la radiación con longitud de onda entre 4000 y 4500 Å da la impresión a la retina del ojo de color violeta mientras que las longitudes de onda mayores dan la impresión de azul, verde, amarillo, anaranjado y finalmente (~ 7000 Å) rojo. Una combinación de todos los colores crean la impresión del color blanco.

Las longitudes de onda demasiado cortas para ser visibles por el ojo humano son la ultravioleta, rayos X y rayos Gamma. La radiación UV y X puede ser detectada mediante métodos fotográficos y los rayos Gamma con detectores especiales.

Al conjunto de la radiación, desde ondas de radio hasta rayos Gamma, se le llama espectro electromagnético.

Cuando un cuerpo intercepta radiación electromagnética, generalmente refleja una parte, transmite otra parte, y absorbe la restante. Con la excepción de objetos transparentes, la radiación transmitida es despreciable. La energía asociada con la radiación absorbida calienta al cuerpo hasta que éste comienza a radiar la energía. Un cuerpo expuesto al flujo constante de radiación alcanzará eventualmente un equilibrio en el cual el flujo de energía reradiada por el cuerpo es igual al flujo de energía que absorbe.

La calidad y cantidad de radiación reflejada depende de las propiedades absorbentes del material. Si, por ejemplo, un objeto absorbe radiación de longitudes de onda cortas, la radiación reflejada será predominantemente de longitudes de onda largas y aparecerá del color rojo.

El hecho de que un objeto es capaz de absorber radiación electromagnética y calentarse implica que aumenta su temperatura. De interés especial es el llamado cuerpo negro, ó radiador perfecto, el cual es un cuerpo idealizado que absorbe toda la radiación que incide sobre él, y la reradía sobre todas las longitudes de onda. Su temperatura depende sólo del total de energía radiante que incide sobre él cada segundo y la cantidad de energía que reradía puede ser predecida mediante las leyes de radiación, en particular, por la ley de Planck. La Ley de Planck nos da la distribución espectral de la energía reradiada por un cuerpo que se encuentra a una temperatura T:

$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

donde h es la constante de Planck, k es la constante de Stephan-Boltzmann, c es la velocidad de la luz y λ es la longitud de onda.

El Sol, como la mayoría de las estrellas, es una buena aproximación a un cuerpo negro ya que está compuesto de gases muy calientes y muy opacos; es decir, el material estelar absorbe la radiación con gran eficiencia. En el interior del Sol, donde las temperaturas son de millones de grados, se llevan a cabo reacciones termonucleares que producen su energía. Esta energía se va filtrando lentamente hacia afuera mediante procesos convectivos y radiativos, hasta llegar a una región donde la densidad y opacidad de los gases han disminuido tanto que puede escapar en la forma de radiación hacia el espacio. Esta radiación es la que se observa, y emana de una región comparativamente delgada (de un espesor de aproximadamente 200 millas) llamada fotosfera. Por lo tanto, se puede conocer con gran precisión esta temperatura "efectiva" del Sol.

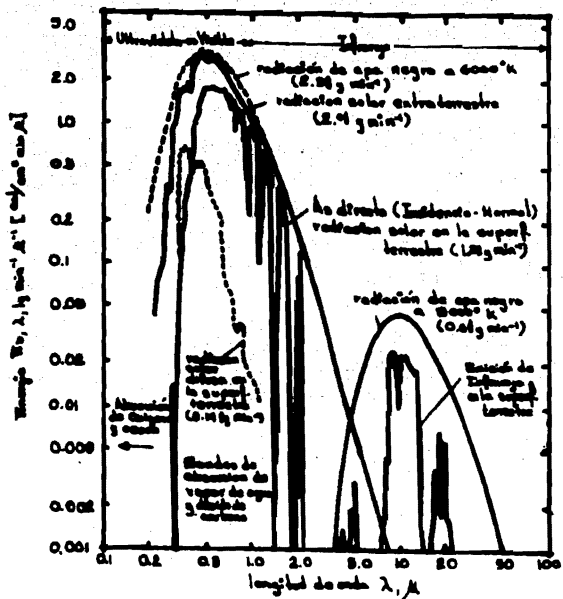
El Sol emite una energía de 3.8×10^{33} ergs cada segundo ($= 5 \times 10^{23}$ HP). Parte de esta energía radiada llega a la Tierra. La eccentricidad de la órbita terrestre es tal que la distancia entre el Sol y la Tierra varía en un 3% en el transcurso del año. Ya que el flujo de energía depende del inverso del cuadrado de la distancia, entonces el flujo de energía solar que llega a la Tierra también varía. Se define la constante solar como la cantidad de energía proveniente del Sol que incide perpendicularmente sobre una unidad de superficie por unidad de tiempo a la distancia media entre el Sol y la Tierra. Hasta hace poco, estimaciones

de la constante solar se efectuaban a partir de observaciones hechas desde bases en la tierra; es decir, después de que la radiación solar haya sido transmitida a través de la atmósfera y por lo tanto, en parte dispersada y absorbida. Las extrapolaciones hechas sobre las mediciones (llevadas a cabo en montañas muy altas) se basan en estimaciones de la transmisión atmosférica en varias porciones del espectro solar.

Recientemente se ha contado con globos y con laboratorios espaciales, los cuales han permitido la medición directa de la constante solar afuera de la atmósfera terrestre. El valor obtenido ha sido el de 1.36×10^6 ergs/seg cm^2 .

Consideremos ahora los factores que afectan la intensidad de la radiación que llega a la superficie de la tierra, es decir, la atenuación atmosférica y la orientación de la superficie receptora de la radiación. La radiación de longitud de onda pequeña como los rayos X es absorbida muy alto en la atmósfera por nitrógeno, oxígeno y otras componentes atmosféricas. La mayor parte de la radiación ultravioleta es absorbida por el ozono. A longitudes de ondas más largas que 2.5×10^{-6} m (2.5 micrometros) hay fuerte absorción debida a CO_2 y H_2O y muy poca energía de estas longitudes de onda llega a la tierra. Por lo tanto, desde un punto de vista de aplicación terrestre de la energía solar, solamente la radiación de longitudes de onda entre 0.29 y 2.5 micrometros debe ser considerada.

Aun la radiación solar transmitida a través de la atmósfera sufre variaciones debidas a la absorción y dispersión. La dispersión resulta en una atenuación de la radiación de λ_z (radiación que no ha sufrido cambios en su dirección de propagación). Esta dispersión es debida a moléculas de aire, agua, vapor y polvo.



Espectro electromagnético de radiación solar y terrestre

Fig. 2

La radiación solar recibida después de que su dirección haya sido cambiada mediante la reflexión y la dispersión en la atmósfera es llamada radiación difusa. Siempre hay radiación difusa, aun cuando el cielo se encuentra muy despejado. Por otro lado, en periodos de nubes muy densas toda la radiación que nos llega es difusa, ya que las partículas de agua y sólidos dentro de ellas dispersan la radiación.

Por lo tanto, la radiación que finalmente llega a la superficie terrestre, llamada insolación, llega como radiación directa o difusa. La radiación solar que incide sobre un edificio incluye no sólo rayos directos y difusos, sino también radiación reflejada de otros edificios ó superficies como el suelo.

La insolación en un punto particular de la tierra se ve afectada por varios factores. El ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre varía debido a la curvatura de la Tierra y la inclinación de su eje. Esta radiación también es afectada por las condiciones de la atmósfera; es decir, su pureza y contenido de vapor, polvo, y humo. Por otro lado, mientras menor sea el ángulo de la altitud solar mayor es el camino a través del cual tiene que pasar la radiación. Por lo tanto, se reduce la cantidad de radiación que llega a la superficie.

Otro factor importante es la duración del periodo diurno, el cual depende de la época del año. Cada área de la Tierra se verá afectada en forma distinta por estos factores.

II. - APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

La utilización práctica de la E.S. hoy día cubre un campo enorme de aplicaciones, desde pequeños relojes hasta hornos metalúrgicos y desde satélites espaciales transmisores hasta plantas destiladoras y desalinadoras de agua de mar. En alguna parte de estas escalas de utilidad están las casas solares, calentadores, estufas, bombas y generadores de potencia eléctrica solares. En este capítulo trataré de cubrir un número representativo de estos dispositivos clásicos que tendrán muchas promesas para el futuro.

Evaporación Solar

La evaporación solar ha sido un método histórico y tradicional de obtener sal apartir de agua de mar o salmuera. Hoy en día sigue siendo un método importante para muchas naciones. El concepto básico es sencillo: En áreas donde la evaporación excede la lluvia, se expone un estanque de solución salina a la intemperie, resultando la evaporación del agua y finalmente la cristalización de la sal.

La evaporación solar se usa en muchos países en vías de desarrollo, tales como India, Pakistan, México, Colombia y Chile. Es también un proceso de importancia industrial en los Estados Unidos. Los desarrollos modernos se han limitado a mejorar la construcción de los estanques y las técnicas de colecta.

Aparentemente no queda mucha investigación por hacerse en lo que respecta a procesos tradicionales de evaporación solar. Sin embargo, se ha hecho la sugerencia de que mediante el estudio detallado de los estanques solares se pueda mejorar la producción de sal y de los subproductos como potencia y agua destilada.

Destiladores de Agua

Un destilador de agua consiste esencialmente de un recipiente de poco fondo en donde se deposita el agua salubre cubierto por un techo transparente. Todas las uniones entre recipiente y cubierta deberán estar perfectamente selladas para evitar pérdidas de calor por fugas de vapor de agua o aire.

La cubierta debe tener una altura e inclinación tales que permitan la condensación del vapor de agua (sobre su cara interna) y que ésta escurra hacia los drenes de salida donde será recogida. La cubierta podrá ser de plástico o de vidrio (los arreglos más comunes se muestran en la Figura 3).

En la Figura 4 se muestran los principales intercambios de energía que tienen lugar en un destilador. La fracción de la radiación solar que atraviesa la cubierta y es absorbida por el fondo proporciona la energía para calentar y evaporar el agua; cuando ésta alcanza una temperatura de 11 a 16 ° C por encima de la temperatura ambiente, se establece un flujo estable de vapor. Este se condensa al llegar a la cubierta disipándose el calor de condensación hacia la atmósfera por radiación y convección.

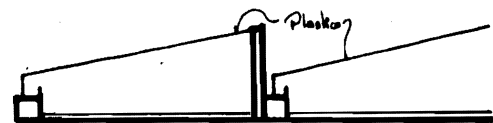
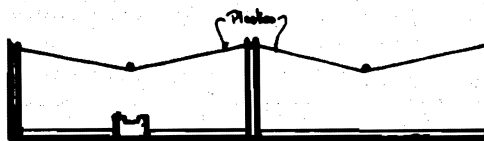
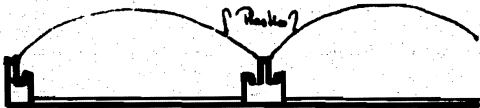
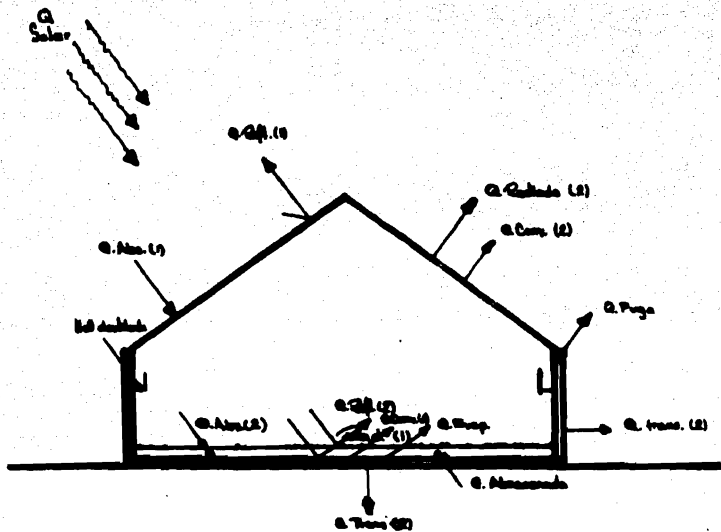


Fig. 3



Solar - 100 %	Radiação (1)	10 %
Reflejada (1) - 10 %	Convertida (1)	9 %
Absorbida (1) - 5 %	Transformada (2)	10 %
Reflejada (2) - 5 %	Fuga (1)	5 %
Evaporação - 40 %	outras	5 %

Fig. 4

Se logra mayor eficiencia manteniendo estable el nivel del agua dentro del destilador, lo cual puede lograrse mediante una válvula o flotador.

Un destilador bien diseñado y adecuadamente construido puede producir hasta 3.8 litros de agua al día por metro cuadrado de superficie expuesta. Si se destina el agua destilada a la alimentación, deberá ser tratada de manera tal que se evite el crecimiento de algas o limo en el recipiente del destilador. Por lo tanto, éste deberá ser aseado periódicamente evitando además el depósito de sales minerales que bajan notablemente la eficiencia del aparato. Si se pudiera usar convenientemente el agua obtenida para riego agrícola se podrían volver económicamente productivas algunas zonas del país.

La cantidad de agua que se obtiene depende en gran parte de la temperatura entre su superficie y la cubierta; esta diferencia es afectada principalmente por la intensidad de la radiación y en menor grado por las características del diseño, temperatura ambiente y velocidad del viento.

En un destilador típico, la productividad aumenta exponencialmente con la intensidad de la radiación recibida. Así mismo, la productividad aumenta en un 5% por cada 5.5°C que aumenta la temperatura. La velocidad del viento influye en forma adversa a la productividad del destilador aun cuando sea ligeramente.

Para aprovechar al máximo la instalación de un destilador, la cubierta deberá permitir la captación de agua de lluvia, cuya cantidad dependerá solamente de las condiciones locales.

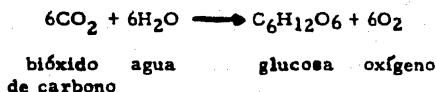
Otro factor importante en el rendimiento es que a menor profundidad del recipiente se tiene mayor producción de agua destilada.

Los recipientes que mejor resultado han producido son los de acero inoxidable aislados térmicamente. Las cubiertas más eficientes han resultado ser las de vidrio, pero si es difícil conseguir el vidrio o transportarlo, puede usarse plástico, aunque su duración es bastante menor.

Un destilador de 20m X 20 m puede satisfacer las necesidades de un hotel pequeño que estuviera ubicado, por ejemplo, en Baja California.

Fotosíntesis

Se ha dicho que de todos los procesos que se llevan a cabo en la Tierra (erosión, movimientos de masas de aire, etc.) la fotosíntesis es la más importante ya que ésta provee a todos los seres vivientes de alimentación. La reacción que se lleva a cabo es



La energía que provoca esta reacción es la E.S. La tasa de fotosíntesis aumenta en proporción directa a la intensidad de la luz solar. Se lleva a cabo en días nublados y aun con luz artificial adecuada. La temperatura ambiente también es importante ya que gran parte de la fotosíntesis en zonas templadas ocurre en el rango de 50 a 90 ° F.

Bastante se ha progresado en el entendimiento del proceso químico y el mecanismo mediante el cual los organismos vivos producen nuestra comida y combustibles. Por ejemplo, por iniciativa de la Universidad de Arizona y en colaboración con la Universidad de Sonora, hace 20 años en el desierto se instalaron las primeras carpas plásticas experimentales para cultivo de frutas y verduras

en un ambiente térmicamente controlado, manteniendo la temperatura mas favorable mediante la evaporación de agua de mar y dosificando la entrada de gas de anhídrido carbónico de acuerdo con su consumo, obteniéndose resultados muy satisfactorios. Tanto es así que se ha aplicado dicho método en regiones de Arabia y Chile. En este último se han realizado investigaciones para encontrar la solución más económica para el circuito de evaporación y condensación. Para esto, se adaptó la forma de la carpa, combinándola con la destilación solar de agua salubre del desierto y una poza solar para acumular calor durante varios días calurosos para utilizarlo en las noches frias. Los resultados obtenidos con siembra de pepinos y tomates fueron buenos, por lo que se proyecta ampliarlas, con ambiente controlado, para cultivo de diferentes tipos de frutas y verduras.

Por otro lado, la duplicación por parte del hombre de la fotosíntesis es ahora una posibilidad, sin embargo, falta mucho por hacerse antes de que el hombre pueda manufacturar alimentos a partir de sustancias químicas. En caso de que esta conversión fuera posible a grandes escalas, la dependencia del hombre en plantas como proveedoras de alimentos se minimizaría.

El Colector Solar

La parte fundamental de cualquier sistema de calentamiento o enfriamiento solar es el colector solar. Tomado en su forma más primitiva, cualquier cuarto cerrado con ventanas cerradas que miren hacia el Sur en un día caliente y brillante es un colector directo de energía solar. La radiación solar entra a través del vidrio y calienta a los objetos en el cuarto, que a su vez calientan el aire mediante la conducción de energía.

Un colector sencillo es similar a un cuarto cerrado con exposición al Sur. Debido a que el colector tiene que estar en la posición tal que pueda absorber la máxima cantidad de energía solar, normalmente se coloca en el techo de una edificación o en la pared que mira al Sur, donde los rayos solares inciden al ángulo máximo.

Cuando se expone un objeto a la radiación solar, su temperatura aumenta hasta alcanzar la de los objetos cercanos. El aire circundante (más frío) provocará una pérdida de energía del objeto mediante radiación. Así mismo, el calor también es transferido por conducción a los materiales que estén en contacto con el objeto. Las ganancias en temperatura dependen de la intensidad de la radiación solar y la capacidad del objeto en cuestión para absorber energía. También depende de la cantidad de calor perdido por el objeto después de haber absorbido la radiación solar.

Si el objeto que está siendo calentado se encuentra encerrado en una trampa de aire de algún tipo, la radiación proveniente del objeto calienta al aire. Si la

trampa de aire está formada de una caja de vidrio, por ejemplo, el objeto y el aire continuarán a calentarse dentro de la trampa. Conforme un objeto aumenta su temperatura su potencial como radiador se incrementa. Cuando sobrepasa los 100 ° C, la radiación es máxima en las longitudes de onda de 8 a 10 micrometros (i. e., en la región del infrarojo). La energía a estas longitudes de onda pasa a través de materiales transparentes como el vidrio, pero si hay dos superficies, esta transmisión se ve muy disminuida. La radiación solar de longitudes de onda menores a 2.5 micrometros pasa por cualquier número de superficies de vidrio.

Es debido a esta propiedad de la radiación que la mayoría de los colectores emplean el mismo diseño general y las mismas componentes.

Hay dos tipos de colectores solares distintos: uno que consiste de una superficie receptora cubierta de capas de vidrio o plástico y otro compuesto de espejos o lentes que enfocan la radiación solar en un área pequeña para obtener calor más intenso. El tipo de colector que se debe emplear depende principalmente de la aplicación que se le quiera dar. Colectores térmicos (i. e., del primer tipo mencionado arriba) llamados de "placa plana" se utilizan para calentar agua y edificios, pero son capaces de elevar la temperatura del medio a tan solo 150 ° F por arriba de la del ambiente. Si se requieren temperaturas mayores, es necesario concentrar la radiación solar sobre la superficie colectora. Si se pretende la producción de potencia eléctrica, se deben usar celdas fotovoltaicas que convierten la energía solar directamente en electricidad, con o sin el empleo de dispositivos que concentren la radiación. Tanto consideraciones técnicas como económicas

se deben tomar en cuenta al decidir que tipo de colector se debe emplear para cada aplicación específica.

Collectores Planos: La Figura 5a muestra las componentes básicas de un colector plano. Una placa negra se cubre por una o más placas transparentes de vidrio o de plástico, y los costados y el fondo de la caja se aíslan. La radiación solar es entonces transmitida a través de las tapas transparentes y absorbida por la superficie negra. Las tapas transparentes tienden a ser opacas a la radiación infrarroja proveniente de la placa negra y también retardan la transferencia convectiva de calor. De esta manera, la placa negra se calienta y a su vez, calienta al fluido que pase por abajo, por encima o por en medio de ella. El líquido más comúnmente empleado es el agua ya que normalmente las temperaturas alcanzadas son menores a la de la ebullición de agua.

La caja donde se coloca la placa absorbente puede ser de madera, fibra de vidrio u otros materiales rígidos y de larga duración. Dicho recipiente puede tener, en modelos elaborados, una tubería, preferentemente de plástico, situada directamente abajo de la placa absorbente y por la cual se hará circular el fluido.

El colector puede colocarse horizontalmente inclinado o en posición vertical, lo que hará variar la cantidad de calor colectado. La orientación dependerá del tamaño y peso, latitud, estación del año, las condiciones arquitectónicas y el uso destinado al colector.

Se puede aumentar la eficiencia de un colector aplicando una capa selectiva. Estas capas absorben fuertemente la radiación incidente pero retardan la re-radiación, ya que son de materiales con propiedades selectivas ante la radiación.

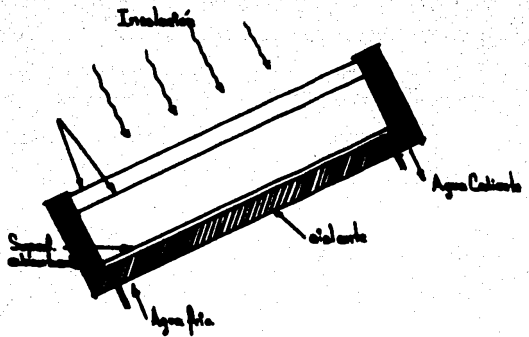


Fig. 5-A

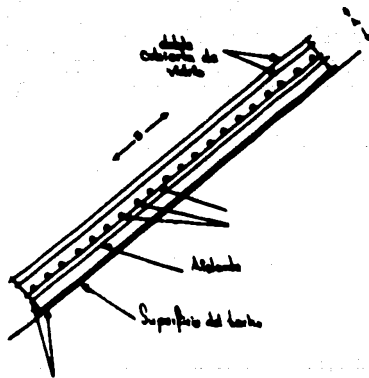
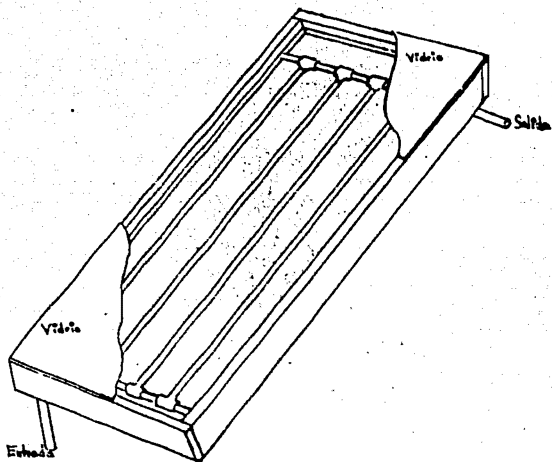


Fig. 5-B



Colector típico de plato plano

Fig. 5-C

Es necesario que las capas selectivas sean de fácil acceso y aplicación, bajo costo, y durabilidad ante la acción de la radiación solar. Se puede producir una de estas capas con la oxidación de una superficie de cobre, lo cual deja un residuo de óxido de cobre negro. Otra sustancia que tiene propiedades selectivas de absorción y radiación es el níquel negro electrodepositado. Ambas de estas sustancias, cuando aplicadas correctamente, absorben fuertemente la radiación visible y tienen una baja capacidad de emisión en el infrarrojo.

Una forma de perder energía es mediante la reflexión de radiación por una interfase aire-vidrio en el colector. La fracción de radiación reflejada por una de estas interfaces, para radiación incidente a 90° respecto a la superficie está dada por :

$$\frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{n - 1}{n + 1} \right)^2$$

donde n es el índice de refracción del vidrio

I_r es la intensidad de la radiación reflejada, y

I_i es la intensidad de la radiación incidente.

Un adelanto en la tecnología de colectores planos ha sido el desarrollo de placas colectoras con tubos integrados (i. e., internos). Esto permite la manufactura en masa de placas colectoras con tubería integrada, y por lo tanto, elimina el proceso laborioso de soldar tubos a una placa plana. Las características de transferencia de calor para este tipo de colector plano también son superiores. Un ejemplo de la placa colectoras plana con tubos internos es la que se encuentra en la Figura 5b .

Concentradores Solares : Para producir temperaturas en exceso de 300 ° F para la generación de potencia eléctrica, secado industrial y agrícola, y otras aplicaciones que requieran de temperaturas elevadas, se pueden utilizar concentradores solares.

Un método para concentrar los rayos solares es mediante el uso de lentes. Una pequeña lupa es capaz de concentrar suficiente radiación para calentar y quemar papel o madera. Sin embargo, es difícil construir una lente muy grande para concentrar grandes cantidades de radiación. Por lo tanto, la mayoría de los concentradores solares emplean sistemas reflejantes.

Para una alta concentración de radiación, la forma ideal para un espejo es la parabólica. Sin embargo, no basta con tener un concentrador parabólico, sino también es necesario tener un guiado en el sistema para así mantener el reflector apuntado en la dirección del Sol. También, todo el intercambio de calor se tiene que llevar a cabo en el foco de la parábola.

La parábola ideal concentrará la mayoría de la radiación solar que le llega en una región cuyo diámetro es igual al diámetro angular aparente del Sol (.009 radianes) multiplicado por la distancia focal. El cociente de concentración C producido en la región caliente se define como el cociente de la intensidad de radiación solar en el punto caliente a la intensidad de radiación solar directa incidente en la región donde se encuentra el colector:

$$C = \frac{q_r}{q_i} = \frac{\text{radiación concentrada en el punto caliente}}{\text{radiación solar directa (no concentrada)}}$$

donde q_r se puede expresar como

$$q_r = q_i \frac{1}{2} \sin^2 \theta$$

donde Θ es el ángulo de borde de la parábola y a es el diámetro aparente del sol.

La parábola debe estar orientada tal que su eje esté apuntando en la dirección del sol. Un método de mantener esta orientación es rotando la parábola tal que ésta siga al Sol en el transcurso del día. También se tienen que tomar en cuenta los cambios de la posición del Sol inherentes a los cambios de temporadas.

Una alternativa a la de girar la parábola para seguir el movimiento del Sol es el uso de espejos auxiliares planos; es decir, se utiliza un espejo plano grande el cual sigue el movimiento del Sol y refleja la radiación hacia el concentrador parabólico.

Para un concentrador solar, la temperatura máxima alcanzable no puede ser mayor que la temperatura del Sol. Sin embargo, como ya se ha mencionado, gran parte de la radiación solar se pierde en la atmósfera, además de que los paraboloïdes divergen del paraboloïde ideal y las superficies no reflejan el 100 % de la radiación que incide sobre ellas. Por ejemplo, la reflectividad del aluminio va desde .53 hasta .89 mientras que la del vidrio va desde .72 hasta .96. Tomando en cuenta todos estos factores, la temperatura máxima alcanzable es de 7000 ° F para concentradores solares de alta calidad.

Un concentrador solar pequeño es capaz de producir la misma temperatura que un concentrador grande; la diferencia está en la cantidad de calor colectable y el tamaño del punto caliente. El punto caliente en la mayoría de sistemas concentradores tiene un diámetro de 1-2 pulgadas. Si se quisiera producir un punto caliente con diámetro de 5 pulgadas, sería necesario construir un reflector con un diámetro equivalente al de un edificio de 10 pisos.

La Inclinación Correcta de un Colector

Un colector coleccionará más calor en su área expuesta si está inclinado debidamente en referencia al Sol. Como la posición del Sol varía del verano al invierno, se debe decidir la inclinación correcta de la estación en la cual se propone coleccionar la energía solar.

Si se usa el colector todo el año, se debè inclinar a un ángulo igual a la latitud local. Si se está interesado en el calor únicamente en el invierno, el colector deberá estar inclinado más hacia la perpendicular de los rayos solares de invierno. Esto significa una inclinación de 10 a 15° más que la latitud local para obtener la inclinación adecuada.

Si se piensa usar el colector únicamente en verano, se restan 15° a la latitud local. Así queda más cerca de la horizontal y se logra apuntar el Sol más directamente durante el verano.

Naturalmente, los rayos solares no son perpendiculares al colector durante todo el día. Sin embargo, las inclinaciones anteriormente discutidas resultan las más eficientes para coleccionar el máximo de energía solar, dada la inclinación del colector. Lo ideal es un colector móvil, lo cual permite mantenerlo perpendicular a los rayos solares durante todo el día mediante un sistema de guiado automático. Sin embargo, es posible coleccionar grandes cantidades de energía de una forma sencilla y económica simplemente aumentando el área del colector y manteniéndolo fijo. La Figura 6 muestra las inclinaciones adecuadas en función de la latitud Norte, para tres casos de colectores fijos.

Colector Óptimo ángulo v.º latitud

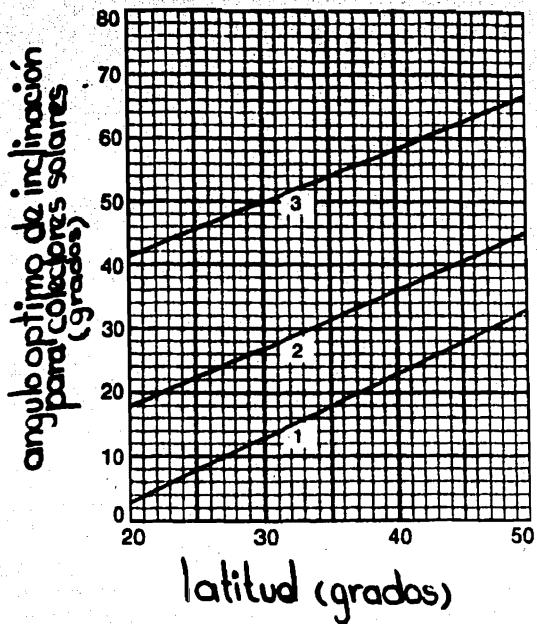


Figura 6: Inclinación para colectores fijos si se desea la colección durante:

- 1 - Verano
- 2 - Todo el año
- 3 - Invierno

Secado Agrícola

Eliminar la humedad excesiva en las cosechas requiere de bajas temperaturas de calentamiento, las que pueden alcanzarse fácilmente mediante un colector plano, evitando con esto el deterioro y a la vez aumentando la calidad del producto.

El proceso es sencillo: se hace fluir una corriente de aire caliente a través del producto consiguiéndose una humedad relativa más baja; la menor cantidad de humedad removerá el agua que se evapora del material al calentarse.

Es conveniente colocar el producto en capas gruesas y de área pequeña. Debido a la baja capacidad calorífica del aire, son necesarios grandes volúmenes del mismo, que deberán hacerse pasar a través del producto, lo cual implica la necesidad de un ventilador movido por electricidad ó algún otro combustible.

Si se almacenan granos (maíz, trigo, etc. que contienen hasta un 20% de humedad) dentro de un local cubierto, se puede hacer incidir aire calentado en colectores planos con lo que se logra reducir la humedad hasta en un 40% .

Calentadores Solares de Agua

Los calentadores solares para uso doméstico son hasta ahora los equipos más divulgados en varios continentes para utilizar esta nueva fuente de energía. En la actualidad solamente en Australia hay más de 200,000 equipos en servicio mientras que en Japón ya hay más de un millón. También en los países del Mediterráneo se utilizan los calentadores de agua domésticos. En el continente americano ya existen varias fábricas que hacen calentadores solares en serie. Los estudios que se han efectuado durante varios años han demostrado que hay un ahorro del 80% en el consumo de energía eléctrica destinada a calentar agua una vez que se instalan calentadores solares.

Existen calentadores de uno a cuatro colectores, en los cuales circula el agua por tubos embutidos en una plancha metálica enegrecida, aislada térmicamente por abajo y con uno o dos vidrios contra el aire.

Las necesidades de agua caliente para uso doméstico se consideran satisfechas en promedio con 70 litros diarios por persona a una temperatura de 55 a 60 ° C. Todos los calentadores de agua constan de un fondo negro que absorbe la radiación y transmite el calor al agua. Como existen pérdidas de calor al evaporarse el agua, por radiación en el infrarojo lejano, por convección en el aire circundante y por conducción a los materiales de que se construye, se han ido modificando continuamente con el fin de minimizar las pérdidas antes mencionadas. Esto se logra colocando una cubierta de vidrio o plástico al recipiente donde se coloca el absorbedor. Este método se menciona en la sección de colectores planos. La cubierta que ha demostrado tener mayor durabilidad es la de vidrio, con una eficiencia semejante a la de los plásticos.

Para reducir las pérdidas por conducción y convección, el absorbedor se coloca en una caja aislada termicamente, recubierta por materiales tales como espuma de poliestireno, asbesto, lana, mineral, etc. y es perfectamente sellada. La caja para el absorbedor puede hacerse de madera, asbesto o fibra de vidrio; la placa absorbente puede ser de polietileno negro, lámina galvanizada y aun similar al sistema del radiador de un automóvil.

Para evitar pérdidas de calor por convección a los alrededores, el agua caliente se pasa a un recipiente convenientemente aislado para su almacenamiento, aprovechando la existencia de gradientes térmicos; es decir, el agua caliente, menos densa, tenderá a ocupar la parte superior del tinaco de almacenamiento. Al estar éste aislado, las capas calientes no perderán calor.

Para garantizar que habrá circulación en cualquier momento, puede adaptarse una pequeña bomba eléctrica (cuando y donde sea posible). Como también existe la posibilidad de que haya un flujo de agua en sentido contrario (agua caliente hacia el colector) se instala una válvula o flotador en el tinaco para evitarlo. (Véase la Figura 7). Se logra aumentar la eficiencia del dispositivo si no se deja almacenada el agua caliente por periodos considerablemente largos.

Ya que la intensidad de la radiación solar es mayor para una superficie perpendicular a su dirección de propagación, el colector deberá orientarse de cara al ecuador e inclinado ligeramente; el ángulo de inclinación debe ser aproximadamente igual a la latitud + 10° , obteniéndose con ésto un mayor rendimiento anual.

Un calentador con absorbedor metálico, con cubierta de vidrio y bien aislado puede producir hasta 45 litros de agua caliente por metro cuadrado de area ex-

puesta. En lugares donde el descenso nocturno de la temperatura llega al punto de solidificación del agua, y aun más abajo, se recomienda el uso de una mezcla anticongelante, tuberías de plástico o un aislamiento térmico más completo en todas sus partes.

El calentador solar de agua es un recurso para ahorrar combustibles fósiles o energía eléctrica, evitando o disminuyendo la contaminación atmosférica. Es de gran utilidad en todos aquellos lugares de México que tengan un buen número de días despejados al año, y en particular, en lugares aislados un calentador solar de agua permite satisfacer las necesidades de agua caliente para usos médicos o domésticos.

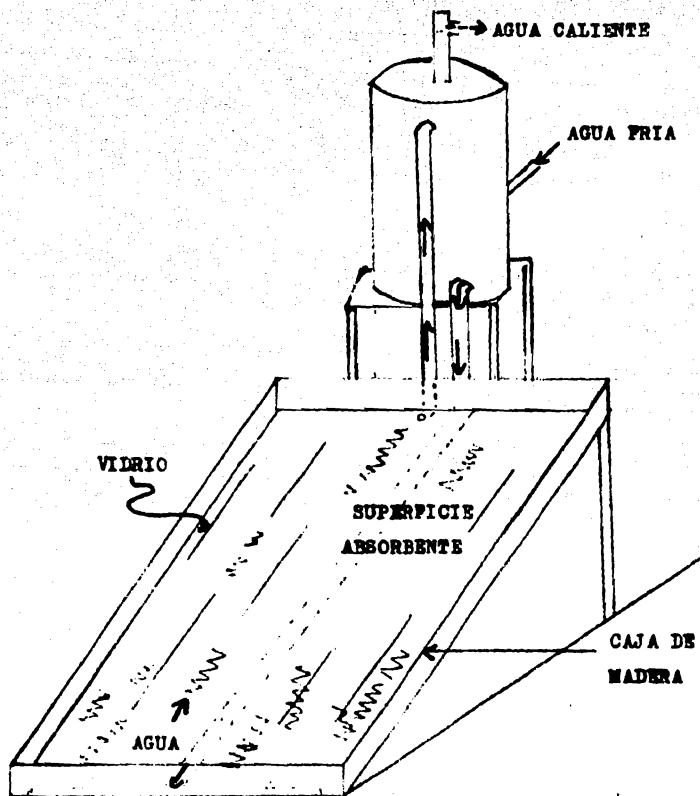
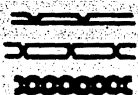
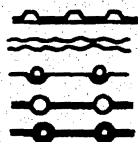


FIG. 7a



banda de aluminio extruida
 tubo de cobre en tiras
 hoja de tubo de cobre



tubo de plástico negro
 tubo de hule
 plástico-rígido con metal



tubo: unidos o soldados
 a un tubo grande



hojas inferiores para
 formar canales y canales



tubos conectados a
 calentadores de
 hule

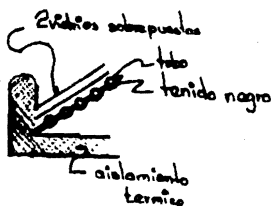
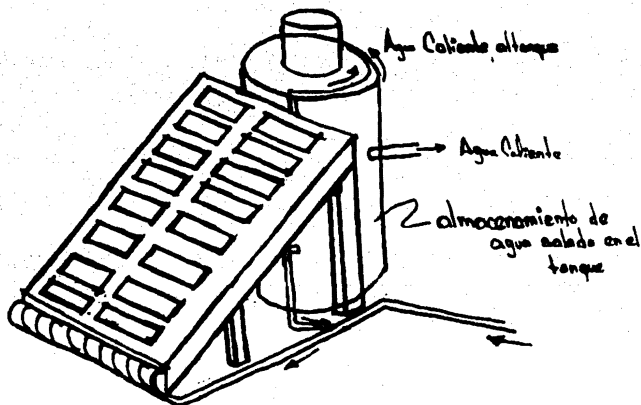


Figura 7b

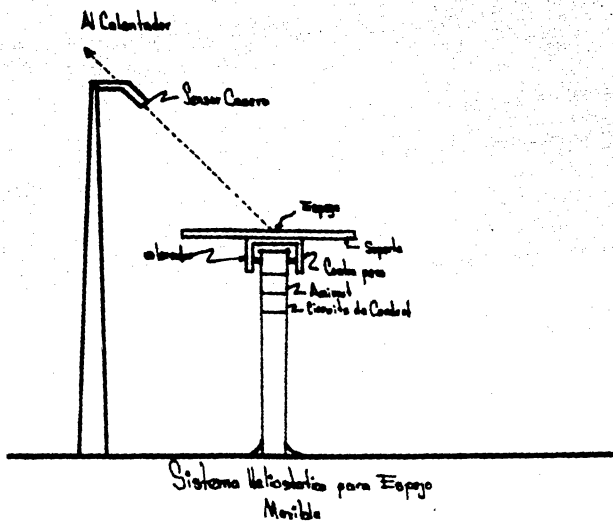


Figura 7-C

Estufas Solares

Las estufas solares son un recurso auxiliar para aquellas comunidades que tienen problemas de aprovisionamiento de combustible o para lugares de recreo. Consisten básicamente de un espejo parabólico de diámetro variable, y una parrilla que se coloca en el foco para ahí situar la comida que se desee cocinar. El espejo parabólico puede girar sobre un eje, lo que permite enfocar el sistema siguiendo al Sol. Para un diámetro de 1.20 metros se logra hervir un litro de agua en 15 minutos.

Los materiales de que puede estar hecha una estufa solar (i. e., el espejo), son sumamente variados, entre los cuales se encuentran la cartulina, aluminio, lámina de acero, cobre, aluminio recubierto con diversos materiales plásticos, etc.

El diseño y construcción de la estufa o del compartimento donde se coloca el comestible dependen de la superficie efectiva y la eficiencia del reflector. Si la superficie reflectora es pequeña, entonces la cantidad de calor enfocado en el compartimento del comestible no será suficiente para compensar por pérdidas de energía, y no se obtendrán temperaturas altas.

Es importante tener presente que un reflector grande implica una mayor eficiencia para cocinar, pero también implica un dispositivo difícil de maniobrar, montar y transportar y además caro. Un ejemplo de una estufa solar se encuentra en la Figura 8.

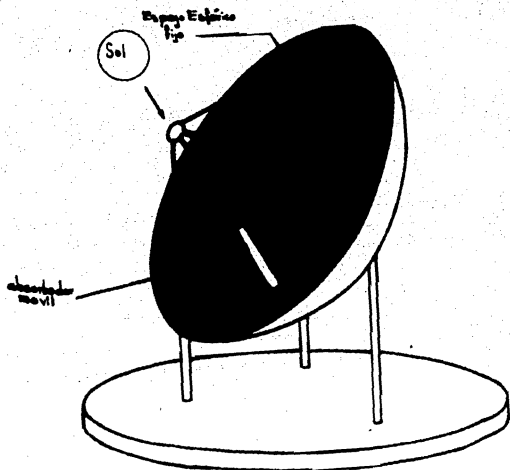


Fig. 8 - Estufa Solar con un Sistema guiado (SETA) reflector estacionario/absorbedor móvil

Calentamiento y Clima Acondicionado

Aproximadamente la cuarta parte de la energía que se consume es empleada en calentar casas y edificios, por lo que el uso directo de la energía solar se ofrece como un recurso salvador de nuestros combustibles fósiles. El aprovechamiento en sí es sencillo; la situación se complica debido a factores económicos y de tipo arquitectónico.

Los costos más altos se refieren al sistema colector y a los dispositivos para almacenar calor suficiente durante periodos largos cuando el clima es frío y las condiciones meteorológicas no son propicias.

Los colectores pueden ser colocados en el techo de la casa o edificio ya sea horizontalmente o con la debida inclinación (si el tipo de estructura lo permite). En ocasiones será necesario usar las paredes verticales, en cual caso, deberán ser aquellas que estén orientadas hacia el ecuador, aun cuando su eficiencia será menor.

El tipo de colector empleado es el plano que puede transmitir el calor coleccionado a un fluido, ya sea agua o aire. El agua transmite el calor con mayor eficiencia pero requiere de un sistema de conducción, motor y bomba, y tiene la desventaja de que su punto de congelación se alcanza facilmente. En lo que respecta al aire, éste requiere de un sistema grande de tuberías pero un sistema de impulsión más sencillo y económico como un ventilador.

El problema fundamental es del almacenamiento. Este se puede resolver en principio haciendo un depósito debajo de la construcción usando un tanque metálico cubierto de concreto y una capa intermedia de ceniza, para que al llegar

el agua caliente al tanque (proveniente de los colectores) ésta caliente la piedra que le sirve de base, y ésta a su vez caliente al aire, que será enviado a las diferentes habitaciones. Una variación al sistema anterior consiste en bombear el agua caliente hasta las superficies radiadoras situadas en las habitaciones.

La cantidad de calor requerida es directamente proporcional al área del edificio o casa que se desea calentar.

Este sistema de calentamiento se puede emplear también para enfriar una casa o un edificio en épocas de calor, mediante la radiación hacia afuera de la casa del calor absorbido por el fluido en el interior. Este tipo de dispositivo podría emplearse en ciudades de clima extremo (Norte de la República, por ejemplo). En las áreas urbanas, este sistema se puede emplear en edificios públicos que tengan techos cuyas superficies sean lo suficientemente grandes para ahí situar los colectores.

Aire Acondicionado Solar

La idea básica del enfriamiento en base a la energía solar empezó en Francia hace aproximadamente un siglo. El principio por el cual el calor puede producir frío es sencillo de entender. Todos los tipos de aire acondicionado efectúan el proceso de enfriamiento mediante el uso de un refrigerante que hierve. Imaginemos una vacija de agua, que se esté calentando en la estufa. Si el quemador es prendido y puesto al máximo, el agua se calienta rápidamente hasta que alcanza la temperatura de 100°C y empieza a hervir. En este momento, si se le pone un termómetro al agua, veremos que ésta permanece a una temperatura constante, sin importar la cantidad de calor que se le esté agregando. El calor que se agrega después de que el agua alcanza los 100°C es transportado por el vapor que despiden las vacijas. Es decir, por el hecho de hervir, el agua está cambiando del estado de líquido al de gas (vapor) y el vapor contiene el exceso de calor transmitido a la vacija de agua por el quemador. El calor que se requiere para convertir agua en vapor a una temperatura y presión constantes es llamado calor de vaporización.

Ahora bien, en vez de pensar que el calentador o quemador le da calor a la vacija, pensemos que la vacija le roba el calor al quemador y que el calor es llevado por el vapor. En esencia, estamos enfriando el quemador. Esto no se considera normalmente como refrigeración, pero supongamos que la vacija contiene un líquido que hierve a temperaturas mucho más bajas que la del agua, por ejemplo, a temperaturas bajo cero. Entonces el líquido hervirá y cambiará de estado a una temperatura aun menor que la de una habitación o la del medio ambiente. Entonces se puede pensar que el aire caliente alrededor del líquido de

la vacija toma el lugar del quemador y que el líquido hervido se roba el calor del aire. Este calor es acarriado por el gas que resulta del hervor, lo cual resulta en un sistema refrigerante como se conoce normalmente.

El refrigerante del aire acondicionado enfría el medio al hervir. Conforme el aire pasa por el generador de aire frío, el refrigerante que hierve en el interior del generador absorbe el calor del ambiente y se siente una pequeña brisa fría que proviene del aire acondicionado. Después de tomar el calor del aire, el gas del refrigerante es sacado del generador por la bomba compresora y llevado al condensador del generador localizado fuera de la casa. El calor absorbido dentro de la casa va al condensador, acarriado por el gas. Entonces el condensador actúa como radiador para disipar el calor del aire de afuera.

Para que un gas ceda calor al medio ambiente, el gas tiene que estar más caliente que el medio, ya que el calor sólo se transmite de un área caliente a una fría. Pero dado que el punto de ebullición es a menor temperatura que el aire exterior, se tiene que comprimir el gas en el condensador para concentrar el calor que está en él. El compresor hace ésto sin agregar calor al sistema. Simplemente almacena el calor existente en un espacio más pequeño, el cual se intensifica. Si se comprime un gas a la mitad de su volumen, se duplica su temperatura, porque la cantidad de calor es almacenada en la mitad del espacio. Así es que, por compresión, el gas refrigerante se vuelve más caliente que el aire circundante y cede el calor a través de las paredes del condensador al aire externo.

Quando el gas refrigerante está comprimido y frío en el condensador, se regresa al estado líquido y regresa al generador de aire frío, repitiéndose el ciclo.

La capacidad de un enfriador se mide en toneladas de hielo derretido por hora; es decir, con cada tonelada de hielo derretido se remueven 12000 BTU's de calor en una hora. El BTU es la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de 1 libra de agua 1° F. Por ejemplo, sistemas con colectores planos han logrado tener una capacidad de refrigeración equivalente a la necesaria para derretir 5 toneladas de hielo por hora; es decir, 60000 BTU's por hora.

Celdas Fotoeléctricas y baterías Solares.

Uno de los inventos más importantes en 1954 fue el de la batería solar, realizado por científicos de la Compañía de teléfonos Bell. La conversión de energía lumínica a energía eléctrica no es nuevo ya que fue descubierta en 1873 accidentalmente por un ingeniero de telégrafos, Joseph May, quien trabajaba en mediciones de resistencia de una terminal del cable del Atlántico. Usaba una resistencia de selenio, y encontraba variaciones en sus mediciones cada vez que el sol brillaba sobre sus resistencias directamente. Sin embargo, no fué hasta que los investigadores de la Compañía Bell estudiaron a fondo el problema que se desarrollaron celdas de selenio que efectuaban la conversión de la luz solar a energía eléctrica. Hoy en día, las celdas solares producen suficiente energía para operar circuitos de teléfonos, transmisores de onda corta y larga, receptores y también televisores, y en particular, son de enorme utilidad para los vehículos espaciales y satélites de comunicación.

La batería Bell consiste de un disco grande hecho de 432 discos pequeños de hojas delgadas de silicio, cubiertas de plástico y de vidrio, y encerradas en un compartimento de aluminio. El silicio, que es un semiconductor, es purificado antes de ser utilizado.

Cuando la luz toca un semiconductor, causa una ruptura en la unión de la estructura en la rejilla de cristal, dejando un defecto u "hoyo" como consecuencia de la liberación de un electrón. Este "hoyo" será inmediatamente llenado por otro electrón, causando que el hoyo aparezca afuera de la unión de la estructura.

Este fenómeno produce una corriente eléctrica.

Los transistores dependen para su operación tanto del exceso de electrones liberados como de un déficit de electrones (i.e., exceso de hoyos), y los transistores se construyen con semiconductores como el silicio. Un semiconductor que tiene un exceso de electrones es llamado de tipo N, mientras que uno con exceso de hoyos es llamado de tipo P. Los excesos, ya sean de electrones o de "hoyos", son generados mediante la introducción de impurezas tales como fósforo, arsénico, antimonio o bismuto (para los tipo N) o boro, aluminio, galio, torio (para los tipo P) en el semiconductor sumamente refinado.

La luz que incide sobre la batería solar produce una migración constante de "hoyos" y electrones dentro de los cristales de silicio; esta migración varía directamente con la intensidad de la luz solar. La corriente que se produce puede ser convenientemente almacenada en baterías, tal que pueda ser utilizada durante la noche o durante mal tiempo.

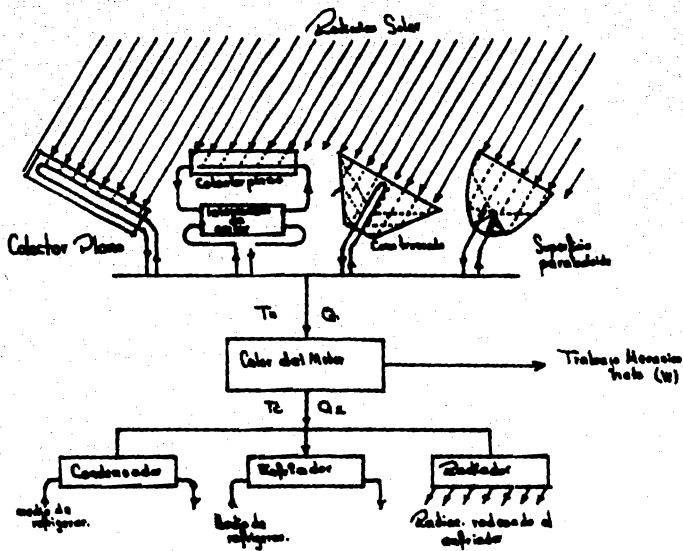
Las baterías solares originales operaban con una eficiencia de 6%, igual que la de un motor de gasolina moderno. Mejoras hechas desde 1955 han aumentado la eficiencia en un 11 %, el cual es la mitad del máximo teórico de 22 %.

Entre las ventajas que tiene la batería solar se encuentran el que no sólo es más eficiente que las baterías químicas, sino que tiene una vida indefinida, sin piezas que se desgasten, ni fluidos que tengan que ser reemplazados, ni placas que tengan que ser renovadas. No se requiere más que la luz solar.

Entre las aplicaciones de las baterías solares, se encuentran la generación de suficiente potencia eléctrica como para hacer funcionar una pequeña instalación telefónica, transmisores de radio y T.V., audífonos, relojes, etc.

La celda fotovoltaica es la principal fuente de energía de los satélites espaciales en órbita, por los cuales pasa gran parte de las telecomunicaciones internacionales del mundo.

Las celdas solares son económicas actualmente sólo en aplicaciones remotas, como tuberías, equipos perforadores de pozos, boyas de señales, torres forestales y aldeas en el Tercer Mundo. Esto se debe a que la fabricación de las celdas fotovoltaicas es un negocio de poco volumen y, en consecuencia, los productos son bastante costosos. Sin embargo, los costos han bajado desde los 500 dólares por Watt de cresta hace unos cuantos años hasta sólo 13.50 dólares por Watt de cresta en 1977, debido al crecimiento del volumen de producción. A los precios que se espera que tengan en 1990, habrán de captar la mayor parte del mercado internacional de generación eléctrica.



$$\text{Eficiencia del Motor} = \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\text{Eficiencia teórica} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Figura 9

III. - APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR EN

EDIFICACIONES

Desde las épocas neolíticas han existido viviendas solares. Cualquier tipo de habitación puede capturar la radiación solar y transferir parte del calor absorbido al interior. También puede brindar protección contra radiación solar demasiado intensa, la cual puede ser indeseable. Las culturas antiguas sabían escoger diseños, materiales y orientaciones que permitieran el aprovechamiento de la energía solar.

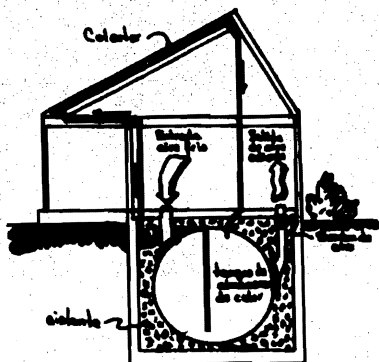
Como ejemplo, podemos describir las viviendas de los indios que habitan la región Sur-oeste de U.S.A., donde el clima es muy extremo; es decir, de temperaturas muy altas en el día y muy bajas durante la noche. La solución a esta variación de temperatura aplicada por los habitantes de la región es permitir la entrada del calor lo más posible durante el día para que durante la noche la habitación conserve algo de calor. Esto se logra mediante materiales de construcción de alta capacidad térmica tal como el adobe, lodo y piedra, los cuales re-radian la radiación que recibieron en el día durante la noche. Sin embargo, también es de interés que las viviendas no sean demasiadas calientes durante el día. Esto se logra separando el área de la cocina del área de la vivienda, reduciendo el número de ventanas al mínimo, y situando las que son necesarias en lo alto del muro para evitar la entrada de radiación; también el pintar la vivienda de blanco refleja radiación, así evitando un sobrecalentamiento durante el día.

Desafortunadamente, los materiales opacos que utilizaban las culturas antiguas no permitían calentar adecuadamente las viviendas en regiones realmente frías. El uso de vidrio y otros materiales transparentes en la construcción de viviendas para el mayor aprovechamiento de la energía solar es un suceso relativamente reciente. Las casas solares empezaron a aparecer a fines de 1930 en los Estados Unidos, los cuales por lo general se limitaban a emplear ventanales excepcionalmente grandes en el costado Sur de la construcción. En 1939 se emplearon los primeros colectores solares planos para calentar una casa en Massachussets. Esta es la llamada Casa Solar MIT I.

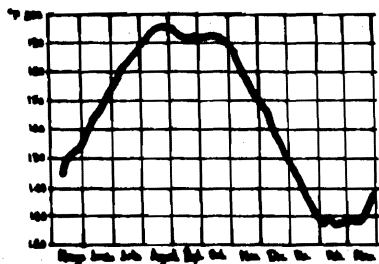
Casa Solar MIT I

La casa solar MIT I construida en 1939, fué la primera edificación que empleó colectores solares planos para su calefacción. Era un laboratorio de dos cuartos construido con el fin de desarrollar métodos para calcular la eficiencia de los colectores. Los colectores se encontraban montados en el techo inclinado de la edificación, a un ángulo de 30° con la horizontal y en dirección al Sur. Consistían de láminas de cobre ennegrecido debajo de 3 paños de vidrio, todo lo cual estaba dentro de una caja aislante. Agua contenida en un enorme estanque debajo de la casa era bombeada hasta la azotéa, pasando por tubos soldados a cada 6 pulgadas a la lámina de cobre. El agua calentada retornaba al estanque de almacenamiento. Un soplador extraía el aire frío del cuarto, haciéndolo pasar por la superficie del tanque de almacenamiento y distribuía aire caliente a los cuartos. (Véase la Figura 10).

La colección de energía solar no se limitaba a épocas frías, sino que en verano también se colectaba energía para almacenarla para el invierno. Nunca



Sistema de calefacción en la primera casa del MIT.



Temperaturas del banco de almacenamiento de la casa del MIT. El agua se calienta y almacena en un verano y se utiliza en invierno.

Figure 10

hubo necesidad de recurrir a medios auxiliares de calefacción durante los dos años de operación de la casa ya que la temperatura del agua en el almacenamiento nunca descendió de los 125° F.

Uno de los problemas básicos de esta casa experimental fué el que en aquella época resultaba muy caro el tener que almacenar calor durante periodos muy extendidos. Además, se juzgó más tarde que el ángulo de inclinación del colector era demasiado pequeño para una colección máxima de energía solar durante el invierno. Por otro lado, aparecieron otros problemas como el de fugas de agua en tuberías y la expansión térmica de los paños de vidrio del colector, lo cual provocó la fractura de los paños interiores. Sin embargo, gracias a esta primera casa solar se derivaron ecuaciones para el funcionamiento de colectores planos. Entre otras cosas, uno de los resultados fué el descubrir que la eficiencia del colector es función del número de paños de vidrio empleados y las temperaturas exterior y del colector. La eficiencia del colector baja conforme su temperatura se eleva.

Factores en el Diseño Solar

Existen factores que afectan las oportunidades realistas para la utilización de la calefacción y enfriamiento solar y hay factores físicos que afectan la capacidad física de diseño y el diseño de sistemas solares. Los factores de oportunidad son:

- Aspectos legales tales como reglamentos de zona
- Económicos como los costos efectivos de calefacción solar en relación a calefacción convencional.
- Institucionales
- Sociológicos
- Psicológicos

Los factores físicos son:

- Comodidad del habitante de la vivienda y las características de construcción y comportamiento térmico de la vivienda.
- Sistema solar (i. e., colector, almacenamiento, distribución, etc.).
- Condiciones de la región y del sitio donde se construye la edificación solar, como condiciones climatológicas, la topografía, la vegetación, etc.

En esta sección consideraremos los aspectos físicos de los sistemas solares.

La Comodidad Humana y la Energía Solar

Los sistemas solares son diseñados para la colección y almacenamiento de energía térmica. La energía térmica es usada para la calefacción de áreas domésticas, el abastecimiento de agua caliente o potencia calorífica y la activación de sistemas de enfriamiento. Todos estos procesos necesitan la captura, el transporte y distribución y el almacenamiento de una gran cantidad de energía. Con un diseño apropiado y adecuadamente regulado, esta energía provee un clima agradable para las actividades de los habitantes. Las características térmicas de una edificación son extremadamente importantes para el diseño de viviendas solares y la comodidad de sus habitantes. Es en la edificación donde las demandas de climas y comodidad humana se deben resolver. Todas las formas en las cuales pueda haber flujo de energía térmica deben ser consideradas en términos de su influencia sobre la comodidad humana.

Comportamiento Térmico

Una edificación gana o pierde calor por conducción, convección, evaporación, radiación, fuentes de calor internas y sistemas mecánicos:

Por conducción el calor fluye a través de los muros, pisos, plafones y en cualquier dirección; por convección el flujo de calor ocurre a través de superficies de la edificación por movimientos de aire entre áreas de diferente temperatura. Alrededor de puertas y ventanas se pierde calor por convección; por radiación hay flujo de calor a través de vidrio y superficies transparentes, lo cual puede modificar considerablemente el calor dentro de edificaciones.

Por fuentes de calor internas tales como el calor de cuerpos humanos, lámparas, motores domésticos, se puede cambiar hasta en un 25% el calor total de una edificación. Por equipos mecánicos se introduce o remueve calor de una edificación, utilizando energía exterior tal como gas natural, electricidad, etc. Finalmente, una edificación pierde calor por evaporación a través de sus superficies o por fugas dentro de la edificación.

Es importante hacer notar que el balance térmico de una edificación se conserva si y solo si la suma del calor perdido y calor ganado debido a las fuentes antes mencionadas es igual a cero. La figura 11 muestra los intercambios de energía que ocurren en a) clima frío y b) clima caliente.

En clima frío, una edificación se calienta por:

- Radiación solar, directa o difusa
- Gente, luces, estufas domésticas, lavadoras, secadoras, chimeneas, calentadores, etc.

En clima frío, una edificación se enfría por:

- Radiación en la noche de la energía acumulada en la edificación
- Pérdidas de energía a través de muros, ventanas, pisos, etc.
- Humedad
- Pérdidas a través de drenes y tuberías.

En clima caliente, una edificación se calienta por:

- Conducción a través de muros, ventanas, etc. debido a aire más caliente en el exterior de la edificación

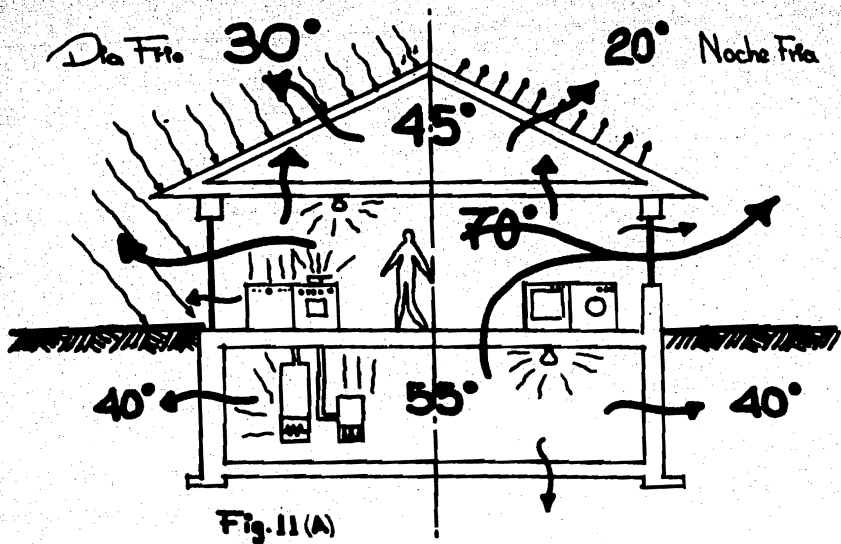


Fig. II (A)

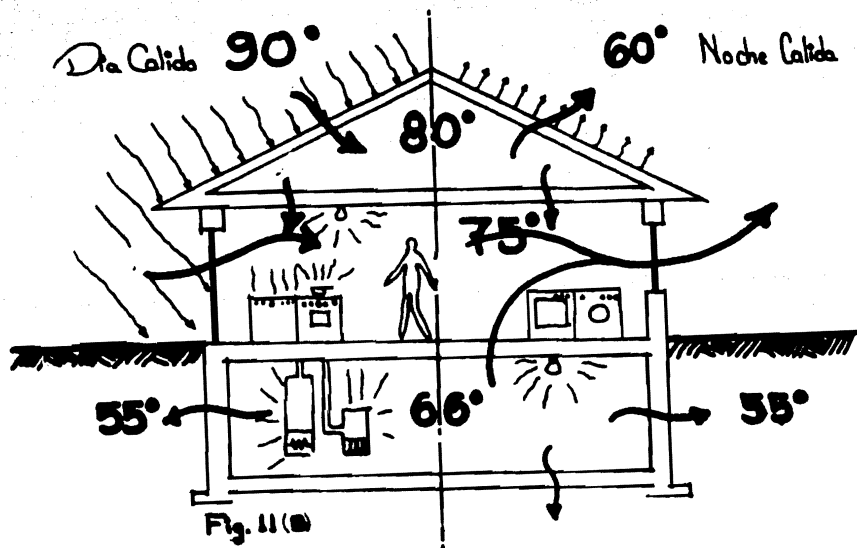


Fig. II (B)

- Por convección debido a aire caliente y/o humedad exterior a través de orificios debajo de puertas, etc.
- Gente, luces, estufas domésticas, muebles, maquinaria, aparatos eléctricos, etc.

En clima caliente, una edificación es enfriada por:

- Radiación durante la noche
- Pérdidas de energía a través de suelo, muros, vidrios, etc. por convección, cuando el aire exterior es más frío que el interior
- Humedad.

Sistema de Energía Solar

Cualquier sistema solar consiste de 3 componentes genéricas: colector, almacenamiento y distribución. Además, puede incluir tres componentes adicionales: transporte, sistema de energía auxiliar (generador auxiliar) y controles. Estas componentes pueden ser utilizadas en distintas combinaciones dependiendo de las necesidades de cada usuario.

Colector: El principio básico del colector ya se detalló en el Capítulo 2. Sin embargo es conveniente recalcar algunos puntos interesantes. Existe una relación muy estrecha entre colector solar y edificación, ya que la edificación misma se convierte en colector en el instante en que la radiación incide sobre sus muros, ventanales y techos debido a que todos éstos absorben energía.

El colector debe tener la orientación y la inclinación adecuadas; además, es esencial que no existan edificios ó alguna otra obstrucción que impida que la radiación solar llegue al colector.

Almacenamiento : Debido a la naturaleza intermitente de la radiación solar, una componente vital de una vivienda solar es un "contenedor" para almacenar calor. Cuando la edificación misma se emplea como colector, se requiere un método tal que no se vuelva demasiado caliente durante el transcurso del día y al mismo tiempo retener calor durante la noche.

Probablemente el contenedor de calor más eficiente es el material del cual está hecha la edificación. Esto se debe a que materiales pesados pueden almacenar grandes cantidades de calor sin calentarse demasiado. Cuando sus alrededores se vuelven más fríos, se libera el calor almacenado y los materiales se enfrían.

Esta capacidad para almacenar calor es lo que se utiliza para almacenar calor solar, y varía según el material. Si la capacidad de almacenamiento de calor de la edificación misma no es suficiente, se puede agregar un almacenamiento adicional. Sin embargo, conforme se separa el almacenamiento del colector, empieza a ser necesario un sistema mecánico que distribuya el calor solar. Por ejemplo, se puede necesitar un ventilador que traslade el calor desde los muros de concreto hasta el área de almacenamiento.

El lugar más conveniente para situar el área de almacenamiento es directamente debajo del suelo. Sin embargo, también es posible almacenar calor en muros interiores mediante algunos de los métodos que se describirán en esta sección.

Básicamente hay dos métodos para almacenar calor. El primero hace uso de la capacidad calorífica, de los materiales, la cual depende de sus calores específicos. El calor específico es la cantidad de BTU's necesarios para elevar la temperatura de una libra del material 1° F, y varía para diferentes materiales (Véase la Tabla II). Los materiales más comunmente empleados en este sistema son el agua y las rocas debido a su bajo costo y fácil acceso.

El segundo método es el que se basa en el calor latente; es decir, existen materiales que absorben grandes cantidades de calor cuando sufren un cambio de fase sólido-líquido, y lo liberan cuando se vuelve a solidificar. Este sistema de almacenamiento por calor latente es de interés ya que se reduce el área de almacenamiento.

PROPIEDADES DE MATERIALES QUE ALMACENAN CALOR				
Material	Calor Específico (BTU/lb·°F)	Densidad (lb/ft ³)	Capacidad de calor (BTU/ft ² ·°F)	
			Sin Vacíos	30% Vacíos
Agua	1.00	62	62	43
Chapa de Hierro	0.12	490	59	41
Chapa de aluminio	0.23	170	39	27
Concreto	0.23	140	32	22
Piedra	0.21	170	36	25
tabique	0.21	140	28	20

Tabla II

Almacenamiento de Agua : De todos los materiales comunes, el agua posee la más alta capacidad calorífica (calor específico = 1), es muy barata y es generalmente de fácil acceso. El sistema de almacenamiento más directo es el que consiste de un contenedor lleno de agua conectado directamente al colector y al sistema de calefacción de la vivienda. El contenedor puede ser hecho de concreto con un buen impermeabilizante, o bien puede ser un tanque de acero con superficie interior de vidrio. Se hace circular el agua más fría que yace en el fondo del tanque por el colector para ser calentada. Ya calentada, regresa por tubos que la depositan en la parte superior del tanque. Esto ocasiona que haya un gradiente de temperatura en el tanque. Por ejemplo, en un tanque de 3 a 4 pies de altura puede haber una diferencia de 15° a 25° F de temperatura. Se hace circular el agua más caliente (que se encuentra en la parte superior del tanque) directamente por los radiadores de las habitaciones para de esa forma calentarlas.

Las grandes desventajas que tiene este sistema de almacenar calor son el gotéo, la corrosión de tubos o del mismo tanque y congelamiento del agua.

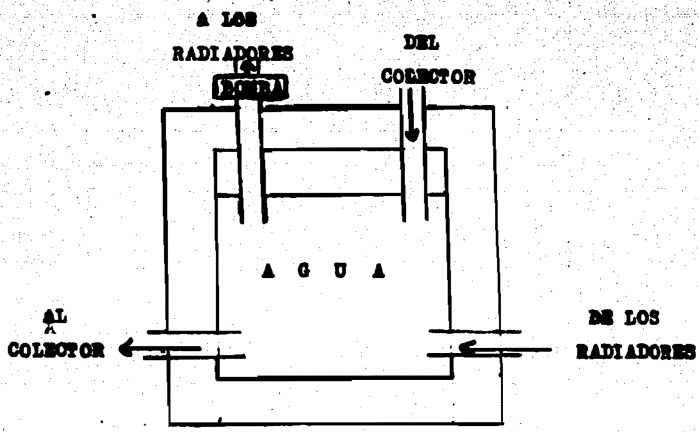


FIG. 9

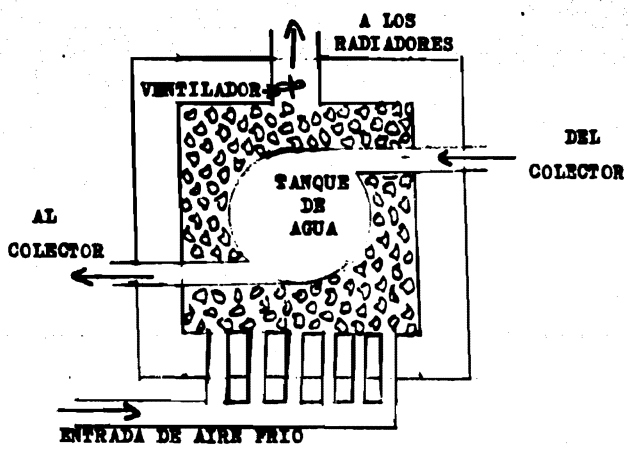
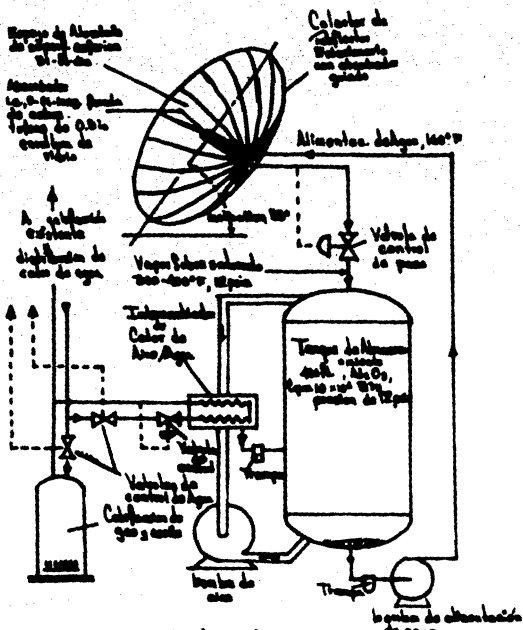


FIG. 12



Sistema de Calentamiento (usando vapor de agua) este sistema es operado con absorbente químico, Cassi Stewart, Boulder, Colorado.

Figura 12-(B)

Almacenamiento de Rocas: Rocas ó piedritas apiladas dentro de una unidad ó recipiente insulated tienen una capacidad calorífica suficiente . . . como para proveer calor durante periodos largos sin sol. Es necesario construir un gran contenedor para las rocas teniendo en consideración que se requiere un volúmen $2\frac{1}{2}$ veces mayor que el volúmen de agua que almacena la misma cantidad de calor. Por lo tanto, es importante tomar en cuenta el gran volúmen y peso de las rocas cuando se busca el sitio donde colocar el almacenamiento.

Aire calentado en el colector abastece de calor al almacenamiento al ser forzado por un soplador a pasar entre las rocas.

Almacenamiento con pequeños recipientes de agua : Un método similar al de las rocas apiladas es el que emplea pequeños recipientes de agua, entre los cuales fluye aire que ha sido calentado en el colector. Los contenedores pueden ser de plástico, vidrio, aluminio, etc.

Es importante aquí hacer notar que el colector solar y el sistema de almacenamiento deben ser compatibles. Es decir, colectores que emplean líquidos casi siempre requieren un sistema de almacenamiento también basado en líquidos. La mayoría de los colectores que usan aire necesitan un sistema de almacenamiento de rocas, ó de pequeños recipientes de agua, ó bien de sistemas basados en el calor latente de ciertas sustancias.

Almacenamiento de Calor Latente : La única alternativa a las rocas y pequeños recipientes de agua para sistemas de aire es el uso de sustancias cuyas temperaturas de fusión son bajas. Estas sustancias absorben grandes cantidades de calor al fundirse, las cuales son liberadas cuando se vuelven a solidificar. Ofrecen una gran versatilidad en cuanto a sitios de almacenamiento ya que ocupan volúmenes pequeños y pueden ser colocadas casi en cualquier orificio de la vivienda. Entre estas sustancias se encuentran las sales como la llamada sal Glaubers y la parafina. Las sales tienen la desventaja de cristalizarse y de tener un costo elevado, mientras que la parafina produce la corrosión de plásticos y algunos metales como el cobre. La parafina también tiene el problema de que se contrae en un 20% cuando se solidifica, desprendiéndose de las superficies donde ocurre la transferencia de calor. Pero lo más peligroso es que la parafina es muy combustible, por lo que es un riesgo utilizarla.

Aislamiento : Una vivienda solar, y en particular, la unidad de almacenamiento, requiere de aislamiento. Mientras mayor sea la temperatura del almacenamiento y menor sea la del medio ambiente, más aislante se necesita. Para unidades de bajas temperaturas (menores a 120° F) colocadas en el interior de la casa, se requiere de 6 pulgadas de fibra de vidrio ó su equivalente. Todos los ductos y tuberías deben también estar cubiertos de aislante.

Valores de Mediciones de Aislamiento:

El valor K : Cuando los materiales aislantes son probados para determinar su eficiencia, una medida básica está basada en el número de BTU's que pasan a través de un material de un pie cuadrado y de una pulgada de grueso cada hora, cuando la temperatura de un lado del material es 1° F menor que la del otro lado. Esta cantidad, llamada valor K, es la designación para la conductividad térmica.

El valor C : Es una cantidad equivalente al valor K y a menudo se refiere a la conductividad de un material aislante.

El valor R : Es la resistencia del aislante al paso del calor, y es igual al recíproco del valor K ó C:

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{C}$$

El valor U : Da una medida de la resistencia total cuando se tengan varios materiales a través de los cuales pueda fluir calor.

$$U = \frac{1}{\text{total resistencias}} = \frac{1}{R}$$

Aislamiento : Una vivienda solar, y en particular, la unidad de almacenamiento, requiere de aislamiento. Mientras mayor sea la temperatura del almacenamiento y menor sea la del medio ambiente, más aislante se necesita. Para unidades de bajas temperaturas (menores a 120° F) colocadas en el interior de la casa, se requiere de 6 pulgadas de fibra de vidrio ó su equivalente. Todos los ductos y tuberías deben también estar cubiertos de aislante.

Valores de Mediciones de Aislamiento:

El valor K: Cuando los materiales aislantes son probados para determinar su eficiencia, una medida básica está basada en el número de BTU's que pasan a través de un material de un pie cuadrado y de una pulgada de grueso cada hora, cuando la temperatura de un lado del material es 1° F menor que la del otro lado. Esta cantidad, llamada valor K, es la designación para la conductividad térmica.

El valor C : Es una cantidad equivalente al valor K y a menudo se refiere a la conductividad de un material aislante.

El valor R : Es la resistencia del aislante al paso del calor, y es igual al recíproco del valor K ó C:

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{C}$$

El valor U : Da una medida de la resistencia total cuando se tengan varios materiales a través de los cuales pueda fluir calor.

$$U = \frac{1}{\text{total resistencias}} = \frac{1}{R}$$

Transporte : La mayoría de los sistemas solares tienen una componente de transporte de energía (circulador) la cual provee de movimiento a un fluido que acarrea la energía térmica desde el colector al almacenamiento y desde ahí hasta las habitaciones. En sistemas de líquidos estas componentes consisten de bombas, válvulas, tuberías, ventiladores y ductos.

Energía Auxiliar : Las componentes del sistema de energía auxiliar son una fuente útil de energía durante periodos cuando el sistema de energía solar es inoperable o durante periodos de clima extremo y severo como prolongados días nublados, cuando el colector solar y el almacenamiento no producen temperaturas suficientemente altas para satisfacer las necesidades de la edificación. La energía auxiliar puede provenir de generadores eléctricos, gasolina, gas, petróleo, madera, etc.

Controles : Las componentes de los controles llevan a cabo la sensación, evaluación y requerimientos de funcionamiento para operar el sistema como se desée.

Condiciones Físicas y la Planeación del Sistema de Energía Solar

El proyecto de una edificación es un diseño solar importante. Las condiciones de la edificación influyen considerablemente en el diseño de la habitación solar. Vegetación, geología, topografía y clima son los principales puntos que se tienen que considerar para el diseño de un proyecto. Estos factores influyen no sólo en el diseño de la habitación con sistema de calefacción y enfriamiento solares, sino también en la organización de un grupo o vecindario de habitaciones solares.

La planeación de un sistema de calefacción solar o enfriamiento para habitación deberá ser seleccionado con cuidado y modificado como sea necesario para maximizar la colección de energía solar y minimizar las necesidades de energía en la habitación.

La planificación está relacionada con aplicar un análisis objetivo y un proceso de diseño a problemas específicos de pequeña escala, los cuales podrán ser ampliados para cubrir diferentes casos. Es importante recordar que los criterios de diseño deben incluir las necesidades específicas inherentes a sistemas de calefacción y enfriamiento solares. La planificación de la utilización de la energía solar está relacionada con dos condiciones importantes que no se pueden descuidar: acceso al sol y la localización de la edificación en el terreno.

En ocasiones el constructor o el diseñador será el responsable de tomar la decisión de seleccionar o determinar la localización precisa para situar la ó las viviendas solares. En tal instante se deberá tomar la decisión para la utilización más efectiva de la energía solar en base a un cuidadoso análisis de los siguientes

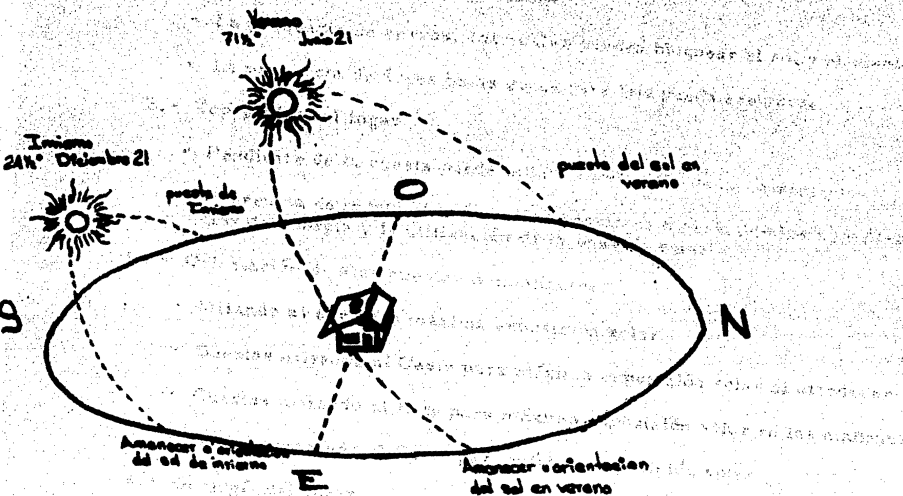


Figura 13

aspectos y condiciones cuya influencia es importante:

1.- Geografía del área

- El paso del sol diario y de cada una de las estaciones
- El viento diario y en cada estación
- La presencia de cerros, los cuales pueden bloquear el sol y el viento
- La presencia de áreas bajas donde aire frío pueda asentarse

2.- Topografía del lugar

- Pendiente de la cuesta puede influir en el costo de la construcción
- Presencia de montículos ó cuestas benéficos ó perjudiciales a la conservación de energía y la utilización de la energía solar.

3.- Orientación de las cuestas o montículos

- Mirando al sur para máxima exposición solar
- Cuestas mirando al Oeste para máxima exposición solar al atardecer
- Cuestas mirando al Este para máxima exposición solar en las mañanas
- Cuestas mirando al Norte para mínima exposición solar

4.- Geología del lugar

- Profundidad y tipo de roca en el lugar
- Areas inconstruibles en el terreno

5.- Potenciales del suelo y restricciones

- Suelo con limitaciones ingenieriles, incapaz de soportar estructuras
- Suelo con limitaciones agrícolas incapaz de fomentar la vegetación.

6.- Existencia de vegetación

- Tamaño, variedad y localización de vegetación que pueda impedir la colección solar.
- Construcciones que estorben la vegetación existente

- Tamaño, variedad y localización de la vegetación que pueda ayudar a conservar energía.
- 7.- Protecciones climatológicas del área del sitio
 - Protección de áreas a cierta hora del día o del año
 - Protección de áreas por topografía
 - Protección de áreas por vegetación
 - 8.- Exposición climatológica de la localización del sitio
 - Áreas expuestas al Sol y al viento
 - Áreas expuestas principalmente en invierno
 - Áreas expuestas principalmente en verano
 - Áreas expuestas todo el año
 - 9.- Rutas de acceso naturales al terreno
 - Calles adyacentes para acceso de vehículos al terreno
 - Andadores adyacentes para peatones para acceso al terreno
 - 10.- Formas de radiación solar
 - Diurno y mensual
 - Según las estaciones
 - Obstrucciones a la radiación solar (vegetación, edificios, etc.)
 - 11.- Tipo de vientos
 - Variación diurna y mensual
 - Variación según las estaciones
 - Obstrucciones (tales como vegetación espesa, etc.)
 - 12.- Formas de precipitación

- Movimientos de niebla, colección o congregación.
- Tipos y frecuencia de nevadas y sitios de congregación de la nieve
- Bolsas congeladas

13.- Temperaturas

- Variaciones diurnas y mensuales
- Variaciones según las estaciones
- Areas calientes
- Areas frías

14.- Tipo de agua o drenes de aire

- Configuraciones de flujo de agua o aire estacionario
- Patrones de aire diarios o flujo de agua
- Obstrucciones naturales que por su presencia impidan el flujo de agua o aire

Las herramientas para el análisis del proyecto incluyen fotos, mapas topográficos, características climatológicas y observacionales directas. Cualquier observación de las características del lugar es de importancia.

Una vez obtenida y organizada toda la información relevante a una región, ésta se puede usar para evaluar y eventualmente seleccionar una localización para situar la vivienda solar.

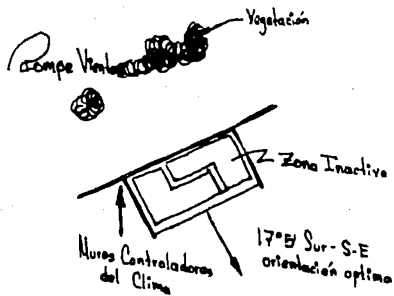
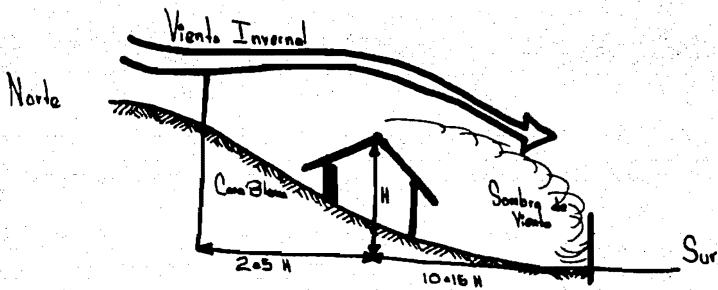
La forma apropiada de integrar cualquier edificio a su sitio es primero analizar el sitio cuidadosamente y luego ubicar la edificación en el sitio considerando todas sus ventajas y desventajas. Es posible generar técnicas generales para integrar edificaciones a sus sitios. En cada región climática se puede designar una guía que nos ayude a maximizar la conservación de energía e incrementar la oportunidad para utilizar energía solar.

Consideremos algunos factores que deberán tomarse en cuenta para ubicar y orientar viviendas en distintas regiones climatológicas.

Regiones Frías : El objetivo principal en regiones frías es obtener una máxima exposición al Sol de la vivienda y los colectores. Lugares con cuevas mirando al Sur son ventajosos porque proveen máxima exposición del colector a la radiación solar. Muros exteriores, defensas, cualquier vegetación, cerros, pocas ventanas y muros aislados pueden ser utilizados para brindar protección contra vientos fríos de invierno. Se pueden construir estructuras en lomas o tal que estén parcialmente cubiertas por el cerro para así tener un buen aislamiento parcial.

Regiones Templadas : Es vital asegurar la máxima exposición de los colectores solares a la radiación solar, como en todos los casos. Esto se puede lograr, por ejemplo colocando la vivienda en medio de la parte superior de una cuesta y orientándolo al Sur. Las áreas de recreo deberán estar en el costado Sur-Oeste de la vivienda para protección de los vientos del Norte. El impacto de los vientos de invierno podrá ser reducido agregando vegetación en la parte norte ó noroeste de

Figura 14 = Aprovechamiento de la Topografía en regiones frías.



la vivienda. El techo puede ser de una agua del lado que llega el aire; de esta manera el aire es deflectado al mismo tiempo de que se reduce el área de techo afectada.

Para viviendas multifamiliares, las terrazas y áreas de recreación deberán estar integradas a las edificaciones. Esto reducirá el aire frío en invierno y cambiará y dirigirá la brisa en verano. Las sombras en calles y áreas de estacionamiento producidas por vegetación abundante también cambiarán y traerán brisas de verano y reducirán radiación reflejada mientras que permiten que el Sol penetre en invierno.

Regiones Hidrocálidas : Donde las necesidades de calefacción son mínimas, los colectores para calefacción requieren exposición a la radiación solar únicamente en invierno. El resto del año, la circulación de aire y las sombras es lo más importante para la vivienda. Ahora, para enfriamiento solar y calentamiento de agua doméstica, será necesario la colección de energía solar todo el año. La orientación del colector para la exposición solar será de un arco de 10° hacia cualquier lado del Sur, la cual será suficiente para la colección solar eficiente. Se pueden hacer las siguientes sugerencias:

- Para permitir el flujo de aire alrededor de la casa deberá haber aberturas al fondo de los grupos de viviendas.
- Los colectores deben ser montados en los techos y mirando al Sur.
- Las calles deben correr de Este a Oeste para atrapar brisas del Este.
- Edificaciones se deben orientar para la máxima colección de energía solar solo durante el invierno.

Regiones Templadas

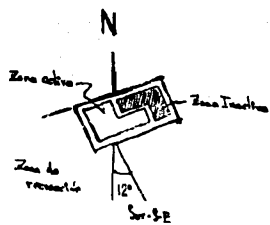
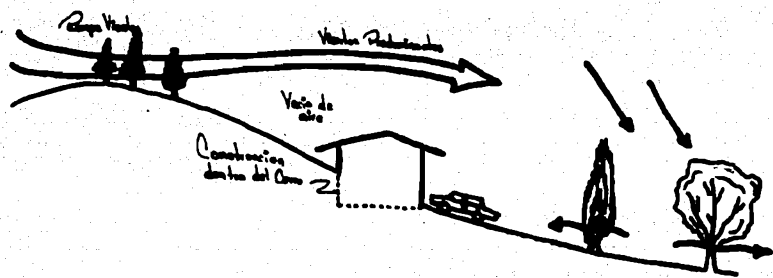


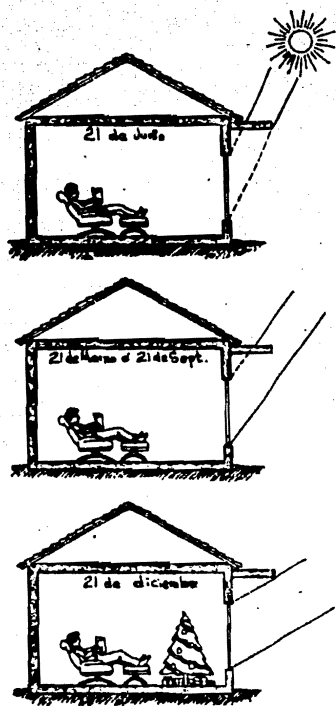
Figura 19

- Se deben sembrar árboles en lugares adecuados para dar sombra en las mañanas y tardes.
- Casas mirando al Sur deberán ser diseñadas con colectores en el frente.

Regiones Cálidas : En estas regiones el colector deberá ser orientado Sur-Suroeste y las áreas de recreo familiar deberán estar localizadas al sureste de la vivienda para aprovechar el Sol de la mañana y las sombras del medio día y atardecer. Localizando la vivienda cerca de algún lago o riachuelo ó cualquier cuerpo de agua incrementa la humedad y contribuye a crear un ambiente más fresco. También las cuevas benefician de esta forma a la vivienda mediante los movimientos del aire en el atardecer y al empezar la mañana. El exceso de radiación solar afuera de la vivienda puede ser reducido por los siguientes métodos:

- Creando sombras en zonas de estacionamiento, habitaciones, etc.
- Sembrando pasto alrededor de toda la vivienda.
- Retirando de las cercanías de la vivienda todo tipo de motores, estufas, etc.
- Orientando las calles y callejones de Este a Oeste.

Los ventanales deberán mirar al Sur pero deberán recibir sombra ya sea de sombrillas de techo o por árboles para que reduzcan la radiación excesiva en la vivienda (ver Figura 16).



Utilización de un tejado para producir una sombra durante el verano

Fig. 16

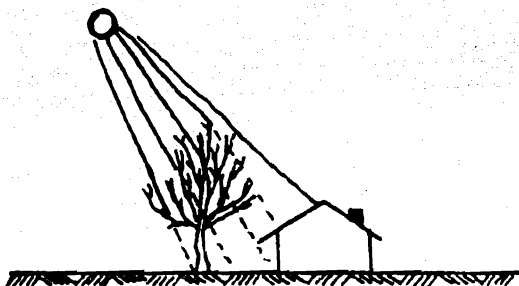
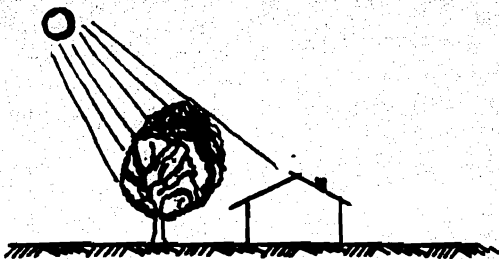


Figura 18

Arboles cuyo follaje varia segun la estacion producen sombras durante el verano, mientras q' permiten la penetración de la radiación solar durante el invierno.

TABLA III

ORIENTACIÓN DEL SITIO

<p>Objetivo Adaptación</p>	<p>CLIMA FRÍO Mantener ambiente de calor solar. Evitar exposición del viento de invierno. Evitar Climatología local (No) balance frío</p>	<p>CLIMA TEMPLADO Mantener efectos de calor solar invierno. Mantener ambiente en verano. Evitar exposición del viento frío para permitir circulación de aire en verano.</p>	<p>CLIMA INTERMEDIO Mantener sombras Mantener Vientos</p>	<p>CLIMA CÁLIDO Mantener sombras de materiales locales Mantener brisas Mantener circulación de aire en verano</p>
<p>Protección en la cuevas, lomas</p>	<p>En la parte inferior de la cueva para protección del viento.</p>	<p>En la mitad superior, para mayor exposición de radiación solar.</p>	<p>En la parte superior de la cueva, para recibir más viento.</p>	<p>En la parte baja de la cueva, para lograr mayor flujo de aire fresco.</p>
<p>Orientación en los Casales o lomas</p>	<p>S - S.E.</p>	<p>S - SE</p>	<p>S</p>	<p>E - S.E. Para lograr sombras en la tarde</p>
<p>Relacionado con el Agua</p>	<p>Cerca de Cpo. de Agua grandes</p>	<p>Cerca del agua para evitar brisas del lateral</p>	<p>Cerca de cualquier cpo. de agua.</p>	<p>A orillas de un cpo. de Agua.</p>
<p>Vientos Reforzados</p>	<p>Protección del Norte y Oeste</p>	<p>Evitar vientos contrahelios fríos</p>	<p>Protección del Norte</p>	<p>Exposición para proveer de Aire</p>
<p>Agrupaciones</p>	<p>Alrededor de balsas de Sol.</p>	<p>Alrededor de terrazas saladas</p>	<p>Abierto a los Vientos</p>	<p>A los largo E.a.O. Para sombras y viviendas.</p>
<p>Orientación de Edificaciones</p>	<p>S.E.</p>	<p>S - S.E.</p>	<p>S. hacia los vientos</p>	<p>S.</p>
<p>Formaciones de Arboles</p>	<p>Arboles grandes cerca de edificaciones. Arboles y arbustos formados para proteger el viento.</p>	<p>Arboles cerca del O. Sin vegetación al Sur.</p>	<p>Arboles grandes y frondosos cerca edificaciones</p>	<p>Arboles q; cubren los techos si es posible.</p>
<p>Orientación de Casas</p>	<p>Cruzadas al viento de Invierno Medio</p>	<p>Cruzadas al viento de Invierno</p>	<p>Orientación de E. a O.</p>	<p>Angostas de E. a O.</p>
<p>Casas a Utilizar</p>	<p>Medio Obsoleto</p>	<p>Matios</p>	<p>Casas especiales para techos</p>	<p>Casas en superficie expuestas. Para evitar reflejos.</p>

IV. - CONCLUSIONES

Casi todo lo que se comenta acerca de la crisis de la energía se refiere a las naciones industrializadas y al efecto que en ellas causa el reciente aumento en el costo del petróleo. Sin embargo, tomando en cuenta que las naciones en desarrollo aún no están completamente comprometidas con una tecnología a base de petróleo, hulla o energía nuclear, los países del Tercer Mundo tienen la singular oportunidad de saltar el obstáculo de los combustibles fósiles y proseguir su camino hacia diversas formas de energía solar.

Según Denis Hayes, uno de los investigadores principales del Instituto para la Vigilancia Mundial, el Tercer Mundo podrá entrar en la era solar antes que el mundo industrial. Varias características comunes de los países en desarrollo hacen probable esa perspectiva. En general, las naciones en desarrollo disfrutan de más luz solar que las industrializadas. Sus poblaciones suelen estar suficientemente dispersas para facilitar la explotación de fuentes de energía descentralizadas: cerca de la mitad de la población de Iberoamérica, el 70 por ciento de Asia del Sur y el 85 por ciento de la de África vive aún en zonas rurales. En el Tercer Mundo, el actual costo elevado de la energía convencional, especialmente de la electricidad, permite que ya compitan económicamente las opciones solares. Muchos dispositivos solares ya han demostrado que son sencillos y prácticos. Por último, puesto que el Tercer Mundo obtiene ahora gran parte de su energía de fuentes solares indirectas (principalmente leña), los pasos iniciales hacia una economía solar demandan únicamente más eficiencia en su utilización.

Sería acertado que el Tercer Mundo decidiese tomar la iniciativa en el aprovechamiento de las fuentes sostenibles de energía. Aunque el mundo no se está quedando sin energía, sí se está quedando sin petróleo. Los países consumidores de petróleo han vivido del capital, no de los ingresos. Se espera que la producción mundial de petróleo tienda a disminuir en el curso de los próximos 10 a 18 años, y es probable que mucho antes se presenten graves escaseces regionales. Ochenta por ciento de las existencias mundiales de petróleo se habrán consumido durante la vida de la presente generación. En consecuencia, es sumamente importante y moralmente obligatorio que todos los países inviertan una fracción considerable del petróleo restante en crear un sistema de energía que pueda sostenerse en la era posterior a la del petróleo.

En el mañana, tanto el mundo industrial como el agrario probablemente recurrirán a las fuentes solares- luz solar, viento, fuerza hidráulica y biomasa- en busca de su energía comercial. Sin embargo, el Tercer Mundo tiene la ventaja de poder tomar un atajo que le evite pasar por el callejón sin salida de los combustibles fósiles. En tanto que el mundo industrial tiene el 90 por ciento de su capital invertido en edificios y equipo mal adaptado a la transición solar, el Tercer Mundo puede alcanzar un rápido crecimiento económico si tiene una visión más clara de su propósito definitivo. Hasta hace poco, el mayor impedimento en el desarrollo de la energía solar en el Tercer Mundo ha sido probablemente que el mundo industrial sigue un camino diferente. Además, se ha realizado muy poco trabajo innovador debido a que ha sido limitada la capacidad de investigación y desarrollo del Tercer Mundo y a que la comunidad investigadora industrial ha descuidado la energía solar.

Las tecnologías solares ofrecen muchos atractivos a los países en desarrollo. Una ventaja social particularmente importante es su potencial de fomento del desarrollo en zonas rurales antes pasadas por alto, donde más se necesita la energía. Sin vigorosos programas de desarrollo rural, basados en fuentes descentralizadas de energía, la migración hacia los centros urbanos se volverá torrencial, lo que aumentará los ya espantosos problemas urbanos.

La calefacción de espacios y de agua es la más factible de todas las técnicas solares. A principios de los años setenta sólo había unas 100 casas con calefacción solar en los Estados Unidos, que es un país industrializado, mientras que actualmente hay varios millares y muchas más en proyecto. En países de clima frío cerca de un cuarto de la energía consumida se dedica a la calefacción de edificios. En este sentido la calefacción solar sería importante. Sin embargo, lo primero que tenemos que recordar es que es evidente que la utilización de la energía solar para calefacción, y calentamiento doméstico de agua impone ciertos diseños muy específicos. Algunos de estos requisitos en el diseño están relacionados con condiciones climatológicas y la necesidad de capturar la máxima cantidad de radiación solar. Pero también es evidente que no es factible en todos los casos construir nuevas edificaciones, sino que es necesario aprovechar las viviendas ya existentes para convertirlas en casas solares.

En todo el mundo, la mayoría de las edificaciones ha surgido de una historia tradicional, y en respuesta a condiciones climatológicas locales. Por lo tanto, muchas viviendas ya tienen un diseño apropiado para su región climatológica por lo que no es necesario efectuar cambios demasiado drásticos en sus arquitecturas.

Por ejemplo, En los Estados Unidos las viviendas de tipo colonial antiguo tienen una entrada decorativa al centro, pasillos espaciosos centrales, chimeneas en muchos rincones, exteriores de ladrillo y simetría de alas. Generalmente la entrada al centro con recibidor era para recibir el Sol del Este, Sur y Oeste así como también la brisa. Algunas viviendas tienen techos inclinados, los cuales son perfectos para instalar colectores solares ya que casi siempre los techos inclinados miran al Sur. Así mismo, los grandes garages sirven para colocar el sistema de almacenamiento y el de distribución.

El sistema solar podría proveer aproximadamente el 85% del calor necesario anualmente y todas las necesidades de agua caliente doméstica en el caso de clima caliente-húmedo. En el caso de un clima más frío, el sistema produciría aproximadamente el 40 % del calor necesario y el 70 % del agua caliente requerida.

A pesar de todo esto, si es difícil que sea redituable un sistema de calefacción solar cuando se lo instala en una casa nueva diseñada pensando en el Sol, será mucho más difícil "realimentar" la calefacción solar a una casa ya existente, mal aislada, con mala orientación y en una zona poblada de altos árboles o de edificios elevados a su alrededor. Quizá sea posible persuadir a los dueños a que incluyan la retroalimentación entre las mejoras a la vivienda o como precaución contra inviernos nublados, fríos y sin combustible. Sin embargo, la cuestión económica constituirá un gran peso y las retroalimentaciones serán siempre proyectos costosos, como cualquier remodelamiento.

Aunque la luz solar es gratuita, toda nación deberá pagar el precio de propagar la calefacción solar. La instalación de los sistemas requerirá gran canti-

dad de mano de obra y de recursos naturales como el cobre. Se gastará mucha energía: se requieren unos cinco años para que un sistema bien diseñado recoja tanta energía útil como la que se utilizó en construirlo. Además, hay todo un enjambre de problemas menores que afrontar. Por ejemplo, los expertos están de acuerdo en que la mayoría de los sistemas económicos sólo proporcionan parte - entre 30 y 60 por ciento - de los requisitos de calefacción de una casa promedio. Por lo tanto se exige un sistema de refuerzo, siendo el eléctrico el que resulta más barato de instalar. Pero si hubiera millares de casas solares en determinada zona, que emplearan la electricidad sólo en días fríos y nublados, la compañía de luz debería invertir en un equipo que sólo se utilizaría unas cuantas veces al año. Como resultado, las cuentas de luz en casas con calefacción solar serían especialmente elevadas. Una posible solución que ahora se investiga, es hacer que los propietarios de casas solares sólo utilizaran la energía eléctrica durante las horas bajas de la compañía de luz, aplicando dicha electricidad para caldear sus sistemas de almacenamiento.

Otros problemas que pueden surgir son problemas legales. Por ejemplo, leyes preventivas contra incendios pueden impedir el uso de parafina, que es un elemento útil para almacenar calor. También pueden impedir el uso de plásticos irrompibles y fibra de vidrio (los cuales son alternativas al uso de vidrio) ya que son menos resistentes al incendio que el vidrio. Códigos sanitarios pueden limitar el uso de sustancias como glicol etileno que es muy eficiente para la distribución de calor en sistemas líquidos. Pueden surgir problemas con

vecinos que obstruyan con sus contrucciones los rayos del sol. Por lo tanto, es necesaria la creación de leyes que garanticen la no obstrucción por parte de arboles, edificios, etc. de la radiación solar.

Otro problema potencial es la reflexión de la luz solar de colectores cubiertos de vidrio, lo cual puede ocasionar accidentes. También existe la posibilidad de vandalismo; es decir, que gente inconsciente arroje piedras u otros objetos sobre las superficies de vidrio de colectores, ventanales, etc.

Pero a pesar de todos estos problemas es indispensable estar consciente de que se acerca el fin de la era del petróleo y que la energía solar es una de las fuentes más plausibles para salvar la crisis de energéticos. El problema críticamente importante consiste en iniciar la transición solar con suficiente anticipación y proseguirla con vigor para llegar a disponer de un sistema viable, en el lugar apropiado, cuando llegue el momento en que se necesite.

BIBLIOGRAFIA

- Abell, George. Exploration of the Universe
- AIA Research Corporation, Solar Dwelling Design Concepts, U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research, 1976.
- Anderson, Bruce y Riardan, Michael, The Solar Home Book.
- Arctander, Erik, H., "Energía Solar y Desarrollo Rural", Artículo publicado en Popular Mechanics, 1975.
- Association for Applied Solar Energy, Proceeding of the World Symposium on Applied Solar Energy, Stanford Research Institute, Arizona, 1955.
- Beckman, William A., Solar Heating Design by the f-Chart Method, John Wiley and Sons, N.y.Y., 1977.
- Best y Brown, Roberto, Artículo publicado en Gaceta UNAM, vol III No. 30, 1979.
- Cassiday, Bruce, The Complete Solar House, Dodd, Meade and Company, 1977.
- Daniels, Farrington, y Duffie, John A., Solar Energy Research, The University of Wisconsin Press, Wisconsin, 1955.
- Duffie, John A. Solar Energy Thermal Processes, Wiley and Sons, N.Y., 1974
- E.U. Library of Congress, Science Poligy Research Division, Survey of Solar Energy Products and Services, Gov. Printing Office, Wash. 1975.
- Heywood, Harold, Solar Energy: Past, Present and Future Application, Engineering, Vol. 1-6, 1956.
- Hickok, Floyd, Handbook of Solar and Wind Energy, Boston Cahners Books, 1975.
- Hogg, J.C., Bickel, C., Nicholson, M.N., Wik, H. Chemistry- A Modern Approach, D. Van Nostrand Company, Inc. 1963.
- Holder, Charles F., Solar Motors, Scientific American, Vol Marzo 16, 1901.

Japan's Sunshine Project, Solar Energy and Geothermal Energy, JETRO, 1975

Kreider, J.F., and Kreitz, F., Solar Heating and Cooling: Engineering, Practical Design and Economics

Messel, H. y Butler, S.T., Solar Energy, Oxford Pergamon Press, 1975.

National Academy of Sciences, Solar Energy in Developing Countries: Perspectives and Prospects, Board on Science and Technology for International Development, Washington, 1972.

Rau, Hans, Solar Energy,

Williams, Richard, Solar Energy - Technology and Applications, Ann Arbor Science Publishers Inc. Michigan, 1974.

Diálogo sobre la Energía, Reproducido de FACETAS, International Communication Agency, U.S.A., 1979