

UNIVERSIDAD ANÁHUAC DEL SUR



Universidad Anáhuac
del Sur

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA DE INGENIERÍA

**"ENERGÍA SOLAR EN APLICACIONES
PRÁCTICAS PARA CASAS HABITACIÓN"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
CON ESPECIALIZACIÓN EN ELECTRÓNICA**

PRESENTA

JUAN BERNARDO DE LA PEÑA GARCÍA

DIRECTOR DE TESIS: ING. JUAN VICENTE LEDUC RUBIO

MÉXICO, D.F.

1992



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

INDICE

INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1: EL SOL Y LAS RADIACIONES SOLARES	
EN LA TIERRA	21
1.1.: EL SOL.....	23
1.1.1. Características del Sol.....	24
1.1.2. Capas del Sol	25
NÚCLEO	26
FOTOSFERA.....	26
CAPA INVERSORA.....	26
CROMOSFERA.....	26
CORONA SOLAR.....	26
1.1.3. La actividad solar.....	27
1.2. LA TIERRA.....	28
1.2.1. Características	28
1.3. RADIACIÓN SOLAR EN LA ALTA ATMÓSFERA	32
1.3.1. Radiación solar: cantidad.....	32
1.3.2. Radiación solar: calidad.....	34
1.4. RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA 35	
1.4.1. Radiación solar: datos.....	37
1.5. RADIACIÓN SOBRE PLANOS HORIZONTALES	
E INCLINADOS.....	49
CAPÍTULO 2: COLECTORES SOLARES FOTOTÉRMICOS.....	63
2.1. USOS Y TIPOS DE COLECTORES	65
2.1.1. Usos más comunes.....	65
CALENTAMIENTO DE AGUA DOMÉSTICA	65
REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN	66
COCINA	68
ACONDICIONAMIENTO DE ALBERCAS	68
2.1.2. Clasificación de los colectores solares.....	70
CONCENTRADORES	71
COLECTORES CILÍNDRICOS Y PARABÓLICOS	71
REFLECTORES PARABOLOIDES.....	72
LENTEs FRESNEL	72
COLECTORES PLANOS	73

2.2. NECESIDADES DE CARGA Y TRANSFERENCIA DE CALOR	75
2.2.1. Necesidades de carga	77
2.2.2. Transferencia de calor	80
2.3. PARTES DE LOS COLECTORES SOLARES	85
2.3.1. Elementos que los constituyen	85
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	88
VIDRIO	88
PLASTICOS	88
METALES	89
2.3.2. Construcción y montaje	89
2.3.3. Instrucciones para construir un colector del modelo a líquido	91
2.3.4. Opción entre coberturas de plástico y de vidrio	96
MEJORAS	97
2.3.5. Mantenimiento de los paneles solares a agua	98
2.4. SISTEMAS	99
2.4.1. Sistemas de orientación	99
ORIENTACIÓN SOBRE UN EJE	99
ORIENTACIÓN EN DOS EJES	100
ORIENTACIÓN POR MEDIO DE HELIÓSTATOS	100
2.4.2. Sistemas de distribución	101
COLUMNA EXTRACTORA	105
2.4.3. Sistemas de calefacción	105
2.4.4. Sistemas de almacenamiento	106
2.4.5. Sistemas de control	106
CONTROL AUTOMÁTICO Y MANUAL DE LA BOMBA	107
CONTROL AUTOMÁTICO PARA CALEFACTORES SOLARES A LÍQUIDO	107
INSTALACIÓN DE TERMOSTATO PARA UNA CALEFACCIÓN ÓPTIMA	108
CAPÍTULO 3: GENERACIÓN ELÉCTRICA	111
3.1. INTRODUCCIÓN	113
3.2. LA CELDA FOTOVOLTAICA	114
3.2.1. Funcionamiento de las células solares	115
3.3. CARGA ELÉCTRICA	118
3.4. SISTEMAS DE POTENCIA	118

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS ECONÓMICOS	121
4.1. COEFICIENTE DE CALIDAD	123
4.2. ESTUDIO DE COSTO-BENEFICIO	123
4.3. ANÁLISIS ECONÓMICOS	124
CAPÍTULO 5: CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS Y EQUIPO EN UNA CASA SOLAR PROTOTIPO	125
5.1. GANANCIA DE CALOR SOLAR	127
5.1.1. Conveniencia de la ganancia de calor solar	128
5.1.2. Uso de la chimenea como complemento solar	128
5.2. DISPOSITIVOS DE APANTALLAMIENTO	128
5.3. CONTROL SOLAR	129
CONCLUSIÓN	131
APÉNDICE I: Índice de figuras	135
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	137

INTRODUCCIÓN

Acerca del Sol se han hecho innumerables estudios, se han escrito multitud de poemas y los más grandes sabios de todos los tiempos, le han dedicado varios espacios de su pensamiento. La atracción que este astro ha ejercido sobre el interés de la ciencia y el arte es realmente grande. Durante los últimos tiempos la bibliografía dedicada al estudio del Sol y su energía se ha incrementado muchísimo y se encuentra más que nunca al alcance de todos.

En virtud de esta situación, me gustaría presentar esta tesis no como un escrito erudito que hace mención a los textos más actuales y complejos a los que se haya podido tener acceso al elaborar el presente. Más bien se ha pretendido elaborar una obra que ponga en contacto a cualquier lector con la maravilla que son las radiaciones solares y sus posibilidades de utilización, através de un estilo variado y ameno, con multitud de referencias a investigadores profesionales sobre este particular.

En cuanto a las causas que originan la elección de este tema como base para un trabajo de tesis se ha considerado la situación de la falta de información masiva que hay acerca de la tecnología solar. Es notoria, no sólo la falta de investigación y desarrollos nacionales al respecto, sino también el desconocimiento popular al respecto.

En segundo término, el continuo aumento de los precios de los energéticos a nivel mundial, y la escasez que comienza a sentirse ya en ocasiones, colocan a la Energía Solar como una alternativa muy atractiva para abrir la era tecnológica del tercer milenio.

La ventaja financiera que ofrecen los dispositivos solares sobre los convencionales, situación actualmente bastante equilibrada, dan una buena opción de desarrollo para el futuro, con materiales más resistentes y económicos.

En este trabajo, solamente nos remitiremos a la Energía Solar capaz de ser aplicada a muy pequeña escala, como es la del uso doméstico, y en particular, para un lugar geográfico como lo es la Ciudad de México. Esto con el fin de presentar alternativas de reducción de ciertos gastos federales como lo son los servicios de electrificación y suministro de gas combustible, además de las ventajas ecológicas que la Energía Solar trae consigo por su utilización.

A continuación, y para ir creando la ambientación adecuada al trabajo, vamos a transcribir las hermosas palabras de algunos poetas-investigadores sobre el astro rey que nos alumbrá.

"El Sol es la esfera ardiendo en el espacio sin límite, que da vida, fuerza, relieve calor y color a cuanto nos rodea. Con el Sol que orienta, se difunden la virtud y el bien, y se esconden la maldad y el vicio.

"Por el Sol que nace para todos, brotan y se esparcen las semillas; los vegetales respiran, se nutren, se tiñen de verde, se multiplican y agostan alfombrando la Tierra de oro.

"Por el Sol se producen el sereno, el rocío, la escarcha, la niebla los vientos que limpian la atmósfera, y las nubes que dan la lluvia, el granizo y los variados y sorprendentes cristales que la nieve atesora. El Sol incrementa las mareas, engendra los ciclones, huracanes y tempestades, origen de las inundaciones, benéficas a veces, y terribles casi siempre.

"El Sol dibuja las áreas naturales de dispersión de las plantas sobre la superficie terrestre, valiéndose de la líneas isóteras e isoquimetas, caprichosos trazos cuya causa primordial es la temperatura, engendradora, a la vez, de los climas, que según su grado, son ardientes, cálidos, suaves, templados, fríos, muy fríos y glaciales. La luz solar, refractándose y reflejándose, produce los crepúsculos, las auroras boreales, el vivo destello del fugaz rayo verde, el arco iris, los parhelios, y paraselenes, los halos, y el desconcertante espejismo.

"El Sol es, además, manantial incomparable y pródigo de salud y alegrías. Casas y hombres bien asolados, son poco visitados por el médico. Y las madres que saben instintivamente lo que el Sol influye en la vida de sus hijos, les buscan las porciones de campo, huerta, ciudad, jardín y vivienda, en las que son más benéficas sus confortantes caricias en los días fríos, del mismo modo que los amparan en la fresca umbria que en estío los separa de las inclemencias de sus rayos.

"¡Son los movidos y rutilantes colores que se contemplan en la gran masa asiento de la imperial Anáhuac, en los breves minutos crepusculares de los días serenos y próximos a los equinocciales, cuando la reflexión de su luz, magnífica las cumbres del Popocatepetl e Iztaccihuatl, los legendarios y gigantescos volcanes de nieve eterna que adornan con hierática e imponderable majestad, este inmenso Valle de México!

"Se comprende perfectamente, que el Sol, único y verdadero conductor del coro que canta el himno de gloria que él mismo ha compuesto y dado al mundo, salga y se ponga en todos los refranes, sea objeto de comparación para enaltecer las cualidades y sentimientos; que la poesía rime con él; que sea imagen en el lenguaje del amor; que la música lo tenga en sus notas, y forme con su clave las que determina; que tantos pueblos lo idolatran, y que la ciudad de Teotihuacan esté vinculada al mito

indígena que narra la tristeza que los dioses sentían vagando por la Tierra, sin ver, por falta de luz, el riquísimo plumaje de las reinas de la selva, el brillo de las flores, los matices de los frutos, el correr de las aguas y el relieve de las sierras. Privación desconsoladora que sólo conoce y narra emocionado y emocionando, el que ha cegado, que los dioses acabaron alumbrando el mundo con el sacrificio de uno de ellos. Vida que la deidad más humilde inmoló arrojándose a la hoguera que prendieron en la cúspide de la pirámide que lleva el nombre de Sol, desde el instante que el espíritu de la divinidad, perforando la tiniebla, abrió paso a su luz." ¹

También nos ha parecido interesante, antes de dar inicio formal al desarrollo de la investigación, el hablar de la historia que ha tenido la Energía Solar en el transcurso de la historia.

- +En la antigua cultura olmeca se utilizaron reflectores parabólicos y espejos cóncavos que han sido hallados en ruinas de templos de la cultura incaica del Perú .
- +Es conocida la historia de Icaro y Dédalo, su hijo, que por salir de su prisión, utilizaron alas hechas de plumas y unidas con cera. Por el calor del Sol, la cera de las alas de Dédalo derretióse, proyectando al desdichado poseedor de las tales contra la Tierra.
- +En el año 212 a.C. Arquímedes incendió la flota romana que atacaba a su país. "Con vidrios que quemaban -dijo Galeno- puso fuego a las naves de los enemigos, y los alejó de Siracusa."
- +A fines del siglo XVIII, Lavoisier casi llegó a fundir platino enfocando el Sol con poderosos lentes.
- +En 1872 en el Desierto de Atacama, en Chile se construyó un destilador solar de agua salada.
- +En 1878, Auguste Mouchot inventó una máquina de vapor accionada con Energía Solar captada por un espejo cóncavo.
- +Samuel Langley creó una cocina que aprovechaba la Energía Solar.
- +En 1916 Charles Greely Abbott construyó un horno en el Monte Wilson.

Y estos son solamente un ejemplo, pues la creatividad del hombre ha inventado gran cantidad de artefactos solares. En la actualidad, su uso se ha comercializado mucho, aunque sigue en desconocimiento de la mayoría las potencialidades de uso del astro rey.

"Hasta la ínfima proporción que llega al techo de nuestras casas es muy superior, si pudiéramos utilizarla, a toda la energía que recibimos a través de los conductores eléctricos".

José A. Manrique

La Energía Solar no requiere ni transporte de combustible ni almacenamiento de electricidad, porque se puede Transformar con pequeños generadores eléctricos en el mismo sitio donde se vaya a consumir.

En la actualidad la transición de los hidrocarburos a los energéticos renovables ha colocado a estas industrias "ecológicas" en una oportunidad de desarrollo como antes jamás tuvieron. Los problemas para abastecimiento de energéticos por cuenta de la mayoría de los países en la actualidad es algo ya muy divulgado. Las fuentes renovables son ahora un medio de generación y utilización de la energía en forma significativa.

Sólo una tercera parte de la población mundial alcanza o ligeramente supera un nivel de subsistencia en el consumo de energía, que es aproximadamente 2,500 kW/h al año per cápita. Los países en vías de desarrollo tienen un nivel de alrededor del 10% del consumo per cápita de los países de Europa occidental. Además, el consumo a nivel de subsistencia proviene esencialmente de materiales energéticos no comerciales (madera, residuos de las cosechas, estiércol y del trabajo humano y animal), con una eficiencia de utilización energética de aproximadamente una quinta parte de la que proporcionan los materiales energéticos comerciales. De esta forma el consumo eficiente de energía per cápita, ajustado para que refleje el "trabajo útil", es en realidad alrededor de un 2% del de Europa occidental.

"Probablemente no existe una sola respuesta al dilema energético de las naciones pobres; más bien se necesitarán una mezcla de enfoques de apoyo mutuo de carácter técnico, institucional y de desarrollo. Entre los enfoques técnicos que podrían mejorar la situación actual, y de esta forma evitar la posibilidad de un futuro bastante negro, sería la utilización más intensa de recursos energéticos renovables, específicamente la Energía Solar. En este caso, la conversión directa de Energía Solar en electricidad a través de pilas solares es de gran interés. Se ha reconocido que los sistemas fotovoltaicos poseen muchas características favorables: modularidad (de esta forma se puede graduar su tamaño); no tienen partes móviles; tienen un bajo costo de mantenimiento; y potencialmente, tienen una vida larga. Por otro lado, se ha expresado bastante incertidumbre sobre los costos de capital (o primeros costos) y sobre la fiabilidad del sistema."²

²SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE POTENCIA PARA LAS ZONAS RURALES DE LOS PAISES EN VIAS DE DESARROLLO; NASA Technical Memorandum 79097; NASA; 1979; USA; pg. 3.

Originado por la creciente escasez de hidrocarburos, aparece la necesidad de investigar con las fuentes de energéticos renovables, como la energía del viento, biomasa, energía de las pequeñas caídas de agua, energía mareomotriz y la Energía Solar.

El uso directo de la Energía Solar no es nuevo, pero tenemos nuevos materiales con que trabajar, como los plásticos baratos y resistentes al Sol y semiconductores de alta pureza. Tenemos nuevas ideas científicas, experiencias acumuladas en ingeniería y un conocimiento más amplio de las necesidades mundiales y de sus posibilidades de resolución. Por tanto, es importante reconsiderar todas las maneras en que la ciencia y la tecnología pueden ayudar a convertir en algo práctico el uso directo de la Energía Solar.

Debido a esto, los países menos desarrollados económicamente son los que tienen una urgencia más inmediata de investigación sobre Energía Solar.

El programa espacial proporcionó el incentivo para el desarrollo y producción de los primeros sistemas fotovoltaicos prácticos, que han suministrado energía eléctrica en muchos vehículos espaciales, tripulados o no.

Sobre los usos, existen gran cantidad de aplicaciones al uso de la Energía Solar: calentamiento de agua para consumo doméstico, procesos de secado, destilación de agua, calefacción y enfriamiento de ambientes, bombeo de agua y/o generación de cantidades moderadas de electricidad para áreas rurales remotas, etc.

El calentamiento de agua es quizá la aplicación más atractiva del uso de la Energía Solar. Dados los niveles tan bajos de temperatura requeridos por el agua para consumo casero (40°C - 60°C), la sustitución por la Energía Solar de los combustibles convencionales (gas natural, gas LP, petróleo, leña), constituye una alternativa muy agradable para el ahorro de energéticos. Como ejemplo puede citarse que la demanda anual de calentadores es del orden de 500,000 unidades (en 1984 en USA), por lo que el mercado potencial de calentadores de Energía Solar es alentador.

El problema de la Energía Solar consiste en aprovecharla de forma suficientemente barata para competir con los métodos actuales basados en combustible, electricidad, fuerza animal o humana, en cualquier lugar determinado.

Y según José Manrique:

"La potencialidad económica de un país depende de sus recursos energéticos".

El hombre no ha hecho más que empezar a dirigir su ingenio científico y tecnológico hacia el objetivo de convertir su fuente de energía más abundante y segura, la luz solar, en electricidad, la forma de energía más conveniente y adaptable.

"Volver a inventar la rueda es un riesgo periódico al que está sometida la Ciencia, y nada lo demuestra mejor que el redescubrimiento periódico del uso de la Energía Solar".

José Manrique

Se han pretendido reducir estas páginas iniciales, así como el resto del presente estudio a conceptos que no requieran un nivel de conocimientos elevados, con el objeto de hacer esta obra de fácil comprensión y consulta casi para cualquier lector interesado. El uso frecuente de tablas y ejemplos permite seguir un desarrollo práctico de la tesis y ofrecen la posibilidad de un uso más dinámico por parte de cualquiera con inquietud de aplicar la tecnología solar a su propia vivencia.

CAPÍTULO 1:

**EL SOL Y LAS RADIACIONES
SOLARES EN LA TIERRA**

En este primer capítulo, se comentarán aspectos de interés general sobre el astro rey que nos alumbra. Nos internaremos superficialmente en los campos de la astronomía y la geometría celeste al analizar las relaciones que existen entre el Sol y nuestro planeta, las posiciones relativas que guardan uno frente al otro en sus movimientos a lo largo de los días, las estaciones y el año.

Se pretenderá hacer también una breve descripción de las características geográficas que conlleva un punto situado en la superficie de la Tierra, con una particular atención a la posición de la Ciudad de México.

Posteriormente se iniciará el estudio formal de las radiaciones solares con la exposición de algunos de los parámetros que las definen: su composición, su magnitud, distribución en el espectro electromagnético, medición y pérdidas debidas a condiciones atmosféricas y de superficie.

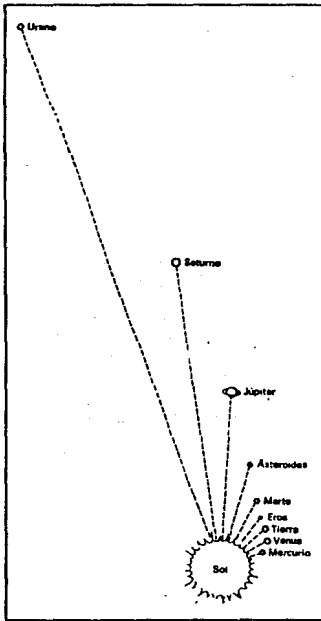
Iniciemos pues, esta tesis, con el conocimiento de un gran desconocido, que lo ha sido para muchos de nosotros: El Sol.

Según astrónomos, matemáticos, químicos y geólogos, el origen de nuestro sistema solar tiene base en una teoría que se ha llamado "nebular" o "del protoplaneta". Según ésta, se supone que una gran nube de gas llenó una vez la región del espacio donde ahora existe el sistema solar. Este gas estaba compuesto de la "mezcla cósmica" conjunto de moléculas gaseosas existentes en todas las zonas del universo. De cada 1,000 átomos, 900 son de hidrógeno, 97 de helio y los 3 restantes de elementos más pesados, tales como carbono, oxígeno y hierro. Lentamente, esta nube primitiva comenzó a girar. Al parecer, su rotación no se desarrolló suavemente. La nube turbulenta presentaba analogías con un gran remolino que daba lugar a otros más pequeños, en mutación continua, mientras giraba en el espacio todo el volumen. El gran remolino central, al contraerse antes que el resto del la nube, se transformó en un objeto oscuro y más denso: el "protosol".

Gradualmente las fuerzas gravitatorias y centrífugas que obraban en la nube, la aplanaron y le dieron la forma de una enorme lámina circular. En una especie de batalla cósmica dentro del disco así formado, algunos de los remolinos pequeños existentes ganaron materia, mientras otros la perdieron. Finalmente aparecieron una serie de discos giratorios alrededor del protosol; cada uno de ellos era un protoplaneta.

En el núcleo del protosol se inició el proceso de fusión termonuclear que originó su brillo y liberación de energía, transformándose entonces en una estrella, a la que los hombres hemos dado el nombre de Sol.

1.1.1. Características del Sol



f.1.1. El Sistema Solar

El primer dato con el que los astrónomos cuentan, dentro de todo su conocimiento de la esfera terrestre, para establecer una relación entre nuestro planeta y el resto del Sistema Solar, es la distancia que hay entre nosotros y el astro que nos ilumina. Durante muchos siglos se intentó precisar este valor, a través de la tecnología de cada época, obteniéndose resultados muy interesantes, pero solamente aproximados.

En la actualidad, y gracias a los modernos equipos de observación y al uso de las computadoras, se ha establecido una distancia entre la Tierra y el Sol. Esta medición toma en cuenta aspectos como la órbita terrestre y las expansiones que sufre ésta con el tiempo. Este valor es de 149'503,000 kms.; la distancia mínima (perihelio) se logra alrededor del 15 de enero, y la máxima (afelio) a fines de junio.

Conocida la distancia de la Tierra al Sol, se puede calcular el diámetro de este último, que es de 1'391,100 km (109 veces mayor que el de la Tierra). Y precisando el diámetro solar, se deducen la circunferencia, superficie y volumen, que son, respectivamente, y en números redondos, de 4'850,000 km; de 6'000,000'000,000 de km^2 , y de 1'381,000'000,000'000,000 de km^3 . El volumen acabado de precisar, se refiere al núcleo aparente de la masa solar, ya que sus expansiones, alcanzan alturas sobre la superficie del Sol de varios centenares de miles de kilómetros.

Con estos datos expuestos, y sabiendo los elementos más importantes que lo componen, ponemos a calcular su masa que es 334,000 veces mayor que la de la Tierra.

En resumen, tenemos que:

CONCEPTO	MAGNITUD
Perihelio	15 de enero
Afelio	finales de junio
Día metro solar	1'391,100 km
Circunferencia	4'850,000 km
Superficie	6'000,000'000,000 km ²
Volumen solar	1'381,000'000,000'000,000 km ³
Masa solar	334,000 veces la terrestre

1.1.2. Características del Sol

un cuerpo sólido, sino que más bien es un cuerpo en estados fluido y gaseoso, lo que origina fenómenos muy variados, asombrosos y complicados, como los que se comentarán más adelante.

Dentro de los movimientos más interesantes que efectúa el Sol, está el de rotación, que se lleva a cabo de manera similar al de la Tierra. La línea o eje alrededor del cual gira el foco que nos ilumina se dirige hacia la estrella Dzeta de la constelación del Dragón. El giro lo realiza en 25 días y 12 horas, aunque no debe olvidarse que la velocidad de rotación, tratándose de un astro fluido, varía con la latitud, alcanzando el Sol el valor máximo a los 35°, estimándose que en su ecuador es de unos 2 kms por segundo.

1.1.2. Capas del Sol

Se comprende, desde luego, el elevadísimo grado térmico que alcanza el Sol, a juzgar por lo que éste nos abraza en verano en las zonas templadas, y casi siempre en la tórrida. Y ese calor que recibimos del Sol, lo explica perfectamente la ley que dice: "La intensidad del calor radiante es directamente proporcional al coseno del ángulo de incidencia." De ahí que cuando el gran lumínico se halla en el cenit, recibimos la máxima cantidad de calor. De esta ley parte el estudio de los efectos del calor solar, no sólo en la Tierra, sino en los colectores para energía solar y en las mismas construcciones.

En el Sol se han encontrado casi todos los elementos conocidos en la Tierra, la mayoría en la misma proporción que en ésta, con excepción del hidrógeno, que en el Sol es miles de veces más abundante que otros elementos, y el helio, que llega a algo más de la décima parte del hidrógeno.

Es importante aclarar que la masa del Sol no representa

NÚCLEO: Temperatura: se estima entre 8 y 40 millones de kelvins.

Densidad: de 80 a 100 veces la del agua

Aquí se genera el 90% de la energía total; se concentra el 40% de la masa solar.

En la superficie, la temperatura desciende hasta 130,000 K y la densidad es de alrededor de 0.07 g/cm^3 . A esta zona se le llama **Zona Convectiva**.

FOTOSFERA: Espesor medio: 450 kilómetros.

Densidad media: $1 \times 10^{-8} \text{ g/cm}^3$.

Temperatura: 4,000 K a 7,000 K.

Es la capa más brillante e inmediata al Sol en la que aparecen las manchas solares y las fáculas. Las manchas, se supone que son esos inmensos torbellinos que de tiempo en tiempo agitan la atmósfera solar, tal cual los ciclones conmueven la terrestre. Es aquí donde se genera la mayoría de la radiación.

CAPA INVERSORA: Espesor: de 1,000 a 1,500 km.

Temperatura: por ser la capa que rodea a la Fotosfera, su temperatura es menor que la de ésta.

Toma el nombre de inversora debido a que convierte en oscuras las rayas brillantes del espectro solar.

CROMOSFERA: Sigue, en sentido ascensional, a la capa inversora.

Espesor: es de unos 10,000 a 15,000 km.

Densidad: $1 \times 10^{-13} \text{ g/cm}^3$

Temperatura: Crece hacia el exterior de 5,000 K a 300,000 K.

Se presenta como un inmenso cerco de brillante color escarlata. Las llamaradas que forman sus gases se las conoce con el nombre de **protuberancias**. Está formada por gases más fríos.

CORONA SOLAR: Espesor: se extiende y puede seguirse, hasta más allá de 3 millones de km.

Densidad: $5 \times 10^8 \text{ átomos/cm}^3$.

Temperatura: 2'000,000 K

Es el tenue halo resplandeciente, bello y plateado, de intensidad igual a 0.6 del brillo de la Luna en su lleno, sólo visible cuando ésta eclipsa al Sol. En la corona se ha descubierto un gas: el **coronium**, que aún no se ha podido identificar con ninguno de los conocidos.

1.1.3. La Actividad solar

Toda la energía que produce el Sol, la podemos evaluar en términos de radiaciones electromagnéticas. La luz, el calor, los rayos infrarrojos y los ultravioletas son en último caso, la misma cosa; la diferencia estriba en una condición particular de las radiaciones y que es la frecuencia o longitud de onda a la que se mueven las partículas que las forman. Ellas muestran características dobles que son explicables en términos de teorías corpusculares y ondulatorias. El contenido en energía de la radiación se determina por esa longitud de onda.

Las longitudes de onda más cortas representan un mayor grado de energía, mientras que las ondas más largas son pobres en contenido energético. La totalidad de la radiación solar puede convertirse en calor, pero únicamente los componentes de onda corta y gran energía podrán producir un efecto fotoeléctrico lo que es de gran importancia para el estudio que estamos presentando.

Dentro de todo el espectro de la radiación electromagnética, la radiación térmica se encuentra comprendida entre 0.2 y 100 micrómetros, y la energía solar que recibe la superficie de la Tierra se encuentra entre 0.3 y 2.5 micrometros.

La energía irradiada por el Sol en su periodo de máxima actividad aumenta de un 3 a un 5% su valor en tiempo normal. El ritmo de la actividad solar, es, por término medio, de 6.6 años, entre el mínimo y el máximo, y 6.5 años entre el máximo y el mínimo. En general, durante el lapso de mínima actividad se pasan semanas enteras sin que asome sombra alguna en el Sol; en cambio, en el de su actividad máxima, casi siempre se le observan varias.

En los estudios sobre la energía que irradia el Sol, constantemente se cuestiona la estabilidad del Sol y la conservación de su energía a través de millones y millones de años. Descifrarlos es la constante preocupación de muchos espíritus sabios que no pueden explicarse que el Sol lleve millares y millares de siglos irradiando energía en cantidades fabulosamente fantásticas por lo grandes, sin que se haya enfriado sensiblemente. Veamos lo que al respecto dice Comás Solá, en su Teoría Corpuscular Ondulatoria:

"Si la pérdida de energía o masa, debida a la proyección de fotones, o elementos fundamentales de la radiación, representa la pérdida para el Sol de unos 4 millones de toneladas por segundo; al régimen actual de radiación, la vida del Sol puede prolongarse, por esa sola causa, hasta 173,000 millones de siglos, cantidad de tiempo suficiente para satisfacer todas las exigencias de la geología y de la evolución de los seres vivientes."³

³Tomado de: EL SOL EN LA MANO. Op. Cit. Pg. 41

1.2. LA TIERRA

1.2.1. Características

La Tierra, esta pequeña porción de tierra en la que nos ha tocado vivir, gira sobre un eje, el polar, a la velocidad de 432 metros por segundo, en un punto del Ecuador; mientras se traslada, describe una curva sensiblemente circular, alrededor del Sol.

A la velocidad de unos 29 km por segundo, recorre en un año, los 973'728,000 km que, aproximadamente, tiene su órbita. Órbita plana y aparentemente cerrada, que es una elipse. Sabemos que es una elipse por una conclusión que podemos comprobar con sencillez en las 365 variaciones sucesivas que para un observador terrestre, tiene el diámetro aparente del Sol, en cada vuelta anual que la Tierra da a su alrededor. Cambios, en la magnitud del diámetro solar, que indican, claramente, que sólo pueden ocurrir hallándose el Sol en un foco de una elipse; curva que lleva en sí una excentricidad numérica⁴, que es actualmente de 0.016740, por ser la distancia focal de unos 4'825,000 km y el semieje mayor, de unos 150'750,000 km. Por esto, podemos determinarla y trazarla como un dibujo geométrico.

La Tierra pasa por el **perihelio**, o distancia mínima al Sol, a la velocidad máxima de 30,000 m/s; y por el **afelio**, o alejamiento máximo, a la velocidad mínima de 28,960 m/s.

Al definir la Eclíptica, podemos internarnos en el vastísimo campo de la astronomía, con complicadísimas ecuaciones y asombrosas deducciones. Al respecto, Beltrán de Quintana, tiene una interesante exposición, en su libro "El Sol en la mano", que no me gustaría dejar de mencionar:

"La eclíptica es la línea, casi circular, que el Sol describe, aparentemente, en la bóveda celeste al recorrerla año tras año. Órbita, que en realidad es la Tierra la que recorre en su eterno movimiento de traslación en derredor del Sol. Nombre de eclíptica, que debe su origen al hecho de que los eclipses tienen lugar cuando la luna está en ese plano, o se halla muy próxima a él.

"Si se prolonga indefinidamente el plano que contiene a la eclíptica, corta a la esfera celeste según un círculo máximo, que es paralelo, y equidista unos 9°, a otros dos grandes círculos que en el firmamento señalan la faja del Zodiaco; faja en la que se hallan las doce constelaciones que recorre el Sol en su curso anual aparente; faja o zona en la que también se proyectan los planetas al recorrer sus órbitas. Constelaciones las del Zodiaco, conocidas desde la más remota antigüedad, que constituyen los doce bellos signos que responden a los nombres que unos grupos de estrellas dan con las figuras de Aries, Tauro, Géminis, Cáncer, Leo, Virgo, Libra, Escorpión, Sagitario,

⁴Es la relación entre la excentricidad lineal o distancia de un foco al centro de la elipse y el semieje mayor de ésta.

Capricornio, Acuario y Piscis; ocupando cada una de ellas, en la faja zodiacal, un ancho aproximado de 30° , que es el cociente de dividir los 360° de la circunferencia, en doce partes, que a su vez, corresponden a los doce meses del año. Cuando el Sol, en su movimiento aparente está en Aries, en marzo; en Cáncer, en junio; en Libra en septiembre, y en Capricornio, en diciembre; por ser la Tierra la que en realidad se traslada alrededor del Sol, cuando para nosotros al astro luz se proyecta en dichas posiciones celestes, es la Tierra la que se halla en las cuatro posiciones diametralmente opuestas a las que ocupa el Sol en dichos meses; o sea que el globo está, respectivamente, en Libra, en Capricornio, en Aries, y en Cáncer.”⁵

El eje de rotación terrestre se mantiene, invariablemente, paralelo a sí mismo durante el recorrido de la órbita, con cuyo plano forma, actualmente, un ángulo de $66^\circ 33' 15.3''$. Siendo el eje terrestre o polar, perpendicular al plano del Ecuador, los ángulos respectivos que forman el eje de la Tierra y la normal al plano de la eclíptica; y el plano de ésta con el Ecuador son de $13^\circ 26' 44.7''$, por ser complementarios del ángulo de $23^\circ 26' 44.7''$ que forman el plano de la eclíptica y el del Ecuador, constituyendo la oblicuidad que la eclíptica determina en la Tierra, la posición de dos círculos menores equidistantes del Ecuador, denominados trópicos, que tienen, para nuestro planeta importancia crucial.

La Tierra, por la acción perturbadora de los planetas y de su mismo satélite, la Luna, está animada de otros movimientos además de la rotación y la traslación, que salen un poco del tema de esta tesis, pero por su interés considero deben ser comentados.

Uno de estos movimientos es el de Oscilación o Bamboleo que experimenta el plano de la eclíptica, en un periodo de unos 40,000 años.

La Tierra tiene otro movimiento: es el conocido con el nombre de Precesión o Retrogradación de los equinoccios consistente en el giro lento, lentísimo, que la línea de intersección del plano de la órbita con el Ecuador, o línea equinoccial, verifica en sentido Este-Oeste, o sea de modo contrario -retrógrado- al movimiento de la Tierra sobre su órbita.

Es el siguiente, complicado y sinuoso, que se llama de Nutación, debido, en gran parte a las sensibles irregularidades que tiene el movimiento de la Luna en su órbita. Y ese movimiento de nutación de Tierra tiene un periodo igual a 18 años y 8 meses.

⁵EL SOL EN LA MANO. Op. Cit. pgs. 62s.

Otro movimiento, debido al desplazamiento, en el sentido en que la Tierra se traslada, del eje mayor de la órbita terrestre, o línea de los Ápsides⁶, en un periodo de 21,000 años.

Uno más, debido a las variaciones que en el transcurso del tiempo experimenta la excentricidad de su órbita, que actualmente es, como ya se dijo, de 0.016740, cantidad que va disminuyendo lentamente, calculándose que dentro de unos 24,000 años, llegará a su mínimo de 0.003314.

Y no acaban con los descritos, los movimientos de la Tierra, ya que se le observan más. Sin embargo, todos ellos son insignificantes, comparados con los expuestos; y todos ellos consecuencia, también, de la acción perturbadora que algunos planetas ejercen sobre el nuestro.

A la serie de notables movimientos que animan a nuestra Tierra, que tan firme y estable la sentimos, hay que añadir otro muy grande: es el que proviene, según afirman casi todos los astrónomos, del que tiene el Sol, que si bien aparenta estar fijo en el espacio, se dirige, a la velocidad de 20 kilómetros por segundo, hacia un punto llamado **Apex**, de la constelación de Hércules. Nuestra Tierra con el Sol y demás miembros del sistema, cambian, diariamente, de lugar, posiciones que distan entre sí aproximadamente 1'728,000 km, o sean, al año, más de 600 millones de km.

Este movimiento resultaría de velocidad insignificante, si se le compara con otro, que según afirman autoridades en astronomía, tiene el Sol como astro integrante del universo galáctico: es el de traslación, con toda su familia de astros, alrededor del centro de gravedad de la Vía Láctea, a la velocidad de unos 270 km por segundo.⁷

La Tierra no es completamente esférica, sino que se deforma, achata o aplana más y más a medida que se separa del círculo máximo o Ecuador, y se acerca a los extremos de la línea perpendicular a dicho círculo, o sean los polos. Esta forma aplanada se produjo cuando nuestro mundo adquirió plasticidad en la lejana época que dejó de ser un cuerpo fluido, en virtud del rápido movimiento de giro alrededor de su eje. Este movimiento lleva en sí una fuerza centrífuga, o de repulsión, que tiene un valor máximo en el Ecuador y se anula en los polos.

La forma o figura de la Tierra es un esferoide, que según Hayford⁸, responde a un radio polar de 6'456,909 m, y a un radio ecuatorial de 6'378,388 m; diferencias que

⁶Palabra griega que significa enlace, y que lo es, efectivamente, pues une los puntos de la órbita que coinciden con el afelio y el perihelio, o sean, como ya indicamos, los que distan, respectivamente, más y menos del Sol.

⁷Para un estudio más detallado, consultar "El Sol en la Mano", Op. Cit. pgs. 64ss.

⁸Op. Cit. pg. 69.

acusan un aplanamiento polar igual a 1:297; entendiéndose éste por la relación que existe entre la diferencia de los radios ecuatorial y polar, al radio ecuatorial.

Y de los valores debidos a Hayford, aceptados internacionalmente, se han deducido la superficie y el volumen de nuestro planeta, que son, respectivamente, de 509'950,714 km² y 1'082,842'320,000 km³.

Sin embargo, la geometría terrestre no coincide perfectamente con el esferoide expuesto, debido en parte a los accidentes de la superficie. Por lo tanto, ha de tener, como en efecto tiene, la suya propia. Es la forma llamada **Geoide**, cuya superficie es algo ondulada con respecto al elipsoide ideal del Hayford.

Para poder estudiar el fenómeno que significan las radiaciones solares sobre la superficie de nuestro planeta, debemos primero conocer algunas de las variables que lo conforman astrológica y geológicamente. Tomando a la Tierra como cuerpo o unidad de comparación tenemos que:

CONCEPTO	MAGNITUD
Distancia media de la Tierra al Sol	149'503,000 km
Radio ecuatorial	6'378,388 m
Aplanamiento polar	1:297
Volumen	1'082,841'320,000 km ³
Superficie	509'950,714 km ²
Año trópico o solar	365 d. 5 h. 48m 45 s 8
Rotación o día sideral	23 h. 56 m. 4.091 s.
Revolución o año sideral	365 d. 6 h. 9 m. 5 s
Excentricidad de órbita	0.016740
Masa	5'981,815'041,680'000,000 Ton
Densidad	5.5 tomando el agua como unidad
Velocidad de escape	11.19 km/s

f.1.3. Dimensiones de la Tierra

1.3. RADIACIÓN SOLAR EN LA ALTA ATMÓSFERA

En el estudio presente, hemos de considerar el largísimo viaje que lleva acabo la radiación desde que parte de su origen estelar hasta que es aprovechada por los sistemas desarrollados por el hombre con este fin. Al respecto, se han realizado varios estudios que han colocado a las radiaciones electromagnéticas dentro del campo comprensible de las ciencias.

Podemos imaginarnos a la radiación partiendo de la superficie solar como haces de flechas dirigidas hacia nuestro planeta y hacia todo el Cosmos. Imaginemos también que colocamos una ventana en cualquier parte del espacio, con un área definida y perpendicular a estos haces. La cantidad de flechas que atraviesan por la ventana es la intensidad de la radiación en un sitio dado. La intensidad es medida comúnmente en **Watts por metro cuadrado (W/m^2)**, es decir, es la cantidad de radiación que atraviesa una superficie dada en un tiempo preciso. Un W/m^2 es un Watt radiado por metro cuadrado.

1.3.1 Radiación solar: cantidad

La intensidad de la radiación que llega a los límites más altos de nuestra atmósfera muestra algunas variaciones, pero el valor medio, $1,395 W/m^2$, se considera la constante solar. Este valor tendrá las siglas I_{CS} a lo largo de esta tesis. **La constante solar se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del Sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación, en el espacio, y a la distancia media del Sol a la Tierra.** Un valor de $1\ 353 W/m^2$ fue propuesto por Thaeakaekara y Drummond.⁹

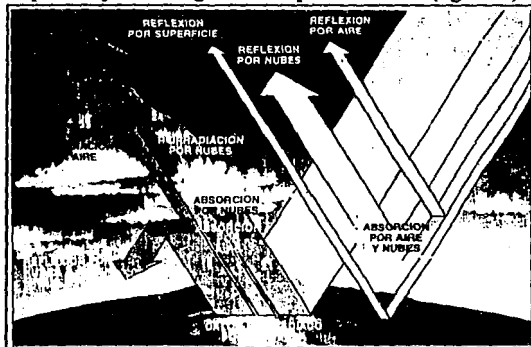
La radiación total incidente en la atmósfera es de 2.4×10^{15} Kcal/min o de 1.7×10^{14} kW. Este valor se reduce de tal manera que cuando alcanza la superficie de la Tierra, su magnitud está entre 1.275×10^{14} kW y 0, o lo que es lo mismo, distribuido en la superficie de la Tierra, $1,046 W/m^2$. Sin embargo, este valor es dependiente de variables como la contaminación, la inclinación del Sol, la nubosidad y otros factores. El valor diario promedio que ha sido calculado es de $9830 Wh/m^2$ día. Este dato es llamado **Constante Solar diaria sobre la superficie de la Tierra, y llevará las siglas Q_{sc} .**

⁹ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES; José A. Manrique; Editorial Harla; 1984; México.
Pg. 4.

La actividad de las manchas solares puede modificar la producción de energía en el Sol en $\pm 2\%$ y se da una variación de $\pm 3.5\%$ debido al cambio de la distancia entre la Tierra y Sol (152 millones de km en el afelio y 147 millones de km en el perihelio).

La constante solar se encuentra distribuida según distintas longitudes de onda. La radiación solar adquiere valores significativos entre 0.2 y 4.0 micrometros, aproximadamente según la forma de 95 W/m^2 en el ultravioleta, 640 W/m^2 en el visible y 618 W/m^2 en el infrarrojo.

En la atmósfera se dispersa, refracta y absorbe radiación, pero esto no forzosamente debe tener efectos indeseables, pues gran cantidad de estas radiaciones que no llegan a la superficie son ultravioletas e infrarrojas, que son perjudiciales para los seres vivos. La constante solar I_{CS} disminuye al penetrar a nuestra atmósfera al ser absorbida y reflejada por la atmósfera, el aire, vapor de agua, polvo y nubes; sin embargo, todavía una parte importante de la radiación alcanza a la superficie. El 33% se refleja al espacio como radiación de onda corta (reflexión por nubes: 23%, reflexión por aire: 6% y reflexión por superficie: 4%). 44% se refleja como radiación de onda larga al ser absorbida por la atmósfera y la superficie de la Tierra, lo que provoca un incremento en la temperatura, para ser irradiada de nuevo hacia el espacio (absorción por nubes: 21%, absorción por aire: 5%, reflexión a la atmósfera: 18%). Únicamente el 23% restante se acumula en el planeta, principalmente como calor en el agua de los mares, y pasa a ser la fuerza motriz de vientos, corrientes, olas, moldea nuestro clima y da lugar al ciclo hidrológico. En última instancia, también es re-irradiado hacia el espacio. Solamente un 7% del total, o sean $1.2 \times 10^{13} \text{ W}$, penetran en el sistema biológico por fotosíntesis en las plantas y otros organismos "productores" (fig f.1.4).



f.1.4. Pérdidas de la radiación solar en la atmósfera

Parte de la radiación viene directamente del Sol, pero a veces una cantidad que puede llegar al 10% del total, nos llega como **radiación difusa**, incluso cuando el Sol no está oculto tras las nubes. En tiempo nuboso la radiación total se reduce mucho y la mayor parte de la luz que atraviesa las nubes es probablemente difusa.

Debido a los cambios climáticos, originados también por influencia del Sol, la superficie del planeta se mantiene a una temperatura promedio de 20°C.

Si no existiera atmósfera, la cantidad de radiación solar que llegaría a la Tierra, dependería solamente del ángulo de incidencia de los rayos del Sol y de la duración del día.

El Sol suministra a la Tierra 30,000 veces el consumo total de energía de los países industrializados.

Originado por la creciente escasez de hidrocarburos, en la que el mundo entero se encuentra ya incluido, aparece la necesidad de investigar con las fuentes de energéticos renovables, como la energía del viento, biomasa, energía de las pequeñas caídas de agua, energía mareomotriz y la Energía Solar.

1.3.2. Radiación solar: calidad

En la radiación solar que incide sobre la atmósfera exterior, la distribución de energía entre las diferentes longitudes de onda es, en esencia, la misma de un cuerpo negro calentado a 6,000 K, como lo indica la línea delgada de la figura f.1.5. La línea gruesa presenta una distribución típica sobre la superficie de la Tierra. Es un espectro casi continuo desde aproximadamente 200 nm ultra-violeta, a 3,000 nm infrarrojo, con un máximo aproximadamente a 500 nm. La absorción atmosférica es en cierta medida selectiva, cambiando no sólo la cantidad, sino también la composición espectral de la radiación recibida. Los rayos X y la luz ultravioleta de longitud de onda menor de 2,000 Armstrongs son absorbidos por el oxígeno y el nitrógeno, y la mayor parte de la radiación de 2,000 a 3,000 Armstrongs es absorbida por el ozono de la atmósfera exterior. Existen anchas bandas de absorción en el rojo y el infrarrojo por el paso de la luz a través del dióxido de carbono que existe en la atmósfera en cantidad bastante constante (0.03%) y a través de las moléculas de ozono y agua que varían mucho en concentración. El agua, mediante el vapor y las pequeñas gotas de agua condensada, no solamente absorbe los rayos de mayor longitud de onda sino que dispersan una pequeña parte de la radiación solar de onda corta.

La fig. f.1.5 muestra los dos espectros en relación con la totalidad del espectro de radiación electromagnética. Los vacíos en la curva gruesa muestran las bandas

características de absorción de nuestros gases atmosféricos: oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, pero principalmente vapor de agua.

1.4. RADIACION SOLAR SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Para iniciar el estudio de la radiación en nuestra atmósfera, es importante conocer antes algunos conceptos derivados de nuestras condiciones atmosféricas. "Masa de aire" es la longitud de la trayectoria a través de la atmósfera que sigue la radiación. Al nivel del mar y cuando la trayectoria es vertical se tiene una masa de aire unitaria. De la figura f.1.6 se ve que la masa de aire es proporcional a la distancia:

$$OP = \frac{OO'}{\text{SEN } \theta_z}$$

donde θ_z : ángulo cenital o ángulo entre la vertical y la dirección de los rayos solares.

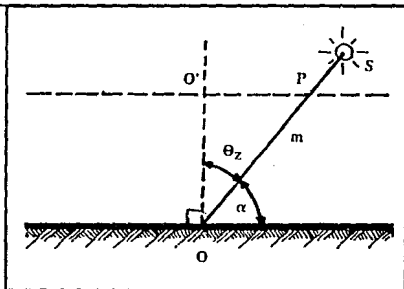
OO' : altura de la atmósfera [km].

m : masa de aire a la altura del mar.

Al nivel del mar se tiene $\theta_z=0$ y $m=1$, por lo tanto:

$$m = \sec \theta_z$$

(e.1.1)



f.1.6. Masa de aire

Una fórmula más exacta, que toma en cuenta la curvatura de la Tierra, para el nivel del mar es:

$$m = [1.229 + (614 \text{ sen } \alpha)^2]^{1/2} - 614 \alpha$$

donde α : altura del Sol en grados.

(e.1.2)

Si además decimos que p es la presión barométrica del lugar, y p_o es la presión atmosférica al nivel del mar, las dos expresiones anteriores deben multiplicarse por

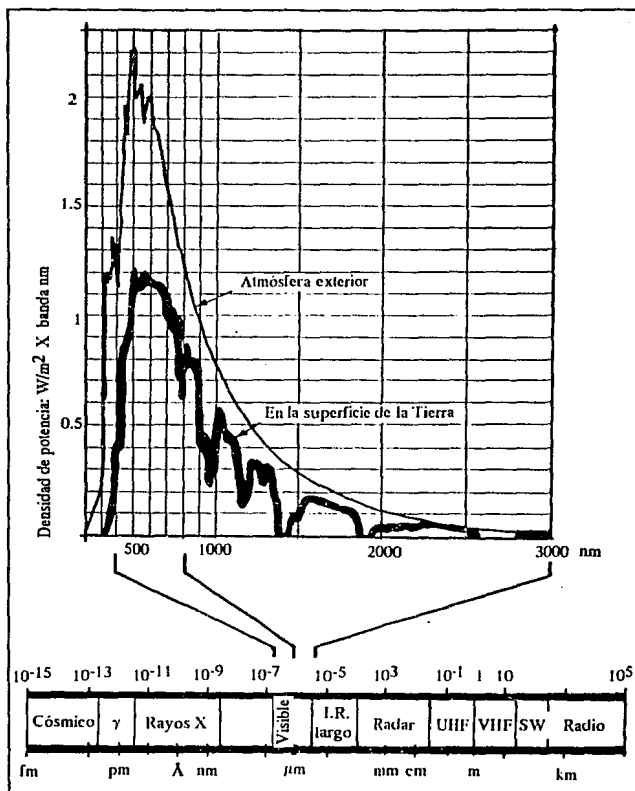
$$\frac{p}{p_o}$$

(e.1.3.).¹⁰

Como ya hemos visto, la radiación solar varía mucho de acuerdo con la duración del día, con el ángulo formado por la Tierra y los rayos del Sol, con la longitud y tipo del camino recorrido por los mismos a lo largo de la atmósfera, y particularmente con la cantidad de nubes. Por tanto, la radiación varía con la localización geográfica, la altitud y el clima.

En general, en el mundo, las cantidades de mayor Energía Solar se encuentran entre dos anchas bandas que rodean imaginariamente a la Tierra entre 15° y 35° de latitud Norte y Sur. En las mejores regiones, hay una radiación mínima mensual media de 5,800 Wh/m² día y una variación mensual total menor de 1,750 Wh/m² día. Estas regiones están situadas en las zonas ecuatoriales de los desiertos áridos de la Tierra, en la que se encuentra nuestro país. La pluviosidad es menor de 25 cm al año. En algunos países más de dos tercios de su superficie total es tierra árida, con más de 3,000 horas de Sol al año casi siempre, de las que el 90% llegan como radiación directa. Estas zonas son muy apropiadas para la aplicación de la Energía Solar.

¹⁰Op. Cit. Pgs. 7s.



f.1.5. Espectros de la radiación electromagnética

1.4.1. Radiación solar: datos

Los datos con los que contamos sobre las radiaciones solares son debidos al estudio de los meteorólogos y al uso de interesantes instrumentos de medición que han ido desarrollándose a lo largo de los años.¹¹

Los instrumentos de medida y registro son de varios tipos. Se pueden clasificar de varias maneras. Algunos dan medidas instantáneas y otros dan medidas integradas por

¹¹ Los meteorólogos piensan que se necesitan datos de ciclos solares de períodos de 10 a 11 años como mínimo, para conseguir una medición exacta de los valores de radiación en la Tierra y en algún punto de la superficie.

periodos de 1 hora o de 1 día. Algunos miden la radiación total y otros sólo la directa. Se hacen medidas en planos horizontales, verticales, normales o inclinados. Los principios involucrados en los distintos tipos de instrumentos incluyen la medida termoelectrica del incremento de temperatura en una superficie ennegrecida, midiendo el calor mediante un par termoelectrico graduado; medidas calorimétricas directas; evaporación de un volumen dado de liquido, medidas fotovoltaicas, medidas fotoquímicas y actinómetros fotoquímicos. Existe un amplio campo todavía para el desarrollo de instrumentos nuevos y más convenientes. Por no ser competencia de este trabajo, no se ahondará en detalles al respecto. Los instrumentos más importantes son los que describen a continuación.

PIRANÓMETRO. Se utiliza para registrar la radiación solar dentro de un campo de vista hemisférico. Puede darnos la radiación solar instantánea o el promedio de radiación para un intervalo dado de tiempo. Un piranómetro mecánico se basa en la dilatación de dos elementos bimetálicos que están expuestos a la radiación solar. Puede utilizarse de manera que solamente nos mida la radiación solar difusa.

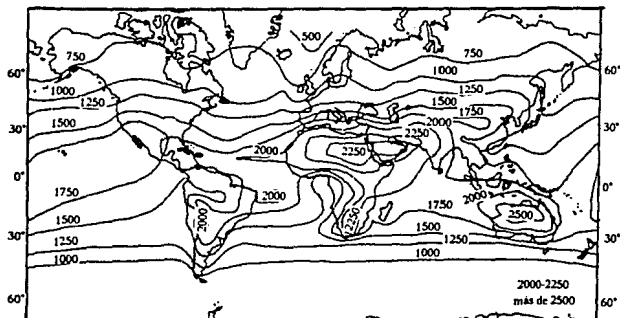
PIRHELIÓMETRO. Mide la radiación directa normal que proviene del Sol.

HELIÓGRAFO DE CAMPBELL-STOKES. Este equipo mide las horas de asoleamiento de un lugar.¹²

Si se piensa utilizar instrumentos focales, es importante saber cuál es la distribución de la energía solar entre difusa y directa, sobre todo para los arquitectos que proyectan edificios. En un día claro con nubes, una ventana orientada hacia el Norte y situada en el hemisferio Norte, puede recibir diez veces más radiación que en un día sin nubes. En la mayor parte de Europa, cerca de la mitad de la radiación total es difusa, aumentando la proporción en invierno, y disminuyendo en verano. En un observatorio de Massachusetts, el 40% de la radiación solar total al año es difusa, y en Sudáfrica, y en climas relativamente soleados, llega a ser del 30% del total.

Las tablas f.1.7 y f.1.8, nos muestran la distribución de la radiación solar a lo largo del planeta y durante el año.

¹²Al considerar si es práctico el uso de la energía solar en un lugar determinado, se puede tolerar un error de hasta el 5% en los instrumentos de medida de la radiación, ya que no se puede predecir con precisión el funcionamiento de las máquinas solares.



f.1.7. Tabla de radiación mundial

En México es notoria la falta de datos experimentales sobre radiación solar en nuestro territorio. Por medio de algunas relaciones, tomando en cuenta datos de fácil obtención, es posible obtener teóricamente valores como la radiación mensual promedio sobre una superficie horizontal en un lugar dado.

Tomando en cuenta que será la Ciudad de México el lugar geográfico al que remitimos los cálculos de la presente tesis, considero oportuno dar algunos datos al respecto de ella:

Altitud sobre el nivel del mar	2.240 m
Latitud (ϕ)	19° 26' N
Longitud	99° 8' O
Temperatura media anual	15.4°C

Si no hay datos disponibles de radiación, pero se registran las horas de Sol, uno puede estimar la radiación diaria total utilizando la expresión dada por Glover y McCulloch:¹³

$$I_b = Q_{sc}(0.29 \cos F + 0.52 \frac{n}{N})$$

donde I_b : Radiación diaria directa total [Wh/m^2 día].

Q_{sc} : constante solar por día [Wh/m^2 día].

ϕ : latitud del lugar.

n : horas reales de Sol por día

N : horas estimadas de Sol diario

(c.1.4)

¹³ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION; Szokolay, S.V.; Editorial Blume; 1978; España. Pg. 19.

El valor de Q_{SC} puede ser tomado como $9,830 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$.

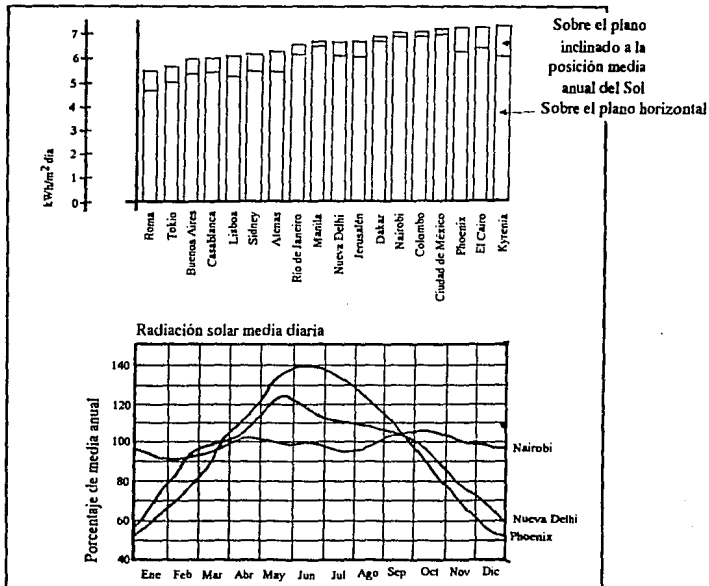


fig f.1.8: Radiación y variación anual de la radiación

EJEMPLO e.1.4.

Tenemos que $Q_{SC} = 9,830 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$

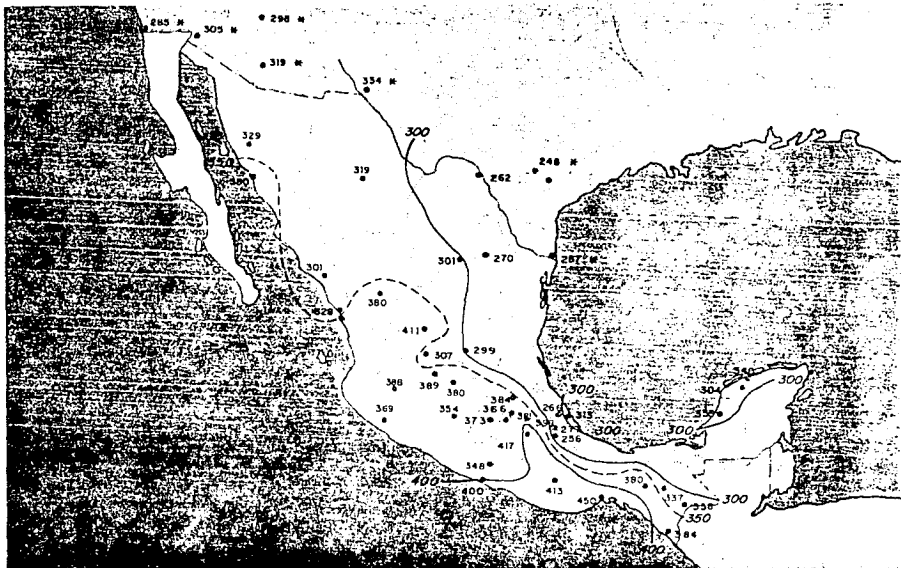
$\phi = 19^{\circ}26'$ (Cd. de México)

$$I_b = 9830(0.29 \cos 19^{\circ}26' + 0.52 \frac{n}{N}) = 2688 + 5111 \frac{n}{N}$$

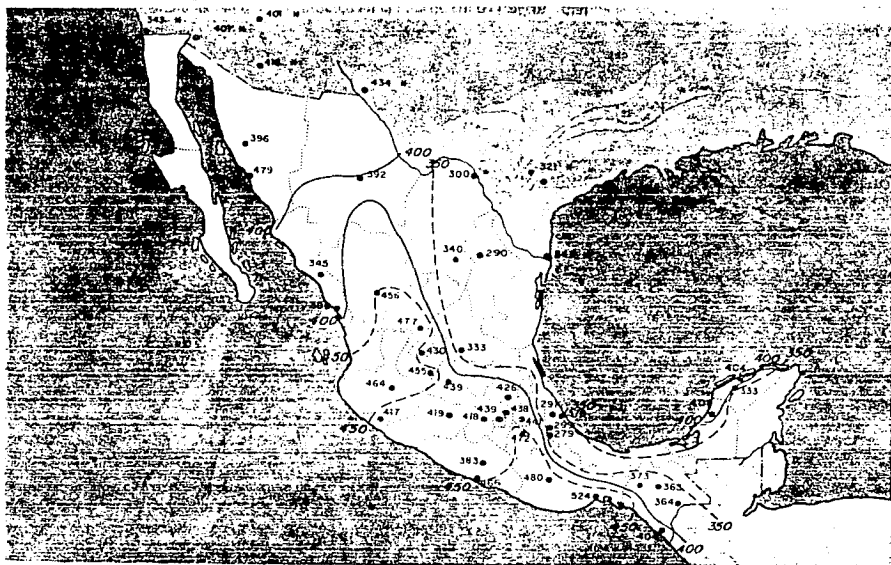
Ometto sugiere el uso de las constantes 0.26 y 0.51.¹⁴

El valor de N lo podemos encontrar en la fórmula e.1.8 y el valor de n de las gráficas f.1.9 a f.1.21 ó f.1.22 y f.1.23. Estas figuras muestran los datos de radiación mensual y anual para la República Mexicana. De aquí se ve que de casi $2'000,000 \text{ km}^2$ de territorio, casi 40% del país recibe más de $5,800 \text{ Wh/m}^2 \text{ día}$.

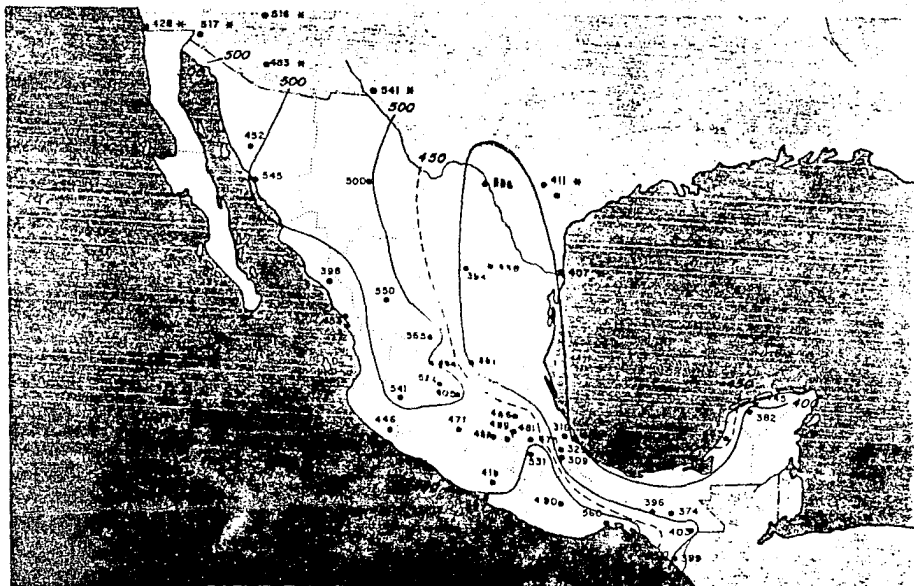
¹⁴Op. Cit. pg. 19



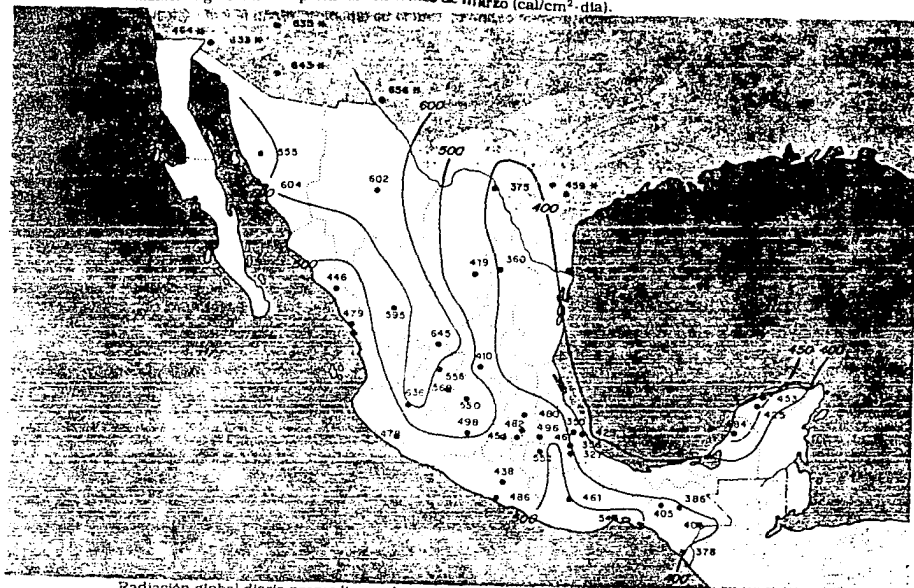
Radiación global diaria promedio en el mes de enero (cal/cm²·día).



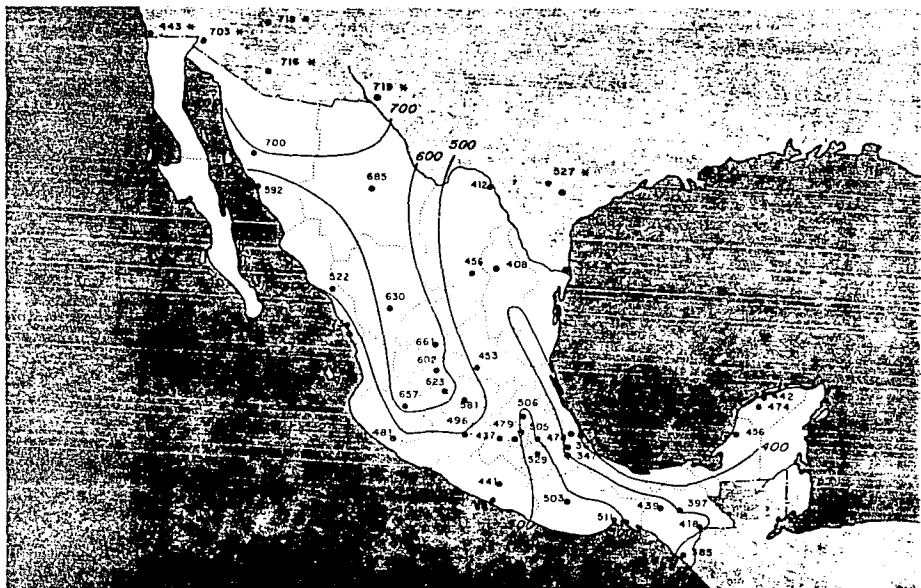
Radiación global diaria promedio en el mes de febrero (cal/cm²·día).



Radiación global diaria promedio en el mes de marzo (cal/cm²·día).



Radiación global diaria promedio en el mes de abril (cal/cm²·día).



Radiación global diaria promedio en el mes de mayo (cal/cm²·día).



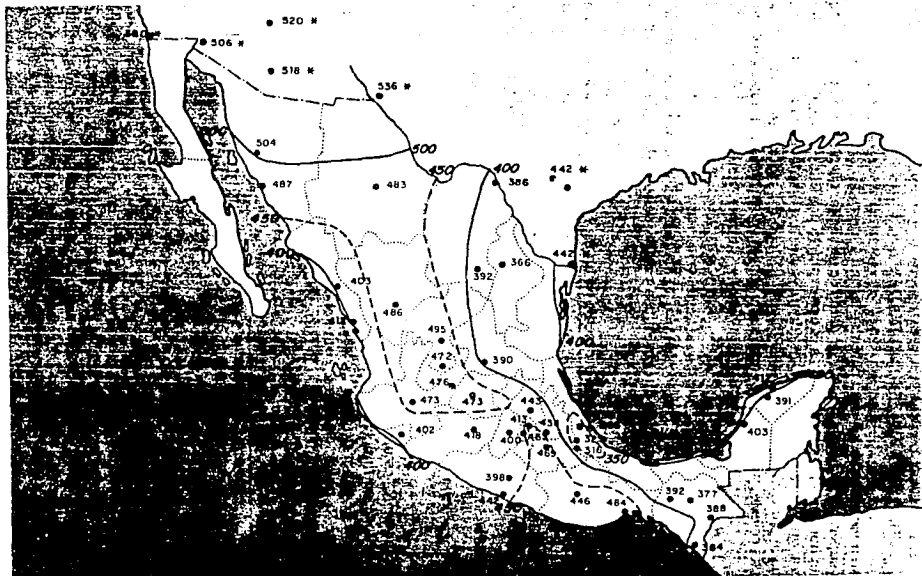
Radiación global diaria promedio en el mes de junio (cal/cm²·día).



Radiación global diaria promedio en el mes de julio (cal/cm²·día).

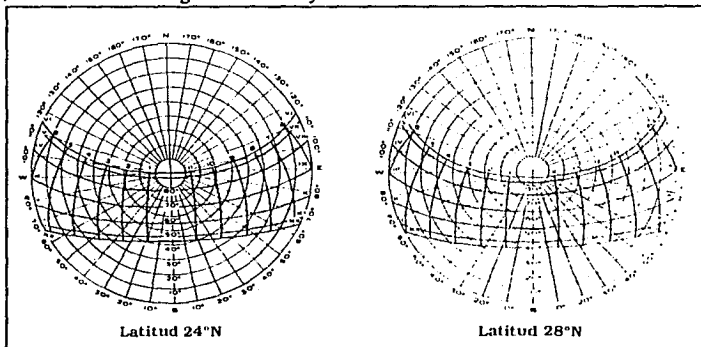


Radiación global diaria promedio en el mes de agosto (cal/cm²·día).



Radiación global diaria promedio en el año (cal/cm²· día).

La gráfica de la posición del Sol en la Ciudad de México para todos los meses del año, se encuentra en las gráficas f.1.22 y f.1.23.



f.1.22 a f.1.23 Posición del Sol en la Ciudad de México

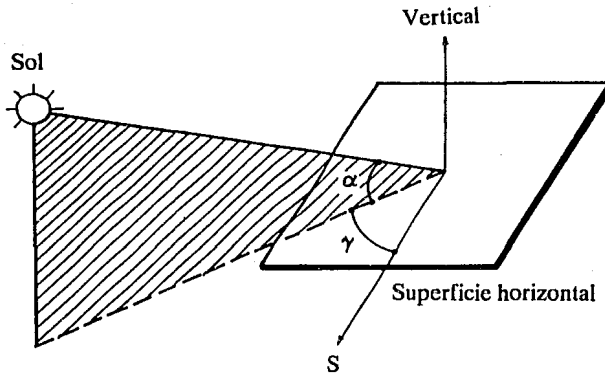
1.5. RADIACIÓN SOBRE PLANOS HORIZONTALES E INCLINADOS

Por los datos y las tablas expuestos en páginas anteriores, podemos conocer no sólo la cantidad de horas de asoleamiento por día y por año para la Ciudad de México, sino la cantidad de radiación o energía utilizable. Como se indicó en el punto 1.3.1. sería posible suponer una radiación solar de 1 kW/m^2 , en la superficie de la Tierra. Un metro cuadrado recibe 1 kW . Un techo de un edificio de 100 m^2 recibe 100 kW . Suponiendo una media de 1 kW/m^2 durante aproximadamente 8 horas, o un día, el techo de 100 m^2 recibe, en un día caluroso, $800,000 \text{ Wh}$ o bien, 800 kWh . Convertido a energía eléctrica con un rendimiento del 10%, se podrá obtener una media de 80 kWh mientras haya Sol, suficientes para soportar las necesidades eléctricas de una familia mexicana, como veremos en capítulos posteriores.

En las próximas páginas, conoceremos la energía que incide sobre superficies horizontales e inclinadas, lo que será de gran importancia para dimensionar y posicionar posteriormente un colector solar.

Cuando tenemos una superficie horizontal sobre la superficie de la Tierra, la radiación global, está formada por la suma de la componente de la radiación directa y la radiación difusa que proviene de la bóveda celeste.

La posición del Sol en la esfera terrestre puede quedar determinada mediante dos variables angulares: la altura solar α y el acimut solar γ . De la figura f.1.24 se puede ver que α es el ángulo que forma el Sol con la horizontal y γ define el ángulo que forman los rayos del Sol con el Sur. Para obtener estos valores, que no son muy fáciles de conocer, se utilizan valores de fácil obtención, como son la latitud del lugar ϕ , la declinación δ y el ángulo horario ω , que pasaremos a explicar.



f.1.24 Ángulos solares

La **latitud ϕ** es el ángulo que determina un lugar sobre la Tierra con respecto al plano del Ecuador. La **declinación δ** define la posición angular del Sol al mediodía solar, esto es, cuando el Sol está más alto en el firmamento con respecto al plano del Ecuador y puede calcularse según:

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \frac{360 (284 + d)}{365}$$

donde **d**: día del año.

(e.1.5)¹⁵

El **ángulo horario ω** es igual a cero en el mediodía solar y adquiere un valor de 15 grados de longitud por cada hora, siendo positivo en las mañanas y negativo por las tardes. Para simplificar los datos, tomaremos el mediodía solar como el mediodía horario, ya que la máxima corrección de tiempo es de 16:25 minutos.¹⁶

De aquí la altura y el acimut solares pueden calcularse fácilmente:

$$\operatorname{sen} \alpha = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \delta$$

(e.1.6)

EJEMPLO e.1.5.

¹⁵Una tabla completa de las declinaciones podrá encontrarse en ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES FOTOTERMICAS. Op. Cit. Pg. 15.

¹⁶Ver Op. Cit. Pg. 17

Si d = 1 de ene. = 1,	$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \frac{360 [284 + 1]}{365} =$	-23°
11 de mar. = 70,	$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \frac{360 [284 + 70]}{365} =$	$-4^\circ 25'$
20 de jul. = 201,	$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \frac{360 [284 + 201]}{365} =$	$20^\circ 38'$
16 de sep. = 259,	$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \frac{360 [284 + 259]}{365} =$	$1^\circ 49'$

EJEMPLO e.1.6.

Para los mismos días del ejemplo anterior, la Cd. de México y suponiendo las 6 am, 12 am y 6 pm:

+1 de enero : $\delta = -23^\circ$, 6am: $\omega = 90^\circ$

$$\operatorname{sen} \alpha = \cos 19^\circ 26' \cos -23 \cos 90 + \operatorname{sen} 19^\circ 26' \operatorname{sen} -23 = -0.13$$

$$\alpha = -7^\circ 28' \text{ (El Sol no ha salido)}$$

+1 de enero : $\delta = -23^\circ$, 12am: $\omega = 0^\circ$

$$\operatorname{sen} a = \cos 19^\circ 26' \cos -23 \cos 0 + \operatorname{sen} 19^\circ 26' \operatorname{sen} -23 = 0.74$$

$$\alpha = 47^\circ 34'$$

Continuando para las demás condiciones, formamos la tabla siguiente de valores de α :

	6am: $\omega = 90^\circ$	12am: $\omega = 0^\circ$	6pm: $\omega = -90^\circ$
1 de ene.	$7^\circ 28'$	$47^\circ 34'$	$7^\circ 28'$
11 de mar.	$1^\circ 29'$	$66^\circ 9'$	$1^\circ 29'$
20 de jul.	$6^\circ 44'$	$88^\circ 48'$	$6^\circ 44'$
16 de sep.	$0^\circ 36'$	$72^\circ 23'$	$0^\circ 36'$

$$\operatorname{sen} g = \frac{\cos d \operatorname{sen} w}{\cos a}$$

(e.1.7)

EJEMPLO e.1.7.

Continuando con los datos de ejemplos anteriores:

+1 de enero: $\delta = -23^\circ$, 6am: $\omega = 90^\circ$, $\alpha = -7^\circ 28'$

$$\operatorname{sen} g = \frac{\cos -23 \operatorname{sen} 90}{\cos -7^\circ 28'} = 0.92 \quad g = 68^\circ 11'$$

+1 de enero: $\delta = -23^\circ$, 12am: $\omega = 0^\circ$, $\alpha = 47^\circ 34'$

$$\operatorname{sen} g = \frac{\cos -23 \operatorname{sen} 0}{\cos 47^\circ 34'} = 0 \quad g = 0^\circ$$

Continuando los cálculos, formamos la tabla:

	6am: $\omega = 90^\circ$	12am: $\omega = 0^\circ$	6pm: $\omega = 2-90^\circ$
1 de ene.	68° 11'	0°	68° 11'
11 de mar.	85° 50'	0°	85° 50'
20 de jul.	70° 27'	0°	70° 27'
16 de sep.	88° 17'	0°	0°88° 17'

Utilizando estas ecuaciones es posible saber el máximo número de horas de asoleamiento diario de algún lugar:

$$N = \frac{2}{15} \text{ arc cos } (-\tan F \tan d)$$

donde N está en horas

(e.1.8.) 17

EJEMPLO e.1.8.

Con los datos del ejemplo e.1.5.

+ 1 de ene.: $\delta = -23^\circ$

$$N = \frac{2}{15} \text{ arc cos } (-\tan 19^\circ 26' \tan -23^\circ) = 10.85 \text{ horas}$$

+11 de mar.: $\delta = 4^\circ 25'$

$$N = \frac{2}{15} \text{ arc cos } (-\tan 19^\circ 26' \tan 4^\circ 25') = 11.79 \text{ horas}$$

+20 de jul.: $\delta = 20^\circ 38'$

$$N = \frac{2}{15} \text{ arc cos } (-\tan 19^\circ 26' \tan 20^\circ 38') = 13.02 \text{ horas}$$

+16 de sep.: $\delta = 1^\circ 49'$

$$N = \frac{2}{15} \text{ arc cos } (-\tan 19^\circ 26' \tan 1^\circ 49') = 12.09 \text{ horas}$$

Al lector se le invita a que calcule N para otros días.

Si debe relacionarse la posición del Sol con el edificio o incluso con una pared vertical en particular del edificio, deberá utilizarse el trazador de ángulo de sombra. Este dará lecturas de ángulos adicionales:

τ_0 , o ángulo de sombra horizontal, es la diferencia del acimut de la pared y del Sol (si la orientación, es decir, el acimut de la pared es τ_1 , entonces $\tau_0 = \tau_1 - \tau$). El valor de τ_0 se mide con respecto a la perpendicular a la pared.

ε , o ángulo de sombra vertical, es decir, el ángulo de latitud del Sol, proyectado en paralelo a la pared sobre un plano vertical, que sea perpendicular a la pared. Este normalmente será el plano de una sección del edificio. Cuando τ_0 es cero, es decir, el Sol está directamente enfrente de la pared, $\varepsilon = \phi$. En todos los demás casos $\varepsilon > \phi$. La relación puede expresarse como

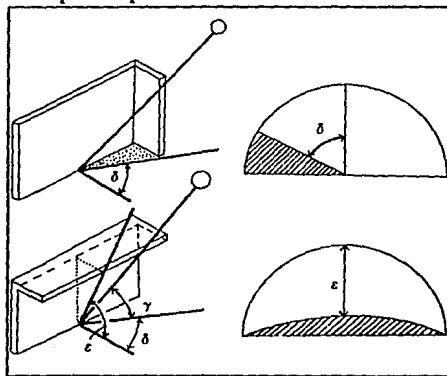
$$\varepsilon = \sec \tau_0 \tan \phi$$

(e.1.9).18

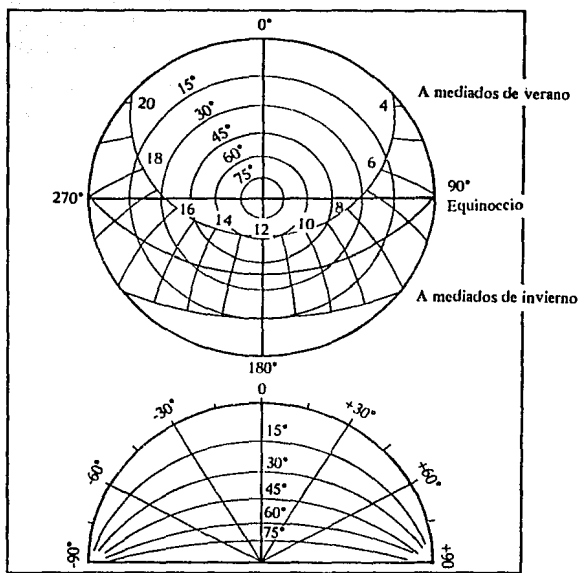
La fig. f.1.25 muestra el trazado del ángulo de sombra y la fig.f.1.26 ilustra el método para establecer los ángulos de sombra.

Los ángulos de sombra así obtenidos pueden ser empleados para medir el rendimiento de un dispositivo de apantallamiento o la penetración del Sol en cualquier momento dado, o el efecto de sobre-apantallamiento de otros edificios u objetos. El método, no obstante, no solamente es una herramienta de comprobación, sino que puede ser utilizado como herramienta de proyección de una forma más directa.

En el caso de tener una superficie inclinada, un ángulo s con respecto a un plano horizontal y que forma un ángulo acimutal τ_{1s} con respecto al Sur, tendremos unas nuevas relaciones que nos auxiliarán para conocer más adelante la cantidad de radiación solar incidente sobre cualquier superficie.



f. 1.25



f.1.25 Trazado de ángulos de sombra

El ángulo de incidencia de la radiación directa queda definida como el ángulo entre la normal a la superficie y el haz de radiación. La relación entre y los otros ángulos está dada por la relación:

$$\cos \phi = \sin \delta \sin \phi \cos s - \sin \delta \cos \phi \cos s \cos \tau_S + \cos \delta \cos \phi \cos s \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin s \cos \tau_S \cos \omega + \cos \delta \sin s \sin \tau_S \sin \omega$$

(e.1.10)¹⁹

La figura f.1.27 ilustra varios ángulos de inclinación adecuados para armar paneles colectores en el hemisferio septentrional. Como medida general, los colectores solares deberán inclinarse en un ángulo, con respecto al suelo, de por lo menos 10° más que su latitud. Así es que en la Ciudad de México a 19° de latitud Norte, su sistema de panel se inclinará por lo menos a 29° respecto de la línea horizontal. La inclinación para la ciudad de Monterrey a 25° 67' de latitud Norte, es de 35°. Con esta medida, se mejora el aprovechamiento del colector a lo largo de todo el año sin tener que utilizar mecanismos para seguir el recorrido del Sol durante el día y las estaciones del año. Sin

¹⁹ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES. Op. Cit. Pg. 19.

embargo, de poder hacer ajustes a la orientación a lo largo del año, la máxima captación en invierno se logra cuando $s=\phi+10^\circ$ y en verano cuando $s=\phi-10^\circ$.

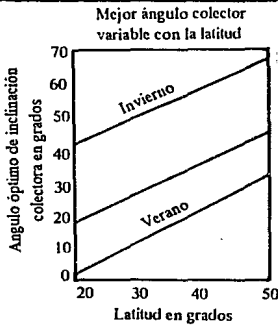
La dirección más efectiva en que se debe orientar el sistema colector oscila entre los 10° y 15° al Oeste de la posición Sur exacta, porque las temperaturas vespertinas son con frecuencia de 4°C a 5°C más elevadas que las de la mañana. Por eso dicha orientación permite obtener mayor provecho que la dirección Sur.²⁰

Utilizando estos datos de inclinación, la fórmula e.1.10 se transforma de la siguiente forma

$$\phi=19^\circ 26'; s=29^\circ; r_s=10^\circ$$

$$\cos \theta = 0.98 \cos \delta \cos \omega + 0.08 \cos \delta \sin \omega - 0.16 \sin \delta$$

(e.1.10')



f.1.27 Ángulos de inclinación para paneles

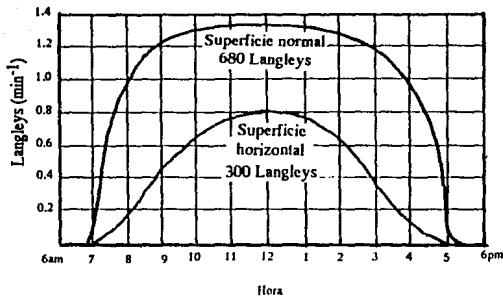
La figura siguiente (fig. f.1.28) muestra la diferencia de radiación recibida por una superficie perpendicular a los rayos del Sol y otra horizontal, en un día limpio a finales de octubre.

La radiación sobre un plano inclinado puede calcularse únicamente si se conocen los componentes directos y difusos.

Con estos datos, es posible conocer la radiación diaria promedio sobre una superficie inclinada. Existe el método de Liu y Jordan, en el que la radiación solar incidente sobre un plano inclinado, H_T , está formada por tres componentes: la radiación directa del Sol, la difusa procedente de la bóveda celeste, y

la reflejada por el suelo y los objetos cercanos a la superficie inclinada.

²⁰Un 50% de desviación sobre la orientación óptima significará solamente un 10% de reducción en la captación. No obstante, puede decirse con toda confianza que un 30% hacia el Oeste o el Este sobre el Sur, dará resultados bastante aceptables, es decir, la reducción será inferior al 2%. Una de las razones de ello es la alta proporción de radiación difusa, que no es direccional. Esta tolerancia será inferior en climas donde el componente directo de la radiación sea mayor.



f.1.28 Radiación en superficies inclinadas y horizontales

La ecuación de Liu y Jordan es la siguiente:

$$H_T = I_{b,h} \times R_b + I_{d,h} \times R_{dc} + (I_{b,h} + I_{d,h})R_\sigma$$

donde H_T : Radiación diaria promedio en una superficie inclinada

[Kwh/m² día]

$I_{b,h}$: Componente vertical de la intensidad de la radiación solar directa

$I_{d,h}$: Componente vertical de la radiación solar difusa

R_b , R_d , y R_ρ on los factores de conversión para las componentes de radiación directa, difusa y reflejada sobre la superficie inclinada

(e.1.11)

Estos factores podemos calcularlos según las ecuaciones listadas a continuación:

$$I_{b,h} = I_b \sin a$$

donde I_b es la ecuación e.1.4

(e.1.12)

$$I_{d,h} = 2.46 + 3.38 \alpha + 19.46 N_b$$

donde $N_b=0$ con cielo despejado

10 con cielo completamente cubierto

α =Altura del Sol en radianes ($1^\circ = \pi/180$ rad)

(e.1.13)

EJEMPLO e.1.13

Para los datos del ejemplo e.1.6, podemos variar las condiciones de nubosidad N_b :

+1 de enero, 12am, $\alpha=47^\circ34'=0.83$ rad, $N_b=0$

$$I_{d,h} = 2.46 + 3.38(0.83) + 0 = 5.27 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$$

+1 de enero, 12am, $\alpha=47^\circ34'=0.83$ rad, $N_b=10$

$$I_{d,h} = 2.46 + 3.38(0.83) + 19.46(10) = 199.86$$

+11 de marzo, 6am, $\alpha=1^{\circ}29'=0.02\text{rad}$, $N_b=0$

$$I_{d,h} = 2.46 + 3.38(0.02) + 0 = 2.53$$

El ejercicio se continua para el resto de los datos.

Según la figura (f.1.29) el cociente de la radiación directa sobre un plano inclinado $I_{b,c}$ a la radiación directa sobre un plano horizontal $I_{b,h}$ es

$$R_b = \frac{\text{Radiación directa diaria promedio en un mes sobre la superficie inclinada}}{\text{Radiación diaria directa promedio en un mes sobre un plano horizontal}} =$$

$$R_b = \frac{I_{bc}}{I_{bh}} = \frac{w'_s \text{ sen } d \text{ sen } (d - s) + \text{cos } F \text{ cos}(F - s) \text{ sen } w'_s}{w_s \text{ sen } d \text{ sen } F + \text{cos } d \text{ cos } F \text{ sen } w'_s}$$

donde R_b : Factor de conversión de la radiación directa para superficies inclinadas
 δ : declinación (ecuación e.1.5)
 ϕ : latitud del lugar
 s : ángulo de inclinación del colector con respecto a la horizontal.

(e.1.14)

ω_s : se obtiene de e.1.15 si $\alpha=0$. Es un factor, al igual que ω'_s originado por el uso de los ángulos horarios. Ambos deben expresarse en radianes y pueden ser calculados según:

$$\omega_s = \text{arc cos} [-\tan \phi \tan \delta]$$

(e.1.15)

$$\omega'_s = \text{mín} (\omega_s, \text{arc cos}[-\tan (\phi - s \tan \delta)])$$

EJEMPLO e.1.14

Tomando los datos del próximo ejemplo e.1.15 y suponiendo $s=29^{\circ}$:

+1 de enero, $\delta=-23^{\circ}$, $\omega_s=81^{\circ}23'=1.42\text{rad}=\omega'_s$

$$R_b = \frac{1.42 \text{ sen } -23 \text{ sen } -9.56 + \text{cos } -23 \text{ cos}(-9.56) \text{ sen } 81^{\circ}23'}{1.42 \text{ sen } -23 \text{ sen } 19^{\circ}26' + \text{cos } -23 \text{ cos } 19^{\circ}26' \text{ sen } 81^{\circ}23'} = 1.47$$

+11 de marzo, $\delta=-4^{\circ}25'$, $\omega_s=88^{\circ}26'=1.54\text{rad}=\omega'_s$

$$R_b = \frac{1.54 \text{ sen } -4^{\circ}25' \text{ sen } -9.56 + \text{cos } -4^{\circ}25' \text{ cos } -9.56 \text{ sen } 88^{\circ}26'}{1.54 \text{ sen } -4^{\circ}25' \text{ sen } 19^{\circ}26' + \text{cos } -4^{\circ}25' \text{ cos } 19^{\circ}26' \text{ sen } 88^{\circ}26'} = 1.23$$

EJEMPLO e.1.15

Para los datos ya ampliamente usados y con $s=29^\circ$:

+1 de ene, $\delta=-23$,

$$\omega_s = \arccos [-\tan 19^\circ 26' \tan -23] = 1.42 \text{ rad}$$

$$\omega'_s = \min (1.42, \arccos [-\tan (19^\circ 26' - 29 \tan -23)]) = 1.42$$

+11 de mar, $\delta=-4^\circ 25'$

$$\omega_s = \arccos [-\tan 19^\circ 26' \tan -4^\circ 26'] = 1.54 \text{ rad}$$

$$\omega'_s = \min (1.54, \arccos [-\tan (19^\circ 26' - 29 \tan -4^\circ 25')]) = 1.54$$

+20 de jul, $\delta=20^\circ 38'$

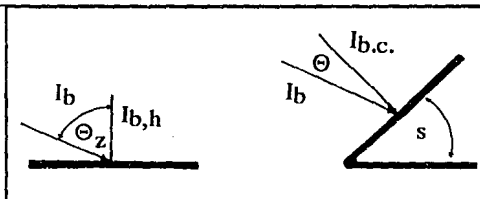
$$\omega_s = \arccos [-\tan 19^\circ 26' \tan 20^\circ 38'] = 1.70 \text{ rad}$$

$$\omega'_s = \min (1.70, \arccos [-\tan (19^\circ 26' - 29 \tan 20^\circ 38')]) = 1.51$$

+16 de sep, $\delta=1^\circ 49'$

$$\omega_s = \arccos [-\tan 19^\circ 26' \tan 1^\circ 49'] = 1.58 \text{ rad}$$

$$\omega'_s = \min (1.58, \arccos [-\tan (19^\circ 26' - 29 \tan 1^\circ 49')]) = 1.57$$



f.1.29 Coeficiente de conversión para radiación directa

**Radiación difusa diaria promedio
en un mes sobre la superficie inclinada** $1 + \cos s$

$$R_d = \frac{\text{Radiación difusa diaria promedio en un mes sobre la superficie inclinada}}{\text{Radiación difusa diaria promedio en un mes sobre un plano horizontal}} = \frac{1 + \cos s}{2}$$

**Radiación difusa diaria promedio
en un mes sobre un plano horizontal** 2

(e.1.16)

EJEMPLO e.1.16

$$\text{Con } s=29^\circ: R_d = \frac{(1 + \cos 29)}{2} = 0.94$$

**Radiación diaria promedio en un mes que es
reflejada por el suelo sobre la superficie** $1 - \cos s$

$$R_o = \frac{\text{Radiación diaria promedio en un mes que es reflejada por el suelo sobre la superficie}}{\text{Radiación global diaria promedio en el mes}} = \frac{1 - \cos s}{s}$$

Radiación global diaria promedio en el mes s

donde σ es el albedo, que es la luz solar reflejada y es parte importante del calentamiento solar; se le conoce también como reflectancia hemisférica uniforme del suelo frente a la superficie inclinada. En la práctica se utiliza un valor de 0.20 para suelo común.

(e.1.17)²¹

EJEMPLO e.1.17

Para $s=29^\circ$

$$R_s = \frac{(1 - \cos 29)}{2} = 0.01$$

Al calcular la eficiencia del colector tiene importancia la intensidad solar o el grado de asoleamiento del colector a la que nos remiten los cálculos anteriores. Sin embargo, cualquier factor que influya sobre el absorbente²² reduciendo el volumen de luz solar y, en consecuencia, el de la energía calorífica, afectará negativamente su funcionamiento. El smog, la neblina, las nubes, la niebla y la lluvia, igual que la suciedad o la sombra de la cubierta de los paneles, reducen la eficiencia. En cuanto a las características físicas del colector, la magnitud, distribución angular, rugosidad, capas de óxido y contaminación física y química, son importantes también para dar con exactitud el rendimiento de un dispositivo solar. La descripción cualitativa de una superficie con los términos liso, pulido, rugoso u oxidado es, en general, insuficiente para especificar las propiedades de radiación.

Un cuerpo negro es aquel que emite y absorbe a cualquier temperatura y en cualquier longitud de onda la máxima cantidad posible de radiación. Es un estándar con el que pueden compararse las características de radiación de otros cuerpos. Puesto que un cuerpo negro es un absorbedor perfecto, toda la radiación que incida es absorbida, sin importar la longitud de onda.

Existe un máximo de energía radiante capaz de ser emitida a una temperatura y longitud de onda dadas. La potencia emisiva espectral o monocromática que emite un cuerpo negro puede evaluarse mediante la ley de Planck, y la potencia emisiva total de un cuerpo negro a lo largo de todo el espectro de longitudes de onda puede calcularse integrando la ley de Planck, según la ecuación e.1.18.

A bajas temperaturas, prácticamente toda la radiación es emitida en el infrarrojo.

La **absortancia** es la propiedad de las superficies a absorber ciertas longitudes de onda del espectro electromagnético. En términos de la radiación, es la proporción de energía que puede ser recibida por una superficie. La **reflectancia** es lo contrario, es la

²¹ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES.... Op. Cit. pgs. 52a.

²²Nombre genérico con el que se denomina a todos los dispositivos que directamente reciben luz solar para su utilización.

propiedad a reflejar o "rebotar" ciertas longitudes de onda. Es pues, una proporción de la energía que no es aprovechada por la superficie. La transmitancia nos indica la capacidad de un cuerpo a dejar pasar la radiación sin ser absorbida o reflejada, através de su masa. En superficies opacas la suma de la absorptancia y la reflectancia debe ser igual a la unidad. Sin embargo, cuando la superficie es transparente a la radiación incidente, la suma de la absorptancia, la reflectancia y la transmitancia debe ser igual a la unidad. (fig f.1.30).

$$e_{b1} = \sigma(T)^4$$

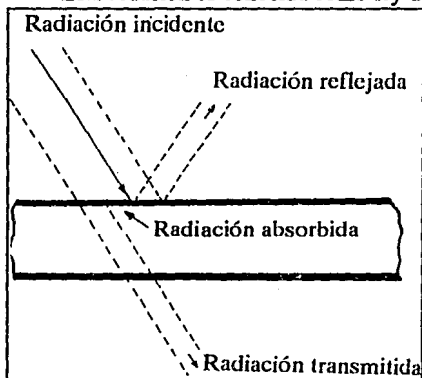
donde e_{b1} : potencia emisiva total de un cuerpo negro [W/m^2]

σ : constante de Stefan-Boltzmann y es numéricamente igual a 5.6697×10^{-8} [W/m^2K^4]

T: Temperatura absoluta del cuerpo negro [K]

(e.1.18)²³

Esta ecuación es conocida como ley de Stefan-Boltzmann.



f.1.30. Absortancia y transmitancia
 constatar, la de los rayos solares llegando hasta nosotros, complicados de estudiar por el hombre, pero que derivan por el Universo sin preocuparse de las cavilaciones que nosotros hacemos por comprenderlos.

Como se ha visto, es gracias al Sol que la vida ha podido llevarse a cabo en este planeta. Es su influencia la responsable del crecimiento de las plantas, del calentamiento de la Tierra y los mares, de la formación de lluvias y vientos.

Son él, junto con sus movimientos y los propios de la Tierra, los causantes de la estabilidad del Sistema en el que nos encontramos y del mismo suelo que nos sustenta.

Maravilla que hemos podido

²³ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS... Op. Cit. pg. 79.

Hemos podido conocer también la enorme potencialidad energética encerrada en las radiaciones solares, tan poco aprovechadas todavía, pero con amplísimas perspectivas de desarrollo.

Estas potencialidades han ido siendo explotadas en aplicaciones domésticas, como calentamiento de agua, calefacción de hogares y generación eléctrica. Estos aspectos serán tratados con cuidado en los siguientes capítulos.

CAPÍTULO 2: **COLECTORES SOLARES FOTOTÉRMICOS**

Desde el inicio de los estudios formales sobre el aprovechamiento de la Energía Solar, en el siglo pasado, hasta nuestros días, las aplicaciones de los conocimientos científicos se incrementan rápidamente. Actualmente, la Energía Solar la encontramos en aplicaciones tan variadas como calentamiento de agua para uso doméstico, refrigeración de edificios, calentamiento de albercas, cocina, generación de energía eléctrica, procesos fotoquímicos, secado industrial y agrícola, destilación de agua, hornos solares, etc.

En siguientes páginas se mencionarán algunos de estos usos. Sin embargo, por no ser competencia del presente trabajo, solamente se profundizará en tres usos específicos: calentamiento de agua, calefacción de espacios y conversión fotovoltaica.

Se analizará también el intercambio de calor que se verifica principalmente en colectores planos fijos en operación básica en líquidos. La aplicación de dichos paneles colectores se centrará, como se indica en el párrafo previo, en calentamiento de agua y calefacción.

Varias de las ecuaciones para transferencia de calor han sido omitidas intencionalmente por considerar su deducción muy tediosa para la lectura de este tesis. Sin embargo, se presentará la metodología para llevar a cabo estos estudios en caso de requerirlo así algún interesado en la materia. De la misma forma, presentaremos los resultados de dichas deducciones, que podremos considerar en términos generales, resultados para aplicaciones ya concretas.

2.1. USOS Y TIPOS DE COLECTORES

2.1.1 Usos más frecuentes

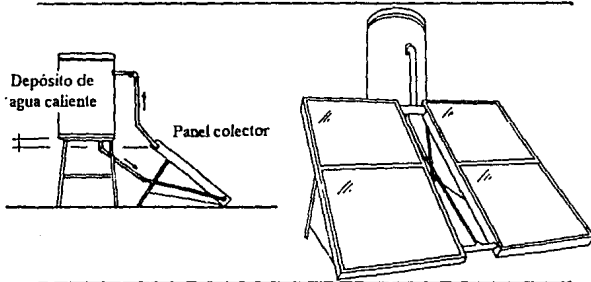
CALENTAMIENTO DE AGUA DOMÉSTICA

Es quizá la aplicación más difundida. Sus manifestaciones las encontramos desde la más remota antigüedad, cuando eran colocadas bandejas con agua al Sol para elevar su temperatura y ser utilizada después de manera personal.

Los sistemas han cambiado, y ahora no utilizamos ya este método para calentar agua através del Sol, sin embargo, utilizamos los mismos principios que entonces, y, en el fondo, nuestros colectores modernos son bandejas colocadas al Sol.

El sistema más simple de calentar agua, basado en el principio del termosifón, consiste en un panel colector y un depósito (fig f.2.1). El depósito debe estar ubicado por encima de la parte superior del panel colector. El agua calentada en el colector, que se hace más ligera, se elevará y el agua fría (más pesada) será absorbida desde el fondo del depósito. Cuanto mayor sea la diferencia de altura (d), tanto mayor será la corriente

(inducida por la misma diferencia de temperatura). Una corriente mayor aumentará la eficiencia de captación y reducirá asimismo la temperatura de captación.



1.2.1 Sistema de termosifón

de almacenamiento aislado térmicamente y un colector solar con un área de $0.02 \text{ m}^2/\text{lt}$ de agua caliente. Una familia de 4 personas necesitarían un depósito de 296 litros y un colector solar de alrededor de 6 m^2 . Puesto que los requerimientos de temperaturas por debajo de los 60°C se pueden satisfacer fácilmente con colectores planos estacionarios, no hay necesidad de utilizar para agua caliente doméstica los colectores focales que son más caros.

REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN

Hay dos métodos para la calefacción sobre la base de Energía Solar. Uno de ellos utiliza un líquido (generalmente agua) como medio conductor del calor; el otro utiliza aire. Ambos permiten conducir de 50% a 90% de las calorías, dependiendo de la ubicación geográfica.

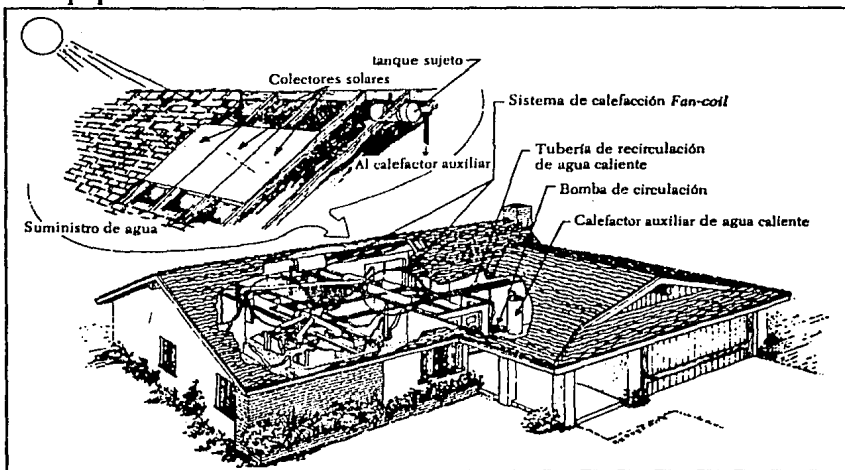
Sistema sobre base de líquido

Una de las técnicas para obtener calefacción doméstica es utilizar agua en los paneles colectores de Energía Solar, haciendo circular el agua caliente a través del edificio, lo que brinda calor, y a la vez, agua caliente. Para calentar los ambientes, funciona un generador de aire colocado en los mismos. Cada una de las habitaciones consta de un termostato que, al encender automáticamente el generador, éste proyecte aire sobre los serpentines de las cañerías por las que circula el aire calentada por el Sol. Estas mismas cañerías distribuirán agua caliente en los baños, cocina y lavadero.

Se considera adecuada la temperatura de 57°C para el agua caliente del baño y del fregadero, así como el consumo de 75 litros de agua caliente por persona y día. En muchos climas soleados éstos requerimientos se pueden satisfacer con un tanque

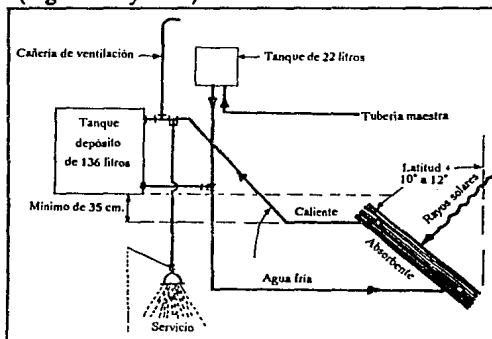
Calefactores solares sobre la base de aire

El uso de paneles colectores solares con aire pasando a través de ellos es un modo eficaz de proporcionar calor a cualquier edificio servido por un sistema de calefacción con aire acondicionado. Se abastece de energía calórica solar, mediante el pasaje de aire caliente a través de un arcón lleno de piedritas esféricas del tamaño de las pelotas de golf o más pequeñas aún.²⁴



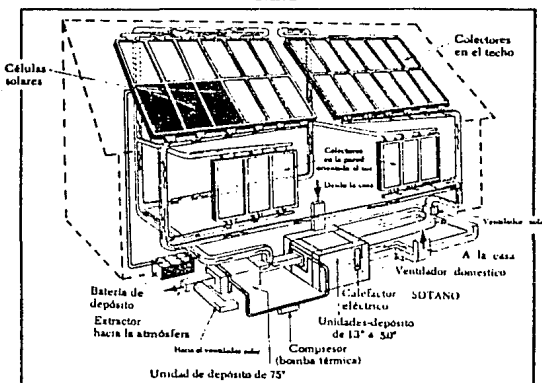
f.2.2 Sistema sobre base a liquido

Hay sistemas que utilizan paneles colectores formados por celdas solares. Este que comentaremos, es mixto, pues además de generar energía eléctrica, satisface necesidades de calefacción. (Figs. f.2.3 y f.2.4).



²⁴COMO USAR LA ENERGIA SOLAR; Lucas, Ted; Editorial Victor Leru; 1981; Argentina. Pgs. 17ss.

f.2.3



f.2.4 Sistemas de calefacción

El Sol calienta las células solares de sulfuro de cadmio que generan energía eléctrica. Se envía aire a través de un espacio aislado de 6 cm de profundidad ubicado bajo los paneles solares, con el objeto de enfriar estas células y calentar el edificio. Este aire se envía hacia el extremo del techo; de este modo se preservan del recalentamiento las células solares; luego se lo conduce por cañerías al sistema térmico de depósito ubicado en el sótano.

COCINA

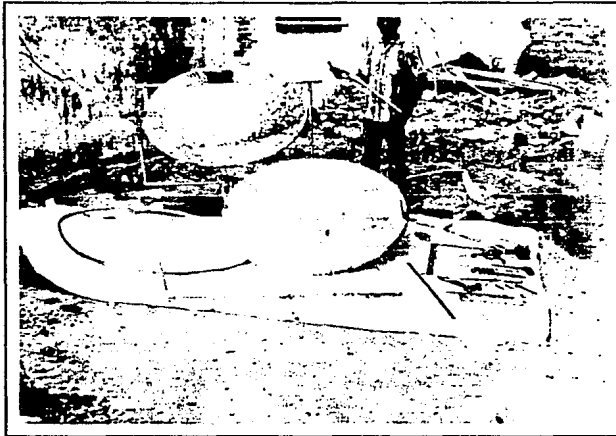
Una de las aplicaciones más simples de la Energía Solar consiste en hervir y calentar comida con la luz solar enfocada. Se ha efectuado un esfuerzo considerable en la investigación de diferentes tipos de cocinas y se han desarrollado algunos diseños muy ingeniosos. (Como el presentado en las siguientes ilustraciones, figs. f.2.5 y f.2.6).

ACONDICIONAMIENTO DE ALBERCAS.

Una alberca con agua filtrada y profundidad entre 1.60 y 1.70 m absorbe para su calentamiento entre el 75% y el 85% de la Energía Solar incidente y aproximadamente el 5% de esta energía incidente es reflejada sin calentar. Las pérdidas de calor por radiación en el infrarrojo hacia el cielo son importantes. El agua en la piscina pierde calor por convección natural o forzada, dependiendo de la velocidad del viento. Finalmente, las pérdidas por evaporación son las más importantes y dependen de la temperatura del agua y la humedad específica del medio ambiente. Al incrementarse la

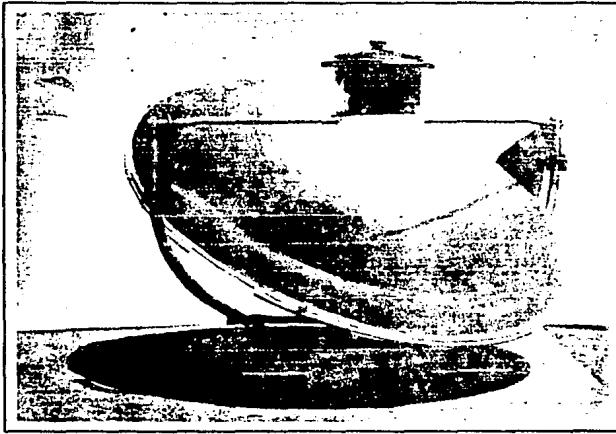
temperatura del agua, el calor perdido por enfriamiento evaporativo es 3.2 veces mayor que el enfriamiento convectivo.²⁵

Los niveles de temperatura que debe alcanzar el fluido de trabajo en el colector son sustancialmente distintos si se trata del calentamiento de agua para una alberca, del calentamiento de agua para consumo doméstico, de la calefacción y enfriamiento en un edificio, del bombeo de agua mediante un sistema de ciclo Rankine, etc. Para calentar agua para una alberca la temperatura del agua debe estar alrededor de los 22 a 29° C. Para calentamiento de agua en consumo doméstico no se requiere más de 40 a 60 grados. Sin embargo, para usos de calefacción y enfriamiento de ambientes, el flujo de trabajo debe alcanzar temperaturas del orden de 90 a 100 grados.



f.2.5

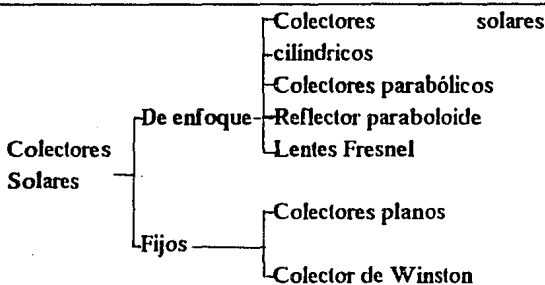
²⁵Esta es la razón por la cual es tan efectiva una cubierta para la piscina, aunque sólo reduzca la evaporación. Una cubierta transparente de plástico con burbujas de aire sosteniéndola sobre el agua es quizá la manera más económica de calentar el agua de una alberca.



f.2.6 Cocinas solares

2.1.2. Clasificación de los colectores solares

Pueden clasificarse como colectores de enfoque y fijos. Los primeros deben orientarse continuamente con gran exactitud para seguir al Sol; el acabado de las superficies debe ser de muy alta calidad y mantener sus cualidades por largos periodos de tiempo sin ser deteriorados por el polvo, la lluvia, oxidación, etc. Los colectores fijos no tienen las desventajas de los de enfoque, aunque no permiten conseguir grandes concentraciones de energía.



f.2.7 Clasificación de los colectores solares

CONCENTRADORES

Se necesitan colectores focales para producir temperaturas superiores a los 120°C, pero éstos utilizan únicamente la radiación directa y funcionan sólo cuando el Sol está brillando. Necesitan seguir al Sol, y es difícil fabricarlos y moverlos si son grandes. A medida que sube la temperatura que se pretende conseguir, sube la precisión óptica y la firmeza estructural necesaria, aumentando el costo.

A través de concentradores, la densidad de la energía es del orden de 1.5 ó 2 hasta varios miles de veces la radiación solar que se recibiría através de un sistema óptico.

La razón de concentración C se define como el cociente del área efectiva de apertura A_a (área proyectada, no sombreada del sistema óptico), al área del absorbedor de energía solar A_r . En el caso de un colector plano

$$C = \frac{A_a}{A_r} = 1$$

(e.2.1).

COLECTORES CILÍNDRICOS Y PARABÓLICOS

Al comparar los colectores circular y cilíndricos, se encuentra que los colectores circulares se necesitan para producir temperaturas altas porque el coeficiente de concentración puede ser muy grande y el área del receptor muy pequeña con bajas pérdidas de calor. Sin embargo, el área total del colector queda limitada por dificultades de construcción, por la necesidad de mover el colector para seguir el Sol, y por los daños que producirían vientos fuertes. La ventaja de los colectores cilíndricos es que se pueden hacer infinitamente largos, y se pueden construir de tal manera que no necesiten ser movidos durante todo el día, aunque las temperaturas obtenidas serán mucho más bajas. Si un colector cilíndrico tiene 180 cm de ancho y el receptor tiene 2.5 cm de ancho, el coeficiente de concentración es de 72 a 1. Se puede incrementar la cantidad de calor recogido incrementando la longitud del cilindro y de la tira receptora, pero el coeficiente de concentración permanecerá constante. Sin embargo, se puede recoger mucho más calor con un solo elemento cilíndrico que con otro circular. La forma cilíndrica es mucho más fácil de construir que la circular, puesto que las cubiertas reflectoras que se adherirán al soporte, ya sea cilíndrico o circular, pueden ser curvadas más fácilmente para adaptarse al cilindro, ya que se curva únicamente a lo largo de dos ejes.

La sección de un colector cilíndrico puede ser tanto parabólica como circular. Aunque la sección parabólica dé generalmente un enfoque más preciso, la sección circular tiene la ventaja a veces de requerir menos ajustes para seguir el Sol.

REFLECTORES PARABOLOIDES

El concentrador parabólico compuesto (CPC), también conocido como colector de Winston, se muestra en la fig. f.2.8.

La fig. f.2.9 muestra un concentrador tubular en donde el fluido de trabajo circula por un conducto en forma de U. En este concentrador pueden lograrse idealmente razones de concentración desde $2/\pi$ hasta 2.

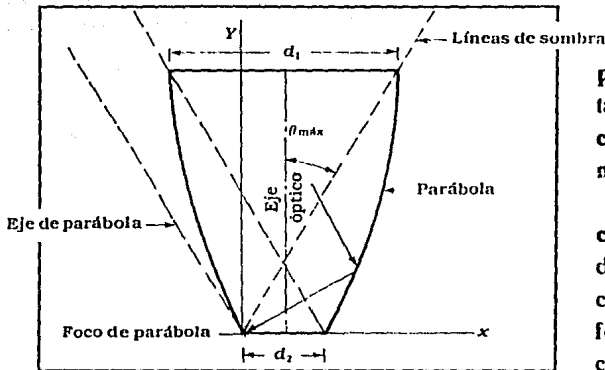
La fig. f.2.10 muestra esquemáticamente un concentrador tipo parabólico, el cual permite alcanzar razones de concentración muy altas.

El concentrador con

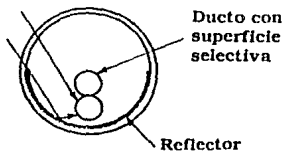
reflector estacionario-absorbedor móvil, mostrado esquemáticamente en la fig. f.2.11, consiste en un segmento de espejo esférico colocado en posición estática dirigida hacia el Sol. El absorbedor lineal sigue la imagen solar con un mecanismo de giro alrededor del centro de curvatura del reflector.

LENTES FRESNEL

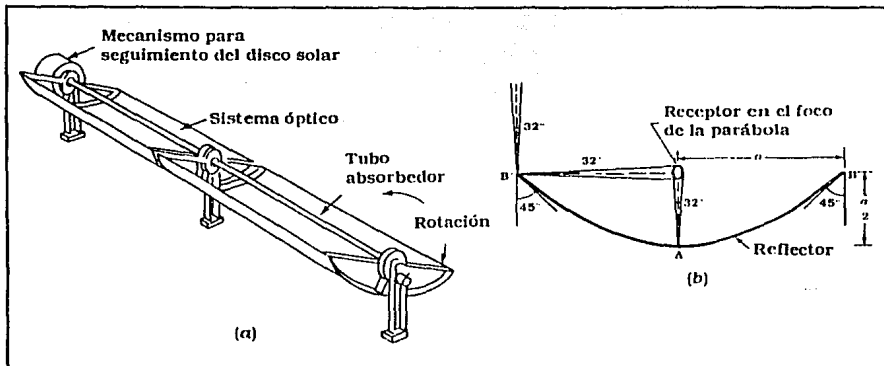
Una alta razón de concentración puede lograrse por medio de los sistemas que emplean lentes Fresnel, los cuales combinan las ventajas de un conjunto de lentes en una sola unidad. Cada segmento de la lente Fresnel concentra mediante refracción la radiación incidente en un receptor posicionado centralmente, como se observa en el esquema de la fig. f.2.12.



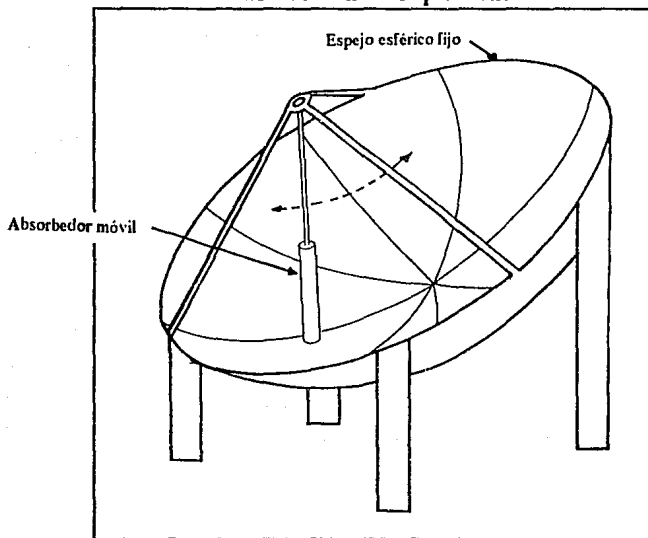
f.2.10 Colector de Winston



f.2.11 Concentrador tubular



f.2.10 Concentrador parabólico

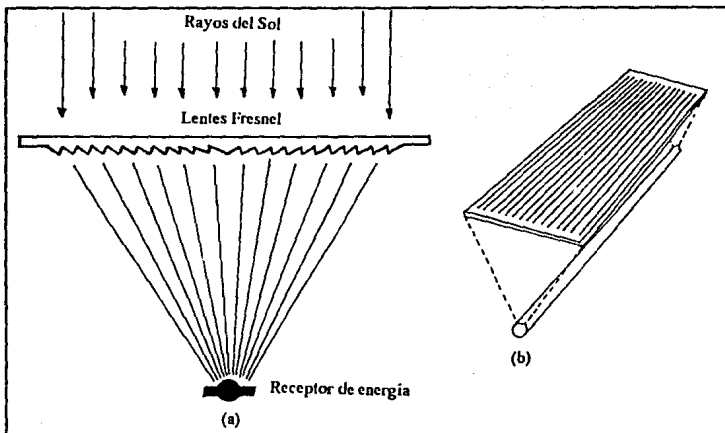


f.2.11 Concentrador con reflector estacionario

En este tipo de dispositivos, las pérdidas más importantes son las pérdidas por no utilizar radiación difusa.

COLECTORES PLANOS

Están limitados a temperaturas de operación inferiores a 100 grados.



f.2.12 Lentes Fresnel

Las grandes superficies receptoras de los colectores planos se suelen hacer de chapa metálica, fundamentalmente hierro, cobre o aluminio, para obtener una buena conductividad. Se ennegrecen con pintura mate que a menudo contiene negro de humo, o se cubren con un revestimiento negro producido químicamente, como se explicará más adelante al hablar de las superficies selectivas. La chapa incrementa su temperatura al absorber la radiación y transmite su calor a un fluido, normalmente agua o aire, que se mueve en la parte de atrás del colector. Al mismo tiempo el colector cede calor por convección al aire exterior circulante, por conducción al aire y a las partes frías de la estructura que lo soporta, y por radiación infrarroja. Entre 100°C y 300°C la emisión máxima de radiación se efectúa entre 8 y 10 micras en el infrarrojo, lo cual significa que pueden reducirse mucho las pérdidas caloríficas y elevarse la temperatura de trabajo del colector colocando una o más láminas de vidrio o plástico encima de la superficie receptora, creando un recipiente hermético. La luz del Sol de longitud de onda menor de 2.5 micras pasa a través de esta cubierta transparente, pero la radiación infrarroja de gran longitud de onda que emite el receptor caliente no puede volver a salir a través del vidrio o plástico porque se absorbe. Las tapas transparentes enfriadas por el aire exterior y las capas de aire estancadas entre ellas son malos conductores caloríficos y funcionan a una temperatura más baja que la superficie receptora. De esta manera se reducen las pérdidas de calor.

Una de las grandes ventajas de los colectores planos es que no necesitan ser movidos para seguir el Sol. Puede montarse un colector cilíndrico para conseguir el

mismo efecto. El eje longitudinal del colector cilíndrico se coloca aproximadamente en dirección Este-Oeste y se ajusta diaria o semanalmente para que el receptor lineal central permanezca siempre en foco. Se hace coincidir entonces la línea focal del colector con el receptor lineal inclinando el colector. El receptor permanecerá enfocado durante todo el día con esos ajustes, excepto pequeños periodos por la mañana temprano y al final de la tarde.

En todos los calentadores solares de agua interviene una superficie plana grande y negra que recibe la radiación solar y calienta el agua, y se han desarrollado algunas disposiciones constructivas muy ingeniosas.

Tanto los colectores planos como los focales presentan problemas debidos a su gran tamaño. Deben ser suficientemente resistentes como para soprtar los vientos más fuertes de cada lugar, y se deben amarrar firmemente cuando se aproxima una tormenta. Se deben construir de manera tal que puedan ser limpiados fácilmente. En un proyecto de Energía Solar, factores menores tales como posibles daños causados por el viento y la tenacidad con que las partículas de polvo se adhieren a la superficie pueden significar el éxito o el fracaso del mismo.

2.2. NECESIDADES DE CARGA Y TRANSFERENCIA DE CALOR

En un colector de Energía Solar, se llevan a cabo fenómenos de transmisión, reflexión, absorción, y emisión de energía. El calor puede propagarse por radiación incluso en el vacío. La radiación viaja en el vacío a la velocidad de la luz.

En los colectores solares, la radiación requiere ser absorbida en la máxima amplitud posible del espectro solar. Esta radiación es transformada en calor, es decir, la energía de esta radiación cambia su longitud de onda a valores altos (hacia el infrarrojo), por lo que los colectores deben tener una capacidad muy pequeña de emisión de radiación en este intervalo.

Esto se logra através de la llamada superficie selectiva, que tiene la particularidad de absorber ciertas longitudes de onda en gran proporción y emitir otras longitudes de onda en cantidad mínima. Debe tener una alta absortancia monocromática en el espectro solar (entre 0.3 y 2.5 micrometros) y una emitancia monocromática muy baja en el infrarrojo, es decir, en el espectro solar debe ser no reflejante, mientras que a longitudes de onda mayores debe comportarse como un reflector perfecto.²⁶

²⁶Al hablar de "absortancia monocromática", nos referimos a la capacidad de absorber radiación en un intervalo muy pequeño del espectro, es decir, casi en una sola longitud de onda. Por ejemplo, una superficie que

Sólo las superficies con alta conductividad térmica tienen una emitanancia térmica baja, la base para cualquier superficie selectiva de baja emitanancia en el infrarrojo debe ser metálica. Un plástico o un vidrio debe ser primero metalizado. De aquí se desprende que hay tres tipos de superficies selectivas:

1.-Cuando se aplica adicionalmente a la base una película delgada que absorbe la radiación solar y transmite la infrarrojo.

2.-Cuando la superficie metálica se convierte químicamente en un compuesto que tenga las propiedades del punto anterior.

3.-Cuando la topología de la superficie se ajusta para lograr las propiedades ópticas deseadas.

Para poder calcular la capacidad del colector solar que hemos de utilizar para un caso específico, es conveniente conocer los resultados obtenidos por los científicos en sus investigaciones. A continuación se presentan algunos resultados obtenidos en los que resaltamos las necesidades existentes y la solución ofrecida por la ciencia.

CASAS SOLARES CONSTRUIDAS POR EL M.I.T.²⁷

-Ubicación: distintos lugares de Massachusetts, E.U.A.

-Capacidad de calentamiento: 8,000 litros en un tanquedepósito subterráneo.

-Temperatura del tanque-depósito: 91^oF al final del verano.

-Sistema usado: Paneles a agua.

-Tamaño de los paneles: 35 m².

CASA SOLAR THOMASON²⁸

-Ubicación: Maryland, E.U.A.

-Tipo de construcción: Casa habitación de tres habitaciones.

-Sistema: calefacción.

-Eficiencia: cubre el 85% de las necesidades anuales.

SISTEMA DE VERTEDERO DE AGUA (casas Thomason)

-Ubicación: Maryland, E.U.A.

-Capacidad de calentamiento: 8,000 litros en un tanque depósito subterráneo.

-Tamaño de los paneles: 72 m².

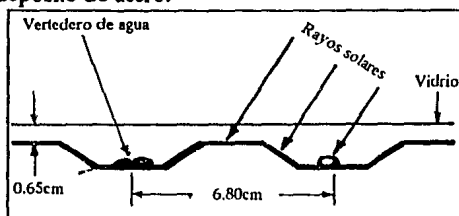
-Descripción del sistema: Los paneles solares están sobre dos áreas del techo, ambas orientadas al Sur. La inclinación de estas secciones de techo es de 45^o y 60^o. A lo largo del caballete del techo hay cañerías de cobre de 1.27 cm con pequeños agujeros de 0.15 cm de diámetro, espaciados entre sí 6.8 cm. Esta cañería tiene la finalidad de

solamente absorbería la radiación que se encuentra entre 0.3 y 2.5 micrómetros, sería una superficie con absortancia monocromática; en el resto del espectro, la superficie sería altamente reflejante.

²⁷COMO USAR LA ENERGIA SOLAR. Op. Cit. Pags. 48s.

²⁸Op. Cit. pgs. 49s.

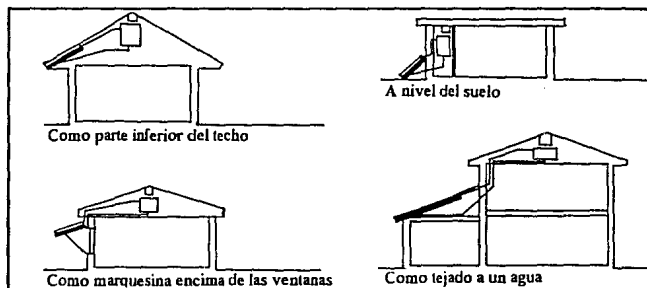
distribuir los chorros de agua hacia abajo de las lima-hoyas constituidas por una lámina de aluminio acanalada, como se muestra en la figura f.2.13. Una lámina de vidrio oficia como cubierta de los paneles captando la energía de los rayos infrarrojos. El agua proveniente de las limahoyas de las láminas de aluminio se acumula en una canaleta y pasa al tanque depósito de acero.



f.2.13 Casa Thomason con sist. vertedero

UNA FUENTE AUSTRALIANA SUGIERE QUE:

- Ubicación: Melbourne (lat 32°S).
- Necesidad: 200 lts de agua caliente a 58°C.
- Tamaño de los paneles: 5 m² de área de captación en verano y el doble en invierno.²⁹



f.2.14 Disposiciones de paneles

2.2.1. Necesidades de carga

La transferencia de calor entre sustancias se lleva a cabo de varias maneras: por convección y por conducción.

Conducción es el intercambio de calor que hay entre dos superficies que están directamente en contacto.

²⁹ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION. Op. Cit. pg 41.

Convección es el proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido sobre una superficie. Cuando un fluido circula sobre una superficie, la velocidad del fluido en la proximidad de la superficie es cero, por lo que solamente en las cercanías de la superficie se da intercambio de calor por conducción.

Convección forzada es el caso en el que el fluido se hace circular mediante la acción de algún agente externo, como un ventilador, una bomba o agentes meteorológicos.

Comenzaremos por analizar el fenómeno de transferencia de calor desde el punto de vista arquitectónico.

Un edificio se caracterizará por el concepto de régimen de pérdida de calor específico. Este valor, toma en cuenta que de la radiación que un edificio recibe durante el día y penetra sus paredes, una parte se reirradia a la atmósfera por pérdidas através del mismo edificio y por la circulación de ventilación por el interior de éste. Este factor nos mide las pérdidas de calor de un edificio del interior hacia el exterior.

El régimen de pérdida de calor a través del envoltorio del edificio es

$$Q_c = (\Sigma A \times U) \Delta t$$

donde ΣA : Suma de la áreas de las puertas y ventanas

U : Transmitancia del edificio, usualmente $5 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Δt : Diferencia de temperatura del interior al exterior del edificio

(e.2.4)

El régimen de pérdida de calor por unidad de diferencia de temperatura es el régimen de pérdida de calor específica.

$$Q/\Delta t = (\Sigma A \times U) + 0.36 V N$$

donde V : Vel. Aire

(e.2.5)³⁰

El valor de esto puede ser de sólo 200 W/°C en el caso de una pequeña casa bien aislada y de hasta $1,000 \text{ W/°C}$ en el caso de una residencia grande, mal planeada.³¹

Para conocer las necesidades anuales de calor de una edificación, tenemos que estudiar dos factores:

a Uno climático.

b Otro dependiente de las características del edificio.

El clima puede caracterizarse por el concepto de **grados-día**. Este puede describirse como déficit de temperatura acumulativo, es decir, la suma de los productos

³⁰Op. Cit. pg. 134.

³¹Op. Cit. pg. 134.

de diferencias de temperatura y su duración. Se establece un nivel de referencia (por ejemplo 18°C) como temperatura interior t_i . Se fija la temperatura exterior media para cada día t_o y la diferencia de temperaturas se considera como $t_i - t_o$. Si por ejemplo, la media t_o es de 2°C durante tres días, $3 \times (18-2) = 48$ grados/día se añaden a la suma. El ejercicio se repite para todos los días del año, siempre que t_o sea inferior al nivel de referencia. 18°C se toma como referencia, suponiendo que las ganancias de calor interno accesorias, como por ejemplo de las personas y de la iluminación, asegurarán una temperatura interior de 20°C.

Si estos valores se multiplican por 24, obtenemos el parámetro climático requerido en una forma más conveniente: el número de grados/horas (C/h)

El producto de ambos parámetros: los grados/horas y el régimen de pérdida de calor específico nos darán las necesidades anuales de calefacción.

A este valor podemos añadir las necesidades de calentamiento de agua, si se trata de un sistema combinado. Esto será el producto del consumo diario de agua caliente $\times 365$, el calor específico del agua (1.16 Wh/litro °C) y el aumento desde la temperatura de suministro fría a la temperatura requerida del agua caliente. El agua caliente normalmente se suministra entre 60°C y 70°C, ya que esta temperatura es necesaria para la cocina y el lavadero (para el baño 45°C son suficientes). Así resulta razonable considerar el aumento necesario de la temperatura $65-10=55$ °C.

El calor útil aprovechado por los colectores solares y/o equipo auxiliar debe contrarrestar las pérdidas de calor que experimenta una alberca. El flujo de agua através de los colectores depende del tamaño de la piscina.

La captación de Energía Solar por parte de una edificación, así como por parte de cualquier tipo de dispositivo solar, como función de sus características físicas y geométricas, dependerá de siete parámetros:

- 1 Energía incidente
- 2 Pérdida óptica por la tapa transparente
- 3 Propiedades absorbentes de la superficie receptora
- 4 Propiedades de transferencia térmica del absorbedor
- 5 Transmitancia térmica de la placa transparente, que es un factor de pérdida de calor
- 6 Temperatura de captación, que a su vez depende de a Régimen de flujo del fluido
- b Temperatura del fluido a la entrada en el colector
- 7 Temperatura del aire exterior

ESTA TESIS NO DEBE
SALAR DE LA BIBLIOTECA

Es evidente, que para un inmueble, no se pueden tomar en cuenta los parámetros 2, 5; y 6b, los cuales no existen en ese caso.

2.2.2. Transferencia de calor

La transferencia de calor se lleva a cabo desde la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura. El flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura:

$$q'' = -k \frac{dt}{dx}$$

Esta ecuación es conocida como ley de Fourier de la conducción del calor donde q'' es el flujo de calor por unidad de área

x es la dirección del flujo

k es la conductividad térmica del material³²

(e.2.4)

Una alta conductividad térmica nos define un material conductor y una baja conductividad nos indica un material aislante.

Lo que debe hacerse ahora es llevar a cabo los cálculos de intercambio de energía.

Según el esquema de la figura f.2.15, podemos definir los siguientes parámetros:

F_{12} = Fracción de energía radiante que sale de la superficie 1 y es atrapada por la superficie 2.

F_{21} = Fracción de energía que sale de la superficie 2 y cae dentro de la superficie 1. Estos factores son conocidos también como factores de forma.

Se cumplen las siguientes ecuaciones:

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \text{ (Teorema de reciprocidad)}$$

(e.2.5)

$$q_{12} = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

(e.2.6)

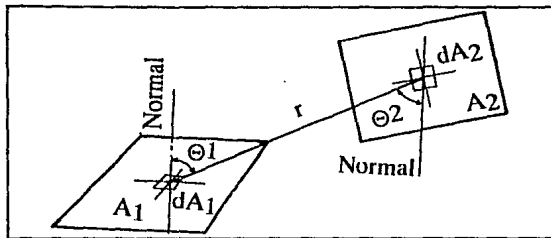
De aquí se desprende que podemos saber el flujo neto de calor refiriendonos solamente a los valores de F_{12} y F_{21} , que son dados por las condiciones geométricas de las superficies, ver figura f.2.15:

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} = A_1 A_2 \cos Q_1 \cos Q_2 \frac{dA_1 dA_2}{\pi r^2}$$

(e.2.7)³³

³²ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES. Op. Cit. pgs. 66s

³³Op. Cit. pgs. 103ss.



f.2.15 Determinación del factor de forma

Evaluando esta ecuación se pueden conocer los parámetros necesarios.

A continuación se ilustra un ejemplo sobre el cálculo de este factor:

EJEMPLO e.2.7

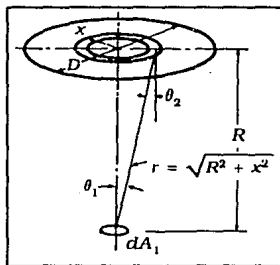
Considérese la determinación del factor de forma para la radiación de un elemento de área dA_1 , hacia un disco de área A_2 , según la figura adjunta.

Para esta disposición, tenemos que: $dA_2 = 2\pi x dx$ y $\theta_1 = \theta_2$

De la ecuación e.2.7

$$A_1 F_{12} = dA_1 \cos^2 Q_1 \frac{2\pi x dx}{\pi r^2}$$

$$\text{con } r = (R^2 + x^2)^{1/2} \text{ y } \cos Q_1 = \frac{R}{(R^2 + x^2)^{1/2}}$$



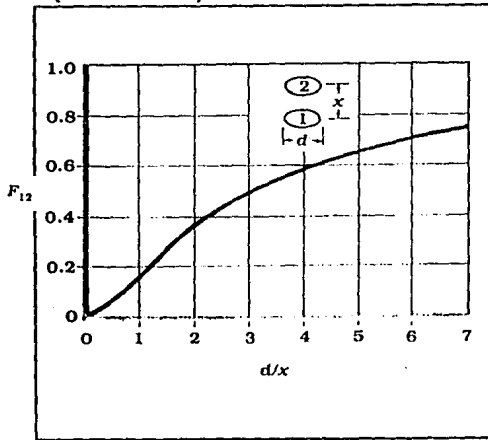
Tenemos que

$$F_{12} = \int_0^{D/2} \frac{2R^2 x dx}{(R^2 + x^2)^2} \frac{D^2}{4R^2 + D^2}$$

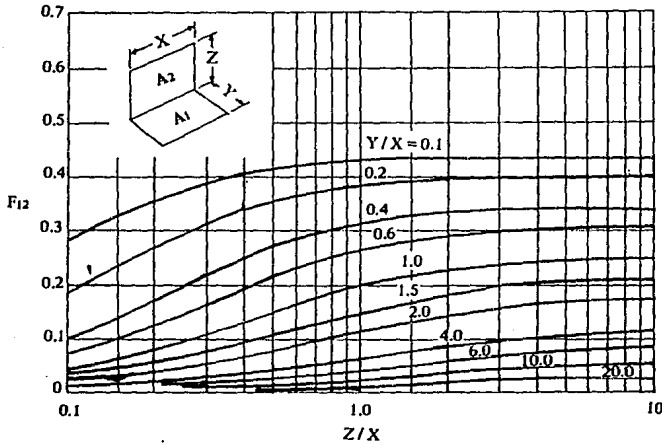
Que sustituido en e.2.6

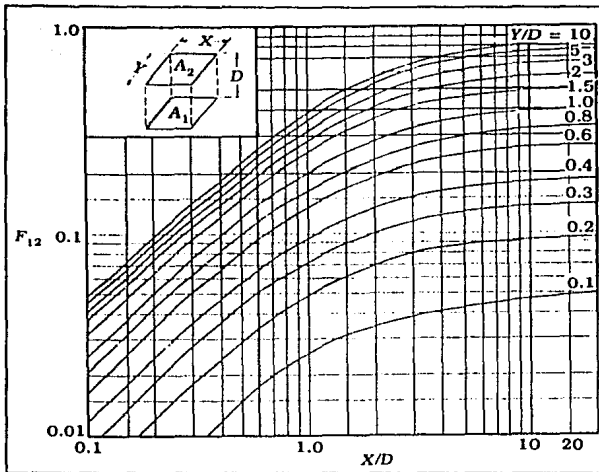
$$q_{12} = \int dA_1 \frac{D^2}{4R^2 + D^2} \epsilon (T_1^4 - T_2^4)$$

Las variaciones de factor de forma para algunas superficies se encuentran en las figuras siguientes (f.2.16 a f.2.19):

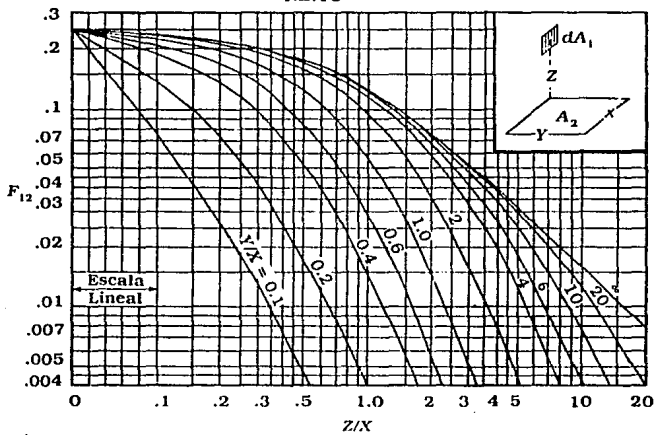


f.2.16





f.2.18



f.2.19 Variaciones del factor de forma

En estos desarrollos se ha supuesto que estas superficies no reciben nuevamente parte de la energía que sale de ellas, entonces

$$(F_{11}=F_{22}=0)$$

(e.2.8).

Sabemos que solamente una fracción de la energía radiante total incidente sobre el colector plano, $H_T A_c$, es aprovechada por el medio de trabajo, pues una fracción se pierde hacia los alrededores por conducción, convección y re-radiación; otra se pierde por la reflexión de la cubierta y la placa de absorción (α). Este balance puede ser expresado de la forma:

$$H_T A_c (t_a) = q (\text{útil}) + q (\text{pérd.}) + du/dt$$

donde A_c = área efectiva del colector

$q(u)$ = calor aprovechado por el fluido

$q(p)$ = pérdidas del colector

du/dt = cambio en la energía interna del colector

(e.2.9)

Se ha demostrado que la temperatura de superficies absorbentes expuestas a la radiación solar aumentarán hasta alcanzar un estado de equilibrio. Se ha calculado esta temperatura, para una radiación incidente de 400 W/m² como

superficie expuesta	25°C por encima de la ambiente
una tapa de cristal	39°
dos tapas de cristal	53°

La eficiencia del colector podemos definirla también como:

$$\eta_c = \frac{q (\text{útil})}{H_T A_c}$$

(e.2.10)

Las pérdidas térmicas en este tipo de colectores pueden expresarse como:

$$q (\text{pérd.}) = U_1 \times A_c (T_p - T_a)$$

con U_1 como coeficiente total de pérdidas de calor

T_p temperatura promedio de la placa de absorción

T_a temperatura ambiente³⁴

(e.2.11)

El régimen de flujo térmico a través de paredes sólidas y techos queda determinado por

- Orientación de la superficie (y por tanto por la intensidad de la radiación incidente sobre ella)
- El área de la superficie expuesta

³⁴ENERGIA SOLAR: FUNDAMENTOS... Op. Cit. pg. 128s.

- c) El coeficiente de absorción de la superficie
- d) La conductancia de la superficie (película), que gobierna la emisión de calor, dependiendo parcialmente de las cualidades de la superficie (textura, color) pero más de la velocidad del movimiento del aire que pasa por la superficie y, por lo tanto, del grado de exposición.

El uso de tubos de diámetro pequeños conduce a valores altos del coeficiente de transferencia de calor.

2.3. PARTES DE LOS COLECTORES SOLARES

2.3.1. Elementos que los constituyen

Por lo ya expuesto anteriormente al hablar de los tipos de colectores solares, nos ha parecido el sistema más conveniente a desarrollar el **colector plano**. Algunos elementos que nos han servido para llegar a esta conclusión son el costo accesible tomando en cuenta los elementos disponibles en el mercado mexicano, la facilidad de instalación con respecto a los demás dispositivos, la disminución tan pequeña que existe en la captación al no tener elementos de orientación automática para seguir al Sol.

Vel. aire	1	4	7	10m/s
Revoque, acabado texturado	20	36	52	68W/m ² °C
Ladrillo, acabado en cemento	16	29	42	55
Cristal, pintura blanca	9	17	25	33

f.2.20 Conductancia de superficies

La tabla f.2.21 da los coeficientes de absorción para radiación solar y coeficientes de emisión para infrarrojos de onda larga (valores medios).

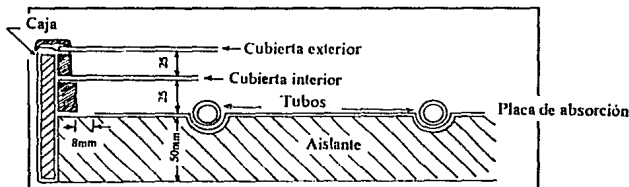
Los elementos más importantes de este tipo de colectores se muestran en la figura f.2.22.

La energía atraviesa una o varias cubiertas para luego quedar en la placa de absorción. El calor es posteriormente transferido por conducción hacia los tubos, llegando eventualmente por convección hacia el fluido de trabajo.

Es importante conocer el material de los tubos, el diámetro nominal y la longitud de ellos, el número de tubos y el espaciamiento entre ellos; el material, el espesor y el acabado superficial de la placa de absorción; el número y el tipo de cubiertas; el espesor y el tipo de aislante, el flujo de masa y el medio de trabajo (agua, aire, fluido orgánico, etc.); la inclinación del colector con respecto a la horizontal; etc.

	a(solar)	e(baja temp.)
Superficies negras no metalicas	0.92	0.94
Ladrillo rojo, piedra, losa	0.73	0.09
Ladrillo cocido y amarillo, piedra	0.06	0.90
Ladrillo crema, losa, revoque	0.40	0.50
Cristal de ventana (claro)	transparente	0.92
Cristal opaco, aluminio, acero galvanizado	0.50	0.25
Latón pulido, cobre	0.40	0.03
Aluminio cromo pulido	0.20	0.10
Pintura blanca	0.20	0.80

f.2.21 Coeficientes de absorción³⁵



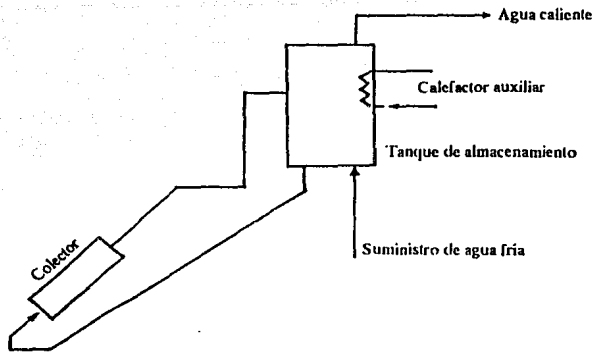
f.2.22 Elementos de los colectores planos

Todos los calentadores de agua mediante energía solar consisten básicamente en un colector que recibe la energía incidente durante el día y un tanque de almacenamiento que contiene el agua que ha sido calentada. La fig. f.2.23 muestra un calentador típico operando en condiciones de circulación natural. El calor es absorbido en el punto más bajo del sistema.

Esto causa un incremento en la temperatura del agua dentro del colector y una consecuente disminución en la densidad de ésta.

Esta circulación natural continúa mientras exista suficiente calor para aumentar la temperatura del agua y la fuerza de empuje resultante pueda vencer las caídas de presión en el sistema.

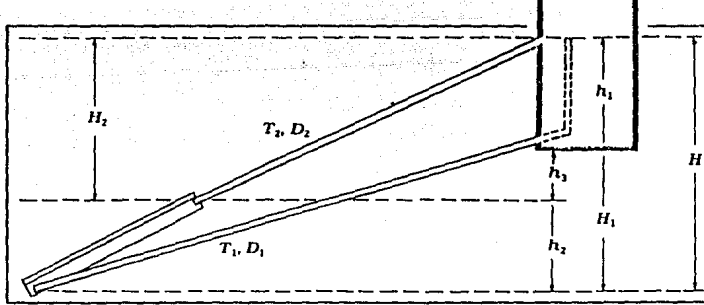
³⁵ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION. Op. Cit. pg. 128s. A partir de esto, podrá verse que, por ejemplo, una pintura blanca y una superficie metálica brillante pueden tener el mismo coeficiente de absorción (0.2), pero el primero tendrá un coeficiente de emisión de 0.8 y el segundo de 0.1. Así, ambos pueden absorber la misma cantidad de calor, pero el blanco será más frío, ya que emite más.



f.2.23 Sistema de circulación natural

El flujo inverso es indeseable, y puede ocurrir en un sistema con circulación natural durante la noche. Para comprender el fenómeno, supóngase que el calentador es un tubo en forma de V inclinada (en un plano vertical), como en la fig f.2.24. D_1 y T_1 son la densidad y la temperatura promedio del agua en la parte baja del tubo en V. D_2 y T_2 son la densidad y temperatura promedio del agua en la parte alta del tubo en V; ésta correspondería al colector y al tubo de flujo principal. Si T_2 es menor que T_1 , es decir D_2 es mayor que D_1 , se tiene circulación inversa. La temperatura T_2 puede ser menor que T_1 si el tubo de flujo principal no tiene aislante o es inadecuado; igualmente si las pérdidas de calor en el colector son despreciables. Se ha demostrado que un valor de h_3 superior a 60 cm evita la circulación inversa.

El panel de un típico colector solar a líquido es bastante similar al descrito más arriba en lo que respecta a la construcción, aunque tiene algunas diferencias. Un sandwich típico consta de: una o dos hojas de vidrio o de plástico claro transparente (si se usan dos, habrá un espacio de aire de alrededor de 1.90 cm entre ellas); otro espacio de aire de 1.90 cm encima de la lámina absorbente de metal pintada de negro. Esta lámina contiene (ya sea adherido o incluido en ella) un tubo de metal negro que lleva el líquido calentado por el Sol. Generalmente, hay cañerías principales en las partes superior e inferior de cada lámina del colector; el inferior, para introducir líquido frío; el superior, para extraer el líquido que ha sido calentado por el Sol.



f.2.24 Sistema de circulación natural II

Directamente debajo de esta lámina absorbente que lleva líquido hay un soporte aislante a la manera de una plancha de fibra de vidrio. Todas estas capas están juntas, selladas en una caja abierta de madera o metal, o aseguradas a los bordes por un perfil T resistente.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Para calcular la eficiencia de nuestro colector, es importante también conocer algo de los materiales que lo constituyen.

VIDRIO

Es el material transparente más antiguo fabricado por el hombre, se ha utilizado extensamente para las tapas de los colectores planos, y para los espejos de los colectores focales. El vidrio sencillo de acristalar, de 3 mm de espesor, es permanente y no se deteriora por lo elementos atmosféricos, pero es pesado y frágil y necesita grandes estructuras para sustentarse. El vidrio es transparente a la luz solar excepto a la ultravioleta, pero es opaco a la infrarroja de gran longitud de onda, actuando de esta manera como una trampa de calor eficaz cuando se emplea como tapa.

La reflexión de cada dioptría de vidrio y aire es del 4% del total y la absorción de radiación solar en el interior del vidrio puede llegar a varias centésimas, por tanto la luz perdida puede ser de un 10% o superior cada vez que ésta atraviesa una hoja de vidrio.

PLÁSTICOS

Las posibilidades de conseguir láminas delgadas y fuertes de plástico con propiedades especiales es importante para el progreso del uso de la Energía Solar. El plástico es transparente y se puede conseguir en varios espesores. Es fuerte y tenaz, se transporta fácilmente y es barato. El deterioro debido a la luz solar y a la exposición a

los factores climáticos ha sido un inconveniente grande, pero los fabricantes han desarrollado plásticos nuevos con propiedades excelentes.

METALES

Existen varios metales que pulidos perfectamente proporcionan una buena reflectividad solar. El acero inoxidable, el níquel y el cromo son permanentes y aparentemente brillantes, pero su reflectividad a la luz solar es muy baja.

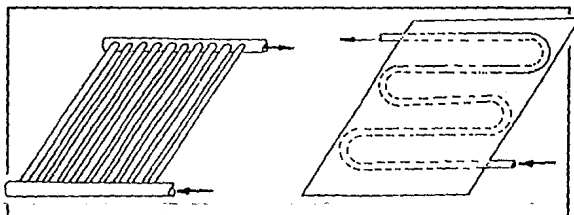
El aluminio es quizá el metal mejor y más barato para la reflexión directa de la luz solar. Cuando se pule perfectamente proporciona una reflectividad muy alta por que la capa de óxido Al_2O_3 que se forma instantáneamente no es muy profunda y la reflexión no se reduce mucho porque es suficientemente transparente. La reflectividad depende mucho de la pureza del aluminio y de su pulido. Pruebas realizadas con distintos tipos de aluminio han dado como resultado reflectividades del 60% al 70%. El papel de envolver de aluminio tiene una reflectividad del 65% a la luz solar.

2.3.2. Construcción y montaje

El calentador solar de agua más sencillo es una bandeja negra horizontal llena de agua o una larga espiral de manguera negra de jardín colocadas al Sol. Sin embargo, tan pronto como la bandeja de agua se calienta pierde calor através de la vaporización del agua, por radiación infrarroja larga, por convección al aire circundante y por conducción a los materiales de que está construido el colector. Los calentadores solares se construyen con una cubierta transparente de vidrio o plástico que reduce la rerradiación y la convección de calor al aire en movimiento. La cubierta es transparente para la luz solar pero es opaca a la radiación infrarroja larga que emite el agua caliente y actúa como una trampa para el calor.

En un modelo más evolucionado, se colocan inclinados hacia el Ecuador una serie de tubos paralelos prácticamente tocándose, y se sueldan o se atornillan los extremos de los tubos a otros tubos horizontales de reparto, el más bajo de agua fría y el superior para la salida de agua caliente (figura f.2.25). Los tubos paralelos no son eficaces porque se desaprovecha la radiación solar que cae entre ellos. Lo más normal es soldar los tubos de cobre o de acero que transportan al agua a una lámina ennegrecida de cobre. La buena conductividad de la lámina hace que sean necesarios menos tubos. La lámina metálica con los tubos pegados se coloca en una caja inclinada, aislada térmicamente y con una tapa de una o dos hojas de cristal. En una variante de este modelo, los tubos paralelos se sustituyen por un único tubo de cobre doblado como un serpiente y

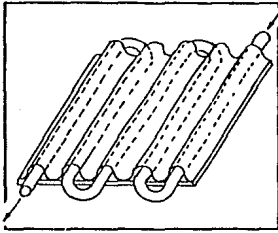
soldado a la lámina colectora de cobre (figura f.2.26), simplificando las conexiones necesarias al extremo de los tubos.



f.2.25 y f.2.26 Colector de tubos paralelos

Una manera barata de construir canales paralelos consiste en unir con remaches un trozo de acero galvanizado ondulado de techo con una chapa de acero galvanizado y soldarlos por los extremos. El colector se coloca en una caja de madera inclinada con un aislamiento de 10 cm de fibra mineral y una tapa de vidrio. En instalaciones de baños se ha utilizado una modificación de este tipo consistente en insertar en los canales tubos que se conectan por los extremos al tubo colector a través de trozos de manguera flexible de goma, pero la conductividad de la chapa ondulada a los tubos es pequeña.

Ondulando una chapa delgada de metal se puede obtener canales circulares casi cerrados en los que se introduce un tubo de plástico sobredimensionado para obtener buen contacto térmico. El tubo flexible se forza a través de los canales paralelos (fig f.2.27) y el difícil problema de la conexiones en los extremos se resuelve doblando el tubo en los extremos en forma de semicírculo. Se aumenta la conductibilidad del tubo plástico impregnándolo con polvo de cobre. El colector se puede fabricar con chapa de aluminio de 0.5 mm de 0.6 x 3 con nueve canales conteniendo 30 m de tubo de plástico. El costo de instalación es pequeño. Este tipo tiene la ventaja de que los tubos de plástico no se ven afectados por las heladas. Las chapas se colocan sobre 5 cm de aislante de fibra de vidrio cubierto con Mylar transparente de 0.012 cm, de espesor. Se llega a obtener una eficiencia del 58% para una diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de agua de 33°C, y una eficiencia del 37% para una diferencia de temperatura de 55°C.



f.2.27 Colector de canales circulares

Se debe colocar una válvula de retención para impedir el flujo hacia abajo de agua caliente.

Este dispositivo se puede colocar en el suelo o en un soporte sobre el suelo. Se puede economizar algo construyendo el calentador al mismo tiempo que la casa, de manera que el colector cumpla las funciones de tejado, como lo propondremos con un poco más de detalle en el capítulo 5.

El captador plano está hecho usualmente de acero, cobre o aluminio, que puede ir pintado de negro mate (para simular una superficie opaca) o con aplicaciones de diversos óxidos para concentrar la energía, con la finalidad de que la superficie receptora sea lo más oscura posible, y así aprovechar alrededor del 95% de la radiación incidente. Las cubiertas de vidrio o plástico transparente reducen las pérdidas de calor por convección y rerradiación.

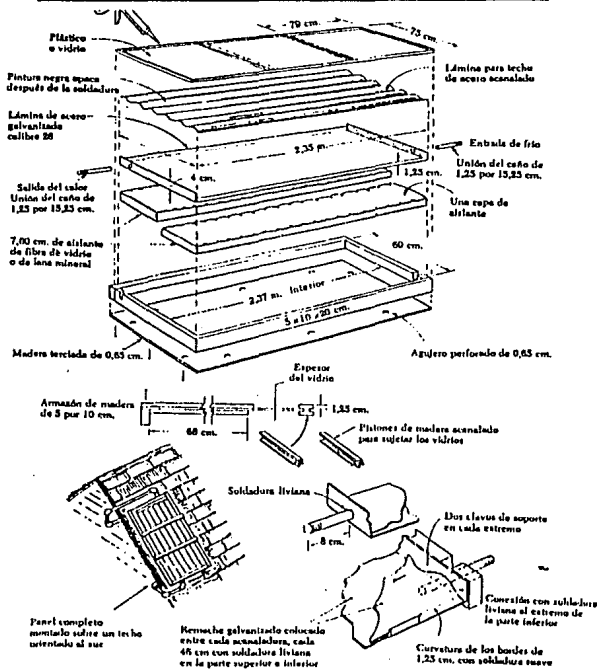
El receptor ennegrecido se coloca en un marco, generalmente de madera y se inclina a un ángulo apropiado. Para calentar agua, los tubos de conducción se fijan en la parte trasera para asegurar un buen contacto térmico.

2.3.3. INSTRUCCIONES PARA CONSTRUIR UN COLECTOR DEL MODELO A LÍQUIDO

1. Debemos conseguir una hoja de acero galvanizado acanalado para techo de 2.45 m x 0.70 m. Si se prefiere un panel más liviano debe usarse una hoja de aluminio acanalada para techo de tamaño standard. La mayoría de los procedimientos son similares. Luego pondremos en escuadra los extremos de esta hoja.
2. Se emplea un hoja plana y delgada de acero galvanizado, combándola por medio de tacos de madera dura y un mazo, formando así una bandeja para contener el panel absorbente de acero acanalado. La profundidad de este bandeja será de 5 cm.
3. Se limpian los bordes de la hoja acanalada con un cepillo de alambre y una solución de ácido diluido o una mezcla para soldar, y la hoja plana inferior que se pretenda soldar con el techo.
4. Se coloca la hoja acanalada sobre la bandeja y se comban sus costados sobre las acanaladuras con el fin de ceñirlas a las juntas, a lo largo de

- ambos lados, soldando después dichas juntas a soplete con soldadura de buena calidad.
5. En el ángulo más bajo de uno de los extremos de la bandeja, se taladra un orificio, soldándolo con un tubo roscado de unión de acero galvanizado fileteado para encastrarlo con la línea de entrada del agua fría. A continuación se coloca un dispositivo similar para salida de agua en el ángulo superior, contrario de la bandeja, situado en el borde superior del panel. Se suelda el extremo de la hoja acanalada al de la bandeja, en su parte superior o inferior.
 6. Provisto de un remachador, se recorren a lo largo las limahoyas de la lámina acanalada, colocando remaches en el fondo de la placa de la bandeja a intervalos de 60 cm. Luego se sella cada hoja a los remaches por medio de una soldadura.
 7. Se llena al panel con agua para ubicar eventualmente filtraciones. Al localizarlas, se marcan los respectivos lugares obturándolas después con soldadura.
 8. Listo el colector se pinta la parte superior de la lámina acanalada con pintura negra selectiva.
 9. El resto del trabajo es relativamente fácil, ya que se ha llevado a cabo más de la mitad del mismo. Se arma una estructura de madera para contener el panel recolector, como se muestra en la figura f.2.28. Se recomienda para el fondo una placa de madera terciada de 65 mm y maderas de Pernambuco de 5 cm por 15 cm para los costados y el fondo. Se perforan tres agujeros de 1 cm de diámetro ubicados exactamente a lo largo de los costados de la caja de madera, y dos agujeros más en cada extremo. Estos agujeros son necesarios para proporcionar ventilación al agua o a la condensación que puede escapar del panel metálico.
 10. Se llena la caja de madera con un acolchado de 7.5 cm de espesor de fibra de vidrio o de algún aislante similar, con el fin de retener el calor solar durante más tiempo.
 11. Debajo de las dos láminas absorbentes de aluminio se extiende una capa de fibra de vidrio aislante de 3 cm. de espesor colocada en un armazón de aluminio. Se ubica en esta caja el montaje de ambas hojas de aluminio encimadas y el encristalado doble.
 12. Se deben conectar las cañerías que llegan y salen de este sistema de paneles ubicado sobre el techo, a un tanque-depósito grande de agua colocado

bajo el nivel del suelo. Este tanque es rectangular, de hormigón poroso de 1.85 m de alto, 3.80 m de largo y 2.90 m de ancho revestido interiormente. Alrededor de este tanque, exceptuando la tapa, deben colocarse 12.70 cm de aislante, 7.62 cm de espuma de poliuretano. La tapa del tanque se cubrirá con 5.08 cm de madera aislante.



f.2.28 Estructura para el panel colector

El pánel Zomeworks cuenta con algunas características innovadoras muy interesantes que es conveniente mencionar:

"Hay tres tapas Zomeworks colocadas sobre el sistema colector principal. Están propulsadas en forma mecánica para que cada una se abra al comienzo de un día soleado y se cierre automáticamente transformándose en aislante, al final del día o durante mal tiempo. Cada tapa tiene una superficie de 1.5 m² y capta la radiación solar de los reflectores "planar" enfrentados con una mylar de alta reflectancia aluminizada de 6 mm.

"(En el edificio) las ventanas, orientadas hacia el Sur, tienen doble vidrio y una superficie de 8.35 m². Durante los días soleados y fríos, se despejan 5 m² de la superficie de dichas ventanas a fin de proporcionar calefacción solar adicional a la casa. Al finalizar los días invernales, un ventinador llena el espacio de 75 mm entre las placas de vidrio con cerca de un millón de pequeñas burbujas de poliestireno."³⁶

Otro sistema de construcción es el utilizado por Thomason en algunas de sus casas solares:

- "1. Tomaremos un sola hoja de aluminio standard acanalado para techado, de 4.90 m de largo, 1.20 m de ancho y de 45 mm de espesor. Las ondas de esta hoja deben ser de 25 mm de ancho por 12 mm de profundidad y sus centros se colocan cada 69 cm. Ubíquese la hoja sobre caballetes pintando el lado superior con una pintura negra selectiva.
- "2. Constrúyase una bandeja de aluminio con paneles de alrededor de 10 cm de ancho para los lados y una hoja de aluminio para el fondo. Colóquese dentro de ella al panel colector pintado de negro.
- "3. Armense ocho coberturas de vidrio de 60 cm de largo y 1.20 m de ancho en marcos de aluminio que descansen sobre la hoja negra absorbente acanalada.
- "4. Colóquese un trozo de cañería de cobre de 19 mm de diámetro, como cámara de circulación a través de la parte superior de la caja de aluminio. Si se desean instalar varios paneles solares yuxtapuestos, la cañería debe ser lo suficientemente largo para que lleve agua a todos los paneles, resultando algo más de 1.20 m de cañería de circulación (un poco más que el ancho de cada absorbente, por lo que el recipiente de la bandeja debe ser más grande). Colóquese un respiradero al final para que el agua entre a esta cañería conductora. Se adosará a esta cañería uno más pequeño de cobre de 10 cm de diámetro conectándolo para que corra paralelo a la cañería conductora a lo largo del absorbente. El alimentador de 1.22 m deberá perforarse con agujeros de 16 mm, centrados cada 7 cm para que el agua de la cañería conductora que pasa a través del alimentador se filtre por orificios y baje a las limahoyas de la placa negra absorbente.
- "5. Debajo del absorbente, entre éste y la bandeja de aluminio, se colocará por lo menos, 6.5 cm de fibra de vidrio aislante.

³⁶COMO USAR LA ENERGIA SOLAR. Op. Cit. pg. 57s.

"6. En el nivel más bajo de la bandeja se ubicará un goterón para evacuar al agua que se filtra hacia las limahoyas del absorbente. En los paneles yuxtapuestos se conectarán estas canaletas goterones con cañerías de cobre. El alimentador de agua del tanque de depósito de este diseño contrariamente a la mayoría de los colectores del modelo a líquido, recibe agua bombeada desde la cañería conductora a la parte superior de los paneles colectores. Desde ahí, el agua calentada por el Sol se filtra y se introduce, ya sea por gravedad o por la acción del bombeo, a la parte superior del tanque de depósito."³⁷

Un panel completo de 2.44 m de largo, 0.61 m de ancho y 14.5 cm de profundidad pesa normalmente 24 kg o 1.50 kg por cada 0.093 m².

A medida que descienda la temperatura ambiente, disminuirá la eficacia del colector. Hay una relación lineal entre la diferencia de temperatura del aire exterior y la de la salida del colector solar. $T \text{ diferencia} = T \text{ salida} - T \text{ del aire en grados C.}$

Colocando una capa delgada de aluminio sobre la capa de aislante podemos conseguir que se refleje el calor de los costados y el fondo de la caja de acero y lo proyecta hacia los tubos negros que contienen agua.

Para un buen funcionamiento del termosifón, o sea, el movimiento ascendente del agua en los cilindros como efecto de la calefacción, la inclinación debe ser de 15 grados. Se recomienda revisar el techo de la casa antes de instalar el panel puesto que un panel de tamaño medio, lleno de agua, pesa alrededor de 250 kg. El panel solo pesa alrededor de 11 kg por cada 100 cm², sobrecarga que cualquier techo bien construido puede soportar.

Con periodos de almacenamiento pequeños y flujos rápidos de agua que proporcionan temperaturas bajas, la eficiencia es más alta. Para producir temperaturas superiores a los 60° se debe disminuir el flujo y aceptar una eficiencia más baja.

No es conveniente utilizar masilla o compuestos de brea para sujetar la tapa de cristal puesto que se suelen deteriorar después de pocos años de exposición a la intemperie. Se obtienen mejores resultados colocando los vidrios con juntas de fieltro o plástico flexible, que permiten un cierto movimiento del vidrio sin dejar pasar el aire.

³⁷Op. Cit. pgs. 65a.

2.3.4 Opción entre coberturas de plástico y de vidrio

Las coberturas plásticas para los paneles solares presentan ciertas ventajas sobre el vidrio. Sus propiedades de captación son tan buenas como las del vidrio con la ventaja de su liviandad -0.15 kg para 0.09 m- para las de plástico, contra 0.725 kg para vidrio doble de 32 mm de espesor. Las coberturas de plástico de los colectores también tienen mayor resistencia a la fractura y a los golpes con la ventaja de que pueden cortarse más fácilmente con las herramientas manuales, como se expuso ya anteriormente.

Si se desea, pueden usarse dos en vez de una sola capa de plástico o de vidrio, con un espacio intermedio de aire de alrededor de 2 cm. Con respecto a la opción de usar uno o dos capas de material de cobertura, la mayoría de los expertos en paneles solares sostienen que con dos capas se ganará algo en cuanto a aislamiento y por consiguiente en la retención del calor. Pero se pierde en la transmisión de luz solar a la superficie negra absorbente. Una sola capa transmitirá alrededor del 90% de asoleamiento. Una cobertura típica de doble capa reducirá la captación a el 80%, en forma aproximada, aunque recoge más radiación de rayos infrarrojos reflejada y, por consiguiente, más calor.

Sea que se elija plástico o vidrio como material de recubrimiento del panel, es importante asegurar el hermetismo de las estructuras de madera, sellando los costados.

Es más eficaz colocar dos o más láminas que una, pero cada lámina reduce la cantidad de radiación solar que pasa por absorción en el vidrio o plástico y en un 8% a causa de la reflexión en las dos dioptrías aire-vidrio.

El índice de refracción del vidrio ordinario es de alrededor del 4% en cada dioptría y este valor en la mayoría de los plásticos es muy parecido.

Cuando se utilizan varias láminas transparentes se colocan separadas entre sí unos 2.5 cm para minimizar la circulación del aire entre ellas y reducir las pérdidas por convección. Hay un número óptimo de láminas para cada temperatura dada que nos proporciona la mayor cantidad de calor al mínimo costo, en paneles planos, son dos las láminas recomendadas, por lo ya expuesto párrafos anteriores.

La transmisividad de los vidrios y plásticos varía mucho. Un vidrio de alta calidad, absolutamente transparente cuando se examina el borde, puede absorber únicamente el 3 ó 4% de la radiación solar que lo atraviesa. Sin embargo, si al examinar el borde, éste aparece de color verde, debido casi siempre a la absorción de luz por los compuestos de hierro en el cristal, la absorción puede ser de hasta un 6%. La absorción depende del

espesor del cristal y para conseguir gran transmisividad y bajo precio, el cristal debe ser tan delgado como sea compatible con la resistencia mecánica.³⁸

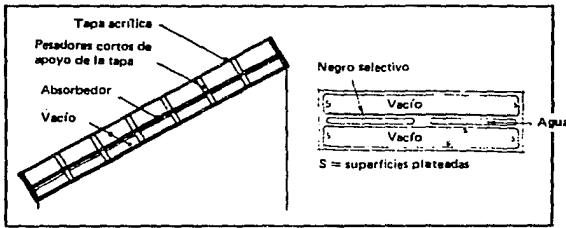
En cualquier caso puede perfeccionarse la eficacia del colector colocándole una hoja lisa de aluminio pulido, armado sobre madera terciada dispuesta a lo largo del pie del colector. Esta hoja actúa como un reflector de la luz solar, incrementando el rendimiento del colector en un 25% o tal vez más.

Hay que asegurarse de que la parte posterior de los colectores no quede a la sombra de la pared que se encuentra al frente, sobre todo durante el invierno en las latitudes septentrionales, cuando el Sol está bajo en el horizonte meridional.

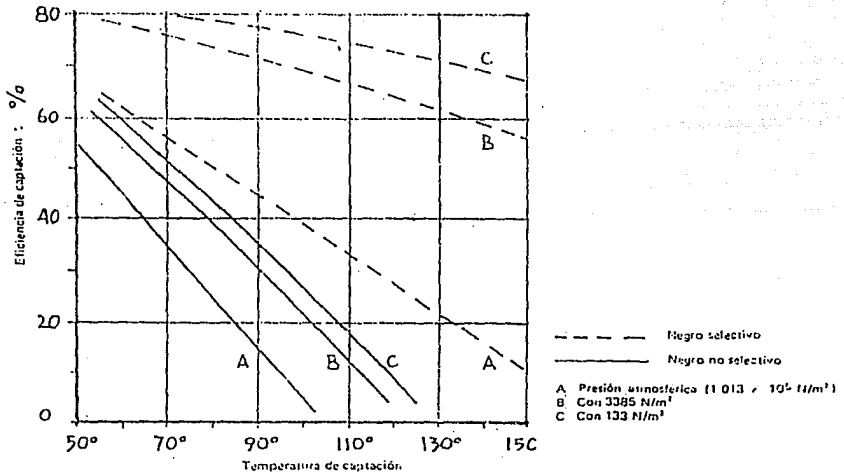
MEJORAS

Una forma de mejorar el rendimiento de los colectores de placa es reducir la pérdida de calor, creando un vacío parcial entre la placa de absorción y su tapa transparente. Para evitar que una tapa transparente se rompa bajo la presión atmosférica cuando se vacía el interior, pueden insertarse espaciadores cortos. Estos espaciadores cortos pueden mantener separada la placa de absorción y la lámina de soporte. El vacío será un aislante superior a cualquier grosor practicable de material aislante poroso. La figura f.2.29 muestra una sección transversal de un absorbedor de este tipo y la figura f.2.30 indica las mejoras que pueden obtenerse con dos niveles distintos de vacío. La mejora es más pronunciada con superficies selectivas. En este caso las pérdidas radiantes se reducen en función de la baja emitancia de la superficie absorbente y las pérdidas conductivas disminuyen con el vacío creado entre el absorbedor y sus tapas.

³⁸USO DIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR. Op. Cit. pg. 42.



f.2.29 Sección de un absorbedor



f.2.30 Diferencia de captación por vacío

2.3.5 Mantenimiento de los paneles solares a agua

Al usar paneles colectores y cañerías de aluminio, se debe averiguar el pH de acidez o alcalinidad del agua. Los elementos de aluminio durarán largo tiempo si el pH es de 6 a 8. Si el pH es más bajo y el agua más ácida, se opta entre dos soluciones: insertar un producto regulador en el agua fría y en la entrada del panel solar, o no usar el aluminio. En la actualidad, muchos sistemas de aluminio han prestado servicios durante

mucho tiempo en los EEUU y continuarán haciéndolo, porque el pH del agua está dentro de los límites mencionados, o bien los paneles colectores contienen un inhibidor y/o una mezcla anticongelante para que el líquido contenido en los paneles solares recorra en una vuelta cerrada y a través de un transformador térmico, llegue a un tanque con agua potable. El líquido de los paneles se cambia, en este último caso, cada dos años, o con más frecuencia, tal como se procede a cambiar la mezcla anticongelante del sistema de refrigeración del automóvil.

2.4. SISTEMAS

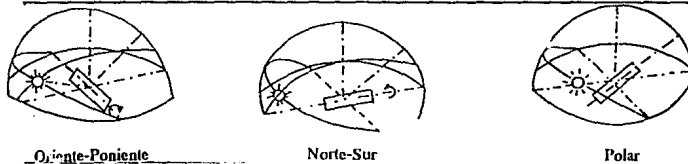
2.4.1. Sistemas de orientación

Para un rastreo preciso del Sol se utilizan dispositivos de control que contienen sensores actinométricos.³⁹ Estos sensores además responden a variaciones debidas al viento o a los mecanismos de transmisión. Hay tres técnicas empleadas para seguir al Sol:

1. Sistemas en los que el concentrador y el receptor giran.
2. Sistemas en los que el concentrador permanece fijo y el receptor se mueve.
3. Sistemas heliostáticos en los que los espejos se orientan para enfocar la radiación.

ORIENTACIÓN SOBRE UN EJE

La orientación puede hacerse de Oriente a Poniente o hacia el Sur. En estos casos el eje de rotación del concentrador está siempre perpendicular al movimiento del Sol. Si el eje de un colector montado en la orientación Norte-Sur se inclina hasta quedar paralelo al eje de rotación de la Tierra se tiene la llamada **montura polar**. Figura f.2.31.



f.2.31 Orientación sobre un eje

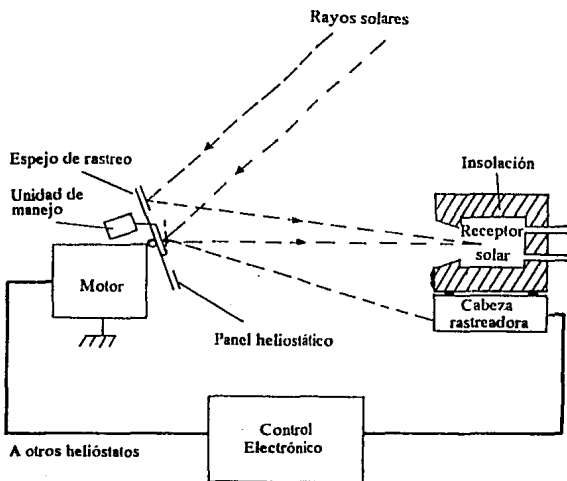
³⁹Los sensores actinométricos son dispositivos que son capaces de hacer mediciones de la intensidad de la radiación solar, como los mencionados en la sección 1.4.1

ORIENTACIÓN EN DOS EJES

Los colectores pueden ser capaces de rastrear el Sol en dos dimensiones, girando sobre dos ejes independientes. El cambio de la posición del Sol significa un cuarto de grado al día y ésto se puede compensar con un ligero ajuste.

ORIENTACIÓN POR MEDIO DE HELIÓSTATOS

Está formada por un equipo que es capaz de detectar el ángulo de incidencia del Sol sobre un pequeño receptor. El equipo de control puede responder a las variaciones de éste ángulo y posicionar al colector en una nueva orientación. Durante la noche el equipo puede programarse para adoptar una orientación prefijada. En días nublados, en los que el equipo no alcanza a identificar las variaciones del Sol, puede operarse según el patrón memorizado del día anterior. Figura f.2.32.



f.2.32 Orientación por heliostatos

La instalación de un mecanismo para que el colector siga al Sol en su camino, no produce bastantes ventajas como para justificar la inversión.⁴⁰ Por esto, el sistema propuesto a lo largo de este trabajo, es fijo.

⁴⁰USO DIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR. Op. Cit. pg 43.

2.4.2. Sistemas de distribución

Observando el dibujo de la parte superior de la figura f.2.33, que lleva el título de "Calefacción", veremos que el líquido que conduce calor al serpentín de un tanque grande de depósito (algunas veces una mezcla de agua y anticongelante que contiene un elemento para controlar la corrosión) se bombeará hacia el extremo más bajo del sistema del panel colector solar. Cuando los rayos solares calientan el líquido, éste sube al extremo superior de cada pánel. Pasa a través de una cañería principal conectada a los conductos de los pánels volviendo al serpentín del transformador térmico del tanque de depósito. De tal modo el serpentín de calefacción solar calienta el agua fría en el tanque depósito.

El agua calentada pasa luego de un tanque de depósito aislado muy grande a uno convencional de agua caliente, más pequeño, (denominado "calefactor auxiliar").

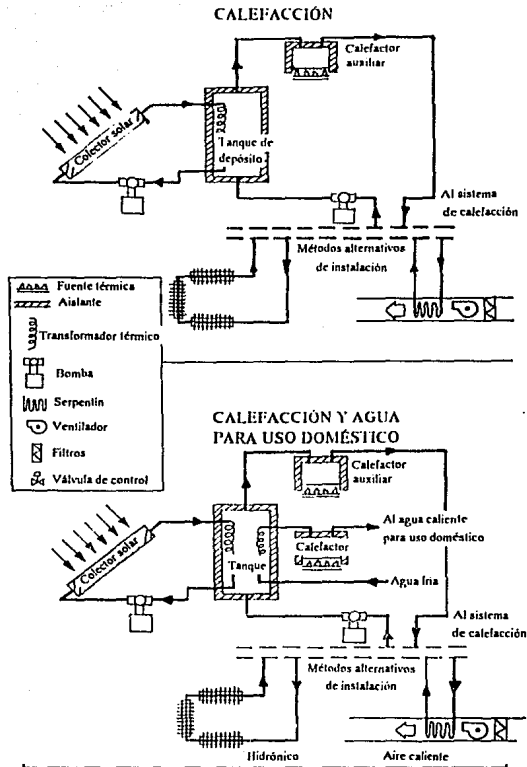
De ser necesario, se calienta éste más pequeño que generalmente contiene de 140 a 230 litros de agua, por medio de una fuente de energía auxiliar: gas, petróleo, electricidad o gasolina.

El agua calentada, proveniente del tanque auxiliar, puede usarse para dar calefacción a los ambientes, en cualquiera de las dos formas siguientes tal y como se muestra en el diagrama. Si se elige un sistema de aire caliente, entonces vale el diagrama que figura más abajo, a la derecha, con sistema de ventilador a serpentín. El aire pasa por el serpentín de la cañería que lleva el agua calentada por la Energía Solar.

El calefactor auxiliar que usa combustible convencional, se transformará en fuente principal de agua caliente sólo cuando haya un período prolongado de cielo nublado. Sin embargo, la opinión de los expertos en calefacción solar, sobre este punto es unánime: económicamente, conviene diseñar el sistema de Energía Solar que provea entre el 60% y el 90% de la necesidad total calefactora y conste, además, de una fuente auxiliar que utilice combustible convencional para emplearla durante los períodos prolongados de cielo cubierto.

Al observar el diagrama inferior de la fig. f.2.33, titulado "Calefacción y agua para uso doméstico", veremos que el sistema de Energía Solar es idéntico al que acabamos de describir, con la excepción de que consta de un segundo transformador térmico en el tanque grande de depósito de agua caliente, y este transformador envía agua caliente por un segundo calefactor auxiliar al sistema de agua caliente para uso doméstico.⁴¹

⁴¹ Este tipo de proyecto sólo se adopta cuando se trata de una casa grande o de un pequeño edificio de departamentos, que tienen gran demanda de calefacción tanto para los ambientes como para el agua caliente. En una casa típica, de seis habitaciones, lo adecuado para ambas necesidades de calefacción es un sólo calefactor auxiliar, conectado al tanque principal de almacenamiento.

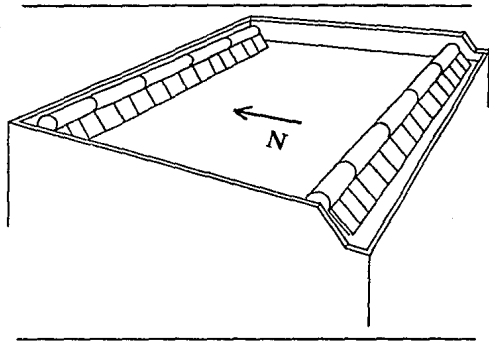
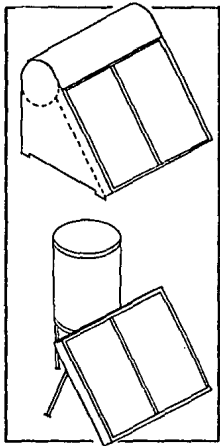


f.2.33 Sistemas de distribución

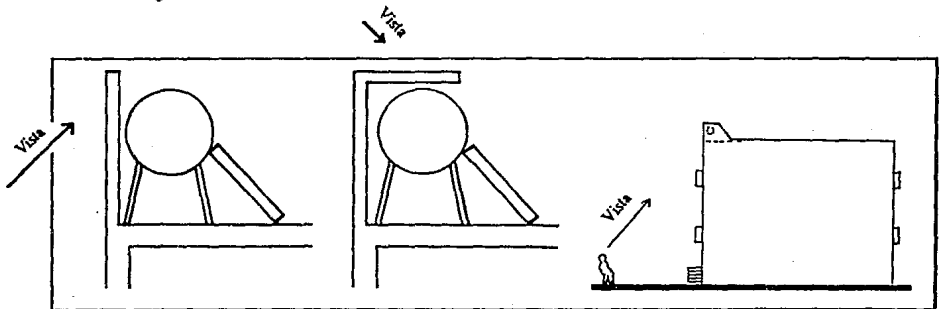
Algunos datos a tomar en cuenta al instalar el sistema de distribución son:

- 1 Pueden emplearse preferentemente colectores con tanques horizontales integrales, en lugar de cilindros verticales (figura f.2.34).
- 2 Las unidades deberían colocarse en la línea central del techo para evitar la visibilidad desde abajo (figura f.2.35).
- 3 Pueden emplazarse cerca del borde Norte del techo, si se toman medidas para taparlos mediante un parapeto y si pueden verse desde arriba, también mediante un sobretecho parcial (figura f.2.36).
- 4 Solo se colocarán a lo largo del borde Sur (donde no pueden funcionar si se tapan unos a otros) si se forma una fila de colectores de Este a Oeste (figura f.2.37).

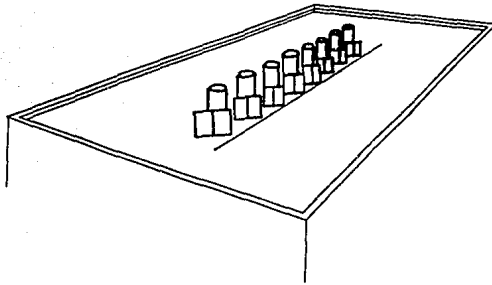
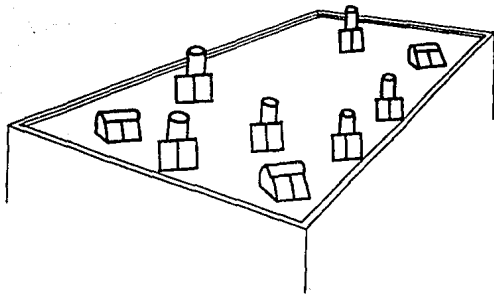
5 La integración en el edificio, es decir, el uso de los colectores como elementos de construcción es preferible a cualquiera de las soluciones arriba expuestas. Pueden convertirse en parte del techo, en balastradas de balcón, en toldo de una ventana o cualquier otro tipo de dispositivo para crear sombra, como se apuntó en la fig. 2.14.



f.2.36



f.2.37



f.2.35

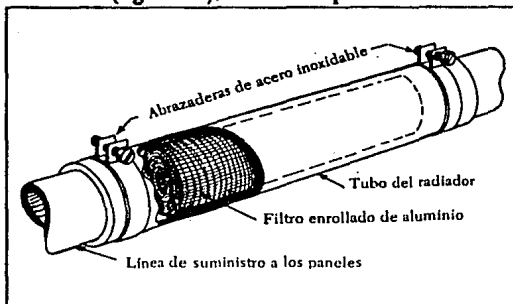
f.2.34 a f.2.37 Distribución de paneles en azoteas

Si los colectores están demasiado juntos, se arrojarán sombra mutuamente a lo largo del día, y siempre que el suelo sea barato se pueden colocar bastante separados para evitar esas sombras.

Es indispensable un distribuidor que lleve el agua corriente a los paneles solares. Los tubos de distribución se fabrican con cañerías y conexiones de PVC de aproximadamente 2 cm. El espacio entre las conexiones en T es de 1 m si los paneles se usan en forma vertical y de 2.50 m., si se usan horizontalmente, para paneles de 2.5 x 1 m. Cada conexión en T consta de una válvula de reducción en T de 1.25 a 2 cm, un adaptador de plástico que une a una toma con una conexión de rosca y a ésta con una púa, colocada a un costado para que pueda recibir un tubo flexible que procede del panel.

COLUMNA EXTRACTORA

La finalidad de la columna extractora es la de prevenir la corrosión de los paneles colectores solares. Para colar los elementos corrosivos del agua antes de que lleguen a los paneles de aluminio (fig f.2.38), se usa una pieza de fibra de aluminio.



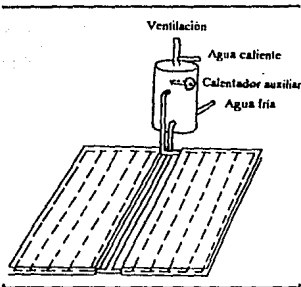
f.2.38 Columna extractora

2.4.3. Sistemas de calefacción

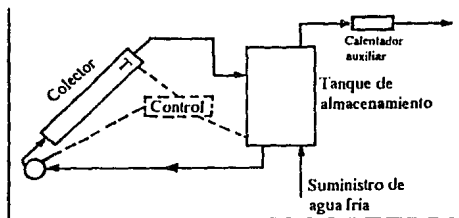
Hacen falta calentadores eléctricos o de combustión auxiliares durante los períodos nubosos, y varios autores piensan que para obtener un éxito económico, es necesario que la inversión hecha en el calentador solar se amortice en tres años como máximo con los ahorros de combustible. En algunas partes del mundo se puede cumplir esta condición. El coste de la plomería y del depósito en la instalación solar es ligeramente superior al de la instalación convencional, pero el gran colector solar es caro. Los calentadores solares de agua tienen otros dos importantes inconvenientes: el problema arquitectónico del colector solar y del depósito, y el peligro de formación de hielo y daño en las tuberías en donde se produzcan heladas.

En la mayor parte de los climas se necesita calefacción auxiliar. Una manera conveniente y barata de instalarla es un calefactor eléctrico de inmersión de 2 kw colocado en el depósito (fig f.2.39) y gobernado por un termostato que lo enciende cuando la temperatura sea por debajo de un nivel determinado, por ejemplo 57°. En otro sistema se acciona un interruptor automático cuando no brilla el Sol.⁴²

⁴²Calentar agua eléctricamente es caro, pero se puede utilizar un aparato de gas natural, butano, petróleo o metano producto de la descomposición orgánica conectado con el depósito.



f.2.39 Calefactor auxiliar



f.2.40 Sistema de circulación forzada

La gran superficie necesaria para el calentamiento solar también pierde calor de una manera efectiva, por lo que se acostumbra a llevar al agua una vez calentada a un gran depósito de almacenamiento bien aislado, sobre todo si es necesario el almacenamiento nocturno. El depósito tiene una relación superficie-volumen mucho más baja, se puede aislar la totalidad de su superficie, y el gran peso del agua se puede aguantar más fácilmente. La circulación del agua entre el depósito y el colector solar se efectúa normalmente por el gradiente térmico, puesto que el agua caliente es menos densa y sube hacia el tanque colocado en posición superior.

f.2.40 Sistema de circulación forzada

La temperatura del tanque depósito se mide en el fondo del mismo, donde el agua está más fría.

2.4.4. Sistemas de almacenamiento

El tanque de almacenamiento es un depósito de calor constante.

La estabilidad térmica del depósito es la causa por la que, muchas casas grandes equipadas con calefacción solar para los ambientes y agua caliente, posean tanques de 4,500 litros o aún más; algunos con depósito de piedra, para almacenar grandes cantidades de Energía Solar. De esta manera es posible tener calefacción solar aún durante cinco o seis días nublados.

2.4.5. Sistemas de control

En un sistema a líquido, los controles ponen en funcionamiento o detienen las bombas necesarias para satisfacer los requerimientos de la vivienda.

La fig. f.2.40 muestra un sistema de calentamiento de agua mediante circulación forzada. En este caso se incluye un circulador y un control automático. El control

diferencial hace actuar la bomba cuando la temperatura en el colector es mayor que la del tanque de almacenamiento por un valor establecido, p.ej. 10° . Similarmente, éste desconecta la bomba cuando la temperatura del colector se aproxima a la del tanque de almacenamiento, por ejemplo, dentro de unos 5 grados.

CONTROL AUTOMÁTICO Y MANUAL DE LA BOMBA

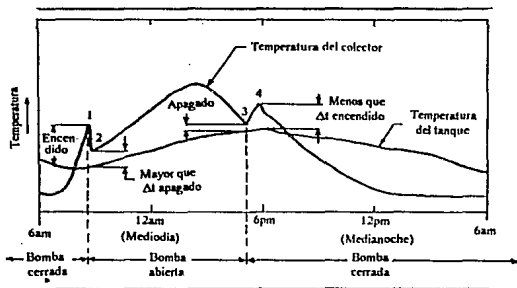
Siguiendo la curva de la temperatura del colector de la fig. f.2.41, el calor solar que alimenta el sistema de paneles pone en funcionamiento la bomba en el punto 1. El agua más fría del tanque de depósito disminuye el calor y ocasiona un descenso inicial hasta el punto 2; sin embargo esta diferencia de temperatura es mayor que 2°C , diferencial máximo entre el colector y el tanque; con el objeto de que cese el funcionamiento de la bomba que de este modo continúa trabajando.

Avanzando el día, la curva del colector llega al punto 3, la temperatura desciende a la graduación en que la bomba deja de funcionar. Todavía el Sol está calentando el agua de los paneles, que aún no se traslada al depósito; por lo tanto hay un ascenso pronunciado en la curva de la temperatura; que aún no llega a 8°C , diferencial mínimo para que la bomba vuelva a funcionar; de modo que la misma permanece inactiva.

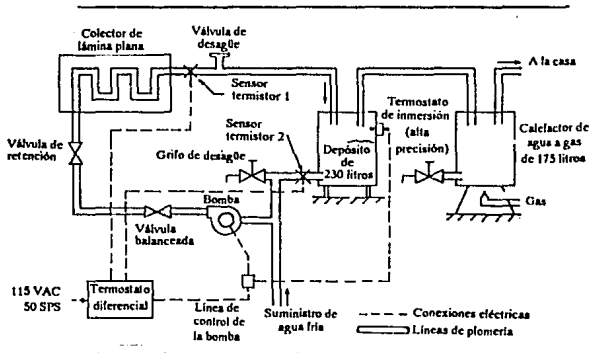
CONTROL AUTOMÁTICO PARA CALEFACTORES SOLARES A LÍQUIDO

En el sistema de calefacción solar que incluye una bomba, es importante controlar y comparar dos temperaturas: la del agua que se encuentra en los paneles colectores solares y la del agua del tanque de depósito. De ahí surge la necesidad de instalar una clase distinta de termostato, o sea de un dispositivo diferencial que mida ambas temperaturas, las compare, y basándose en esa confrontación, ponga en funcionamiento una señal de control electrónica que prenda o apague la bomba.

En los días soleados, el agua de los paneles solares se calentará más rápidamente que la del depósito. La bomba opera para mantener el agua en circulación a través del sistema y generar, de este modo, energía térmica en el tanque de depósito, que se utilizará en la calefacción de la casa o del agua para uso doméstico. Por la noche o



f.2.41 Curva de temperatura del colector



f.2.45 Instalación de un termostato diferencial

de este modo, diariamente, el ciclo de puesta en marcha y desconexión de la bomba asegurando el funcionamiento eficaz del sistema de calefacción solar.

INSTALACIÓN DE TERMOSTATO PARA UNA CALEFACCIÓN ÓPTIMA

Por supuesto, al emplear agua calentada por la energía solar, para la calefacción de los ambientes de la casa, se instalaría un tanque más grande. Aunque no lo hagamos, una temperatura más alta aumentaría levemente la calefacción de los ambientes eliminando la necesidad de un termostato nocturno.

Si la presión del agua es demasiado baja, quizás tengamos que usar una bomba pequeña que eleve el agua hasta el tanque (o tanques) de calefacción solar situados sobre el techo.

Como hemos podido comprobar, los colectores solares para calentamiento de agua, son sistemas que requieren ciertos cálculos, en alguna medida complicados, para ser diseñados. Sin embargo, tomando en cuenta las simplificaciones que venimos haciendo desde las primeras páginas de este trabajo, no ha sido excesivo el trabajo dedicado a obtener los parámetros necesarios para construir un panel destinado a calentar agua. En otras páginas de este capítulo, hemos dado el procedimiento condensado de diseño, con referencias a la bibliografía donde puede encontrarse información complementaria al respecto.

Por otra parte, también se ha hablado de la construcción del sistema que fué calculado previamente, junto con la manera que debe ser instalado en una azotea

durante los días muy nublados, la temperatura del agua del colector tiende a descender por debajo de la del tanque depósito. El propósito del sistema de trasladar energía térmica desde el depósito fallaría si la bomba continuara funcionando después.

Por lo tanto, la solución automática consiste en usar un termostato diferencial que controle y compare las temperaturas del colector y del tanque depósito, registrando,

convencional. De manera, que podemos decir, que finalizando este capítulo, y siguiendo las deducciones hechas en el presente, podemos suponernos con un sistema de calentamiento de agua através de la Energía Solar, en la azotea de una casa común, como puede ser la de cualquiera de los lectores de esta investigación.

CAPÍTULO 3: **GENERACIÓN ELÉCTRICA**

3.1. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica por medio de la utilización del recurso que nos significa el Sol, es un tema que ocupa actualmente gran cantidad de la atención científica en todo el mundo. Una buena parte de este interés está en la eficiencia de estos equipos, que comparados con los sistemas tradicionales de generación, como son los generadores de combustión o las grandes centrales térmicas, los foto-generadores no tienen partes móviles, tampoco engranajes, ruedas, pistones, ni transformadores térmicos que conduzcan líquidos o gases, los que los van haciendo cada día más atractivos.

Sin embargo, Bruce Chalmers, en su artículo "Generación fotovoltaica de electricidad", para la revista Investigación y Ciencia, escribe:

"Antes de que la Energía Solar pueda proporcionar electricidad a gran escala, hay que resolver dos problemas técnicos. El primero es el problema de convertir la energía de la radiación solar en electricidad. El segundo tiene que ver con el hecho de que la electricidad debe estar disponible cuando y donde se necesite, independientemente del tiempo, la estación del año y la hora del día. Hay que tener también en cuenta que en la realidad ambos objetivos se deben lograr a precios competitivos con los de otras fuentes de energía."⁴³

Estos dos problemas, principalmente el de la utilización de la electricidad fuera de las horas en que el Sol brilla, han conseguido frenar un poco el desarrollo de esta técnica. Pero en la actualidad, se cuenta ya con sistemas que están despejando las últimas dudas sobre utilización casera de estos dispositivos.

¿Por qué es tan elevado el coste de los dispositivos fotovoltaicos? La razón estriba en la pureza química y la perfección cristalográfica requeridas para lograr que la célula solar alcance su más alto rendimiento. Los procesos normalmente empleados para lograr pureza química y perfección cristalográfica son caros en sí.⁴⁴

La electricidad suministrada de esta forma no podría reemplazar otros medios de generación de electricidad ya que no podría utilizarse en todo momento en que se necesitase. Las centrales de Energía Solar podrían, no obstante, reducir la demanda de centrales térmicas y, por tanto, ahorrar combustible, cubriendo parte de la demanda mientras el Sol brilla, durante las horas pico de consumo.

Por otra parte, las centrales de Energía Solar podrían generar electricidad cuando el Sol brillara y almacenarla para su uso cuando no hubiera sol.

El 16 de diciembre de 1978, se puso en funcionamiento el primer sistema fotovoltaico de potencia de aplicación en aldeas, proporcionándoles a los vecinos de

⁴³INVESTIGACION Y CIENCIA; Número 3, diciembre de 1976. Págs. 16 a 26.

⁴⁴Op. Cit. pg. 23.

Schuchuli en Africa los siguientes servicios: electricidad para extraer agua potable; luz en las casas y en los edificios públicos; frigoríficos para las familias; y una lavadora y una máquina de coser de uso comunitario.

El sistema fotovoltaico de potencia de la aldea Schuchuli consiste de un montaje DC de 3.5 kw, 120 volts, 2,380 amperes de acumulación en las baterías, controles, reguladores e instrumentos y un tendido eléctrico de distribución. Las baterías y los mandos se encuentran en un edificio para los equipos eléctricos.⁴⁵

3.2. LA CELDA FOTOVOLTAICA

La mayoría de los dispositivos semiconductores, tienen una o más uniones pn, es decir, regiones de semiconductor en las cuales una distribución no uniforme de impurezas provoca un cambio brusco de material tipo p a material tipo n. Las impurezas aceptadoras de la región tipo p hacen que la concentración de huecos en ella supere a la de electrones. En la región tipo n, las impurezas donantes hacen que en ella predomine la concentración de electrones. En consecuencia, en las proximidades del plano de unión, habrá gradientes de concentración de huecos y electrones. Estos gradientes están orientados de manera que los huecos tiendan a difundirse de la región tipo p a la región tipo n, mientras que los electrones tienden a difundirse en sentido opuesto. No obstante, en el equilibrio, los huecos y electrones no circulan de manera estacionaria a través de la unión, porque en las proximidades del plano de unión hay una diferencia de potencial o barrera de potencial. El campo eléctrico asociado a la barrera de potencial está dirigido de la región de tipo n a la región de tipo p; así pues, se opone a las tendencias difusoras asociadas a los gradientes de concentración y evita (en el equilibrio) la circulación tanto de huecos como de electrones.

En las celdas fotovoltaicas encontramos las únicas fuentes de conversión directa de energía solar en energía eléctrica. Usualmente están constituidas por una combinación de estructuras de silicio superpuestas que ofrecen la combinación de absorción de radiación y conversión en energía eléctrica.

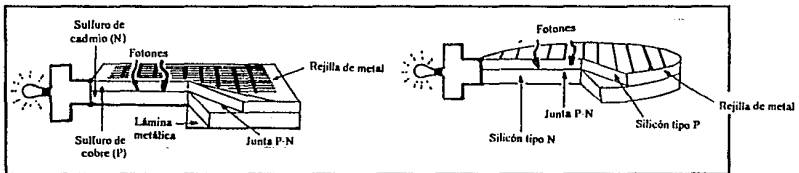
El silicio presenta dos formas estructurales: cristalino y amorfo. El silicio amorfo tiene una gran absorción óptica, por lo que esta conformación es el utilizado para las celdas; se obtiene de la descomposición del silano (SiH₄).

⁴⁵SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE POTENCIA... Op. Cit. Pg. 13.

3.2.1. Funcionamiento de las células solares

Una típica célula solar de silicón tiene dos capas, como muestra el dibujo a la izquierda de la fig. f.3.1. De acuerdo con la cantidad de pequeñas impurezas agregadas al silicón se denomina a una de las capas tipo **p** porque conduce cargas positivas llamadas huecos mientras que la otra capa se llama tipo **n** porque conduce cargas negativas llamadas electrones. Las impurezas son átomos de otros elementos distintos al silicio, tal como el boro y que produce el efecto de modificar sensiblemente las propiedades de la sustancia base. Entre ambas capas, la P y la N, hay una superficie intermedia denominada **junta P-N** y se forma con otras impurezas de la celda de silicón.

Cuando una partícula de energía de luz solar, denominada fotón, cae cerca de la **junta P-N**, produce un electrón y un agujero o hueco (que es la ausencia de electrón, o carga positiva). Los electrones se desplazan hacia la capa del tipo **N** y los agujeros al tipo **P** a medida que los fotones continúan llegando a la junta. Estas cargas crean voltaje a través de la célula. Si tenemos suficientes células solares conectadas en forma conjunta, podremos proveernos de la electricidad necesaria para cargar una batería directamente con la luz solar.



f.3.1. Celda solar de silicio

En una célula solar de silicio, la lámina de silicio tipo **N** tiene un espesor tal que la luz que incide sobre su superficie penetra lo suficiente en el cristal como para crear pares electrón-hueco en las proximidades de la unión con el silicio tipo **P**. Por consiguiente, cuando la luz incide en la célula, la lámina tipo **N** recogerá electrones y la lámina tipo **P** recogerá huecos hasta que se establezca un voltaje dentro del cristal suficiente para empujar cualquier electrón adicional hacia la lámina tipo **P**.

La energía necesaria para hacer que un electrón pase de su estado ligado en el cristal a la banda de conducción se conoce como "**gap de energía**". El gap de energía varía considerablemente de un semiconductor a otro; se puede expresar en electrón-volts o en longitudes de onda de la luz que tiene la energía cuántica requerida. El silicio tiene un gap de energía de 1.12 electrón-volt para pasar a la banda de conducción. Esta energía corresponde a una longitud de onda de 1.1 micras, que está en la región del

infrarrojo del espectro. Los fotones que no tienen suficiente energía como para liberar un electrón son absorbidos por la celda.

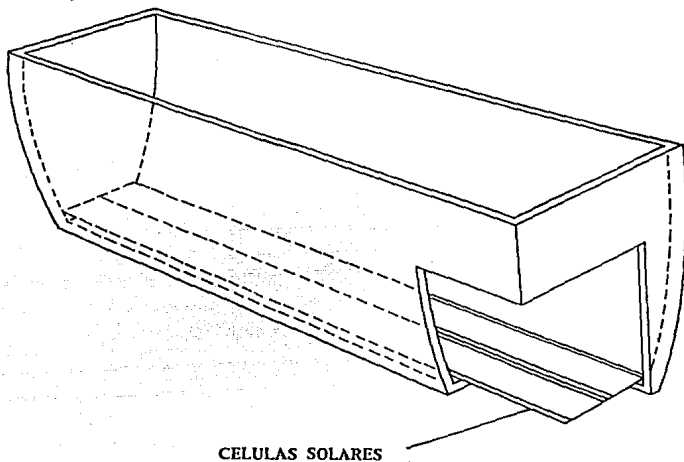
Una radiación con una longitud de onda mayor que 1.1 micras no tiene energía bastante para hacer que los electrones pasen a la banda de conducción en un dispositivo fotovoltaico de silicio.⁴⁶ Casi la mitad de la energía que la Tierra recibe del Sol llega en forma de radiación con longitudes de onda mayores que 1.1 micras; por tanto, esta energía no interviene en la generación de electricidad en una célula de silicio. Si la energía de fotón es mayor que el gap de energía, como en el caso del silicio, la longitud de onda del fotón es menor que 1.1 micras, la energía queda absorbida completamente por un electrón. Sin embargo, el electrón no puede retener más de 1.12 electrón-volt de la energía del fotón, y, en consecuencia cualquier exceso de energía se convierte inmediatamente en calor. En principio, si el fotón tuviese energía suficiente, podría hacer pasar dos electrones a la banda de conducción, pero de hecho todos estos fotones de alta energía se absorben por la atmósfera terrestre antes de alcanzar la superficie.

Como resultado de estas limitaciones físicas, sólo la mitad aproximadamente de los fotones que llegan a la Tierra pueden crear pares electrón-hueco en una célula fotovoltaica de silicio y una parte considerable de la energía de estos fotones se convierte en calor en lugar de energía eléctrica. Para ser más precisos, las limitaciones fundamentales establecidas ya por la física cuántica restringen el rendimiento máximo posible de una célula solar de silicio en la Tierra hasta un 21%, aproximadamente. Otros semiconductores tienen diferentes gaps de energía y sus rendimientos teóricos máximos son, por lo tanto, diferentes.

La potencia de salida de una célula solar de un tamaño dado es proporcional a la intensidad de radiación que incide sobre ella. Parece, por tanto, que sea económicamente rentable concentrar la radiación en un área relativamente pequeña de una célula. Esto puede conseguirse focalizando la luz solar por medio de un espejo parabólico. Sin embargo, este tipo de espejos tiene dos desventajas. En primer lugar, focalizaría la radiación de tal forma que incidiría en la célula desde varios ángulos, mientras que el mejor funcionamiento de la célula se da cuando la radiación incide formando ángulos rectos con la superficie frontal. En segundo lugar, sería necesario girar el reflector para mantenerlo apuntando al Sol, como se ha visto en páginas anteriores, a lo largo de todo el día, lo cual requeriría un sistema de guías automático bastante preciso. Además de que la concentración de energía aumenta también el calor generado por las celdas, con peligro de destruir su estructura interna.

⁴⁶Como se apuntó en la sección 1.3.2, la radiación de longitud de onda corta tiene gran contenido energético, por lo que es conveniente el contar con dispositivos que aprovechen la radiación con menores longitudes de onda.

Otra alternativa en lugar del espejo parabólico, es el reflector de forma acanalada conocido como colector Winston. El colector está diseñado para reflejar una alta proporción de luz solar incidente sobre un área pequeña, incluso cuando el Sol no está directamente sobre ellas y por tanto no es necesario que el colector siga al Sol. Se ha demostrado que es factible una relación de concentración de ocho a uno, y que el funcionamiento de las células no sufre en tanto no se les permita calentarse demasiado. (Figura f.3.2.).⁴⁷



CELULAS SOLARES
f.3.2. Colector Winston

La diferencia potencial de circuito abierto es de aproximadamente 0.6 V y la corriente de corto circuito producida puede ser del orden de 0.02 A/cm². La electricidad producida puede situarse alrededor del 16% de la intensidad de la radiación solar, pero también se ha informado de un 18%. La eficiencia máxima teórica es de aproximadamente 24%.

Un cristal perfecto tendría un rendimiento de 18%, aproximadamente. Cristales de calidad algo más baja pueden tener rendimiento entre el 10% y el 12% con un costo menor de la célula. El costo por kilowatt de salida sería entonces mucho más bajo.

Con un rendimiento del 10% un área colectora de 10 km² (un cuadrado de 3.16 km de lado) podría generar una potencia máxima de mil megawatts, la salida típica de una gran central térmica. Aunque la salida de las células solares es en forma de

⁴⁷INVESTIGACION Y CIENCIA. Op. Cit. pgs. 24s.

corriente continua puede convertirse en corriente alterna para alimentar un circuito de distribución.⁴⁸

3.3. CARGA ELÉCTRICA

Para conocer aproximadamente las especificaciones de las celdas fotovoltaicas, para una casa habitación dada, hemos desarrollado el siguiente esquema sencillo de cálculo:

	No.	POTENCIA INSTALADA		POTENCIA CONSUMIDA	
		Pot.unit.	Potencia	Prom.uso	Pot.
Lámparas	x	125 W	(x) 125	3 hr	(x)(125)3
Contactos	y	180 W	(y) 180	4 hr	(y)(180)4
Refrigerador	1	180 W	180	4 hr ⁴⁹	720
Bomba (1/4HP)	1	190 W	190	2 hr	380
			Aprox 2,400 W	Aprox 8,000Wh/día	

Recordando los datos alzados de la sección 1.5, donde suponíamos que un techo de 100 m² podría generar 80 kWh/día, no estaría muy alejado aproximar que una familia media mexicana, podría satisfacer sus necesidades de energía eléctrica con 10 m² de células solares efectivas.

3.4. SISTEMAS DE POTENCIA

Un sistema de potencia consiste generalmente de un montaje de pilas solares, acumulación de energía y de dispositivos de regulación y de control. La estructura del montaje de pilas solares sirve para la integración del llamado módulo, o pieza básica de construcción (pilas solares eléctricamente conectadas, envueltas y sujetas por un armazón). Este módulo es relativamente pequeño, de poca fuerza y pocos watts en un montaje útil. Mantiene los módulos mecánicamente unidos y proporciona dirección y puntos de conexión para el alambrado que conecta los módulos y recoge energía del montaje. La acumulación de energía, normalmente consiste de un número de pilas de

⁴⁸Op. Cit. pg. 24.

⁴⁹Se ha supuesto que el refrigerador opere solamente 10 minutos de cada hora.

plomo-ácido conectadas en serie o paralelamente para proporcionar el voltaje deseado. Hay que calcular la capacidad suficiente para la acumulación que requiera la carga particular y para responder a las variaciones diurnas y estacionales en la insolación solar. Se debe cuidar la regulación del voltaje para evitar que las pilas se carguen o descarguen excesivamente y para proteger las cargas de los extremos de voltaje.

El sistema genera electricidad en DC. Sin embargo, se utilizan transformadores comerciales DC/AC para poder conectar al sistema equipos eléctricos tales como bombas de agua, refrigeradores y equipos electrónicos. El sistema de voltaje se puede fijar a 120 watts para limitar las pérdidas en los cables de distribución y para permitir el uso de motores DC para aparatos electrodomésticos. Los dispositivos para las cargas se seleccionan individualmente basándose en la eficacia energética de éstos.

Un sistema fotovoltaico de Africa utiliza tres sistemas de controles de apoyo: regulación del voltaje del sistema y de la carga de la batería, los controles de una bomba (detectores del nivel del agua en el tanque y el pozo) y el control del tiempo de funcionamiento del molino ahí utilizado.⁵⁰

Sobre los módulos de las pilas solares de silicio, se puede decir que experimentalmente se han dado solamente 4 fallos en estos módulos. Hasta la fecha esta experiencia indica un fallo a razón de solamente 0.0064/año.

Un programa por computadora de simulación del sistema desarrollado por LeRc se usó para determinar el tamaño del montaje de pilas solares y la capacidad de las baterías. Se usaron para calcular el tamaño una gráfica de la carga por hora para cada mes, un 20% de deterioración de la producción del montaje debido a la acumulación de tierra y el potencial oscurecimiento del encapsulador del módulo y una variación de $\pm 20\%$ en el promedio de insolación.⁵¹

Debido a su estructura modular, se puede incrementar la potencia del sistema según se requiera en el futuro y según las limitaciones naturales. Esta opción para incrementar la potencia asociada con el sistema fotovoltaico está en marcado contraste con los requisitos que se asocian con montajes de generación centralizada.

A causa de los factores desconocidos en el uso de las cargas y variaciones en la insolación, se incorporó en el diseño un sistema de apoyo para el control de la carga, para:

- 1) Proteger las baterías de descarga excesiva y de posibles daños.
- 2) Para mantener el funcionamiento de las cargas críticas a expensas de las cargas menos críticas. El sistema de apoyo para el control de las cargas

⁵⁰SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE POTENCIA. Op. Cit. pg. 23.

⁵¹Op. Cit. pgs 16s.

desconecta las cargas en secuencia según la capacidad de la batería va bajando hasta los niveles fijados de antemano.

Al darse una descarga de 50%, pueden desconectarse la lavadora y la máquina de coser, a 60% se desconectarán las luces, a 70% se desconecta el motor de la bomba de agua y, finalmente, al producirse una descarga de 80%, se desconectan los frigoríficos, como en el sistema de la aldea africana. Según se van cargando las baterías, las cargas se van conectando al sistema en secuencia en el orden inverso. Las cuatro pilas piloto proporcionan un sistema para determinar la descarga de las pilas de 2380 ampere-hora.

Además de la regulación del voltaje del sistema, también se proporciona contra el exceso o falta de voltaje adecuado. Si el voltaje del sistema excede el valor máximo permitido, se desconecta el sistema. Si el voltaje del sistema desciende por debajo del mínimo permitido, se desconectan las cargas. Hay luces de alarma para indicar estas condiciones.

En las páginas de este capítulo, se ha pretendido demostrar que la instalación de un sistema generador de energía eléctrica por medio de las radiaciones solares no es una consideración ni muy complicada ni muy costosa, y se encuentra dentro de las posibilidades de comprensión y adquisición de casi cualquier familia de clase media de esta capital. Los cálculos a los que nos hemos remitido, trataron de ser simplificados a un nivel que pudieran ser fácilmente analizados.

En páginas posteriores, buscaremos justificar la instalación de sistemas de Energía Solar en casas habitación en función de su costo y su corto tiempo de amortización.

CAPÍTULO 4:
ANÁLISIS ECONÓMICOS

En estas páginas, realizaremos el estudio económico del sistema que hemos ido desarrollando en este trabajo. Haremos además, algunas comparaciones enfocadas a demostrar la viabilidad económica de los sistemas solares en relación a un sistema convencional. Por ejemplo, se ha calculado que un calefactor de agua a energía solar amortiza su costo en el término de cuatro o siete años, o quizá menos.⁵²

Un buen proyecto de instalación solar puede llegar a disminuir los gastos de consumo de combustible entre un 60% y un 70%.⁵³

El costo del sistema energético puede competir con otras fuentes alternativas de energía para aplicaciones que requieren un consumo de energía de hasta 5,000 kwh/año, por lo que en aplicaciones caseras, esta opción es realmente rentable.

4.1. COEFICIENTE DE CALIDAD

Una expresión útil de esta efectividad del coste de una instalación es el coeficiente de calidad. Puede considerarse como

$$CC = \frac{\text{Valor de la energía por la instalación en 5 años}}{\text{Gasto extra de la instalación, por encima de una convencional en el mismo tiempo}}$$

(e.4.1.)

El valor utilizado en el numerador, es función del tiempo en el que pensamos el equipo será completamente depreciado. En el caso actual, se supodrá una depreciación total en 5 años.

Se ha manifestado que el sistema será competitivo si el coeficiente de calidad alcanza o supera un valor de 1, es decir, si el ahorro de energía en 5 años es igual a los gastos de instalación.

4.2. ESTUDIO DE COSTO-BENEFICIO

En este caso se toma como costo base el costo inicial común, tanto del sistema convencional como el de Energía Solar y se realizan comparaciones en función a los costos que superan el costo base.

Se analizan tres parámetros:

1. Costo de instalación: costo del sistema de calefacción solar por encima del costo base

⁵²COMO USAR LA ENERGIA SOLAR. Op. Cit. pg.16

⁵³Op. Cit. pg. 18.

2. Costo anual del sistema convencional: costo de combustible
3. Costo anual del sistema de calefacción solar: costo de combustible de los calentadores auxiliares más costo de electricidad empleada para bombas adicionales.

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICOS

Según las fórmulas básicas de interés compuesto, el costo actual de una instalación de Energía Solar en términos del costo anual a precios actuales, viene dado por la expresión:

$$P = A \frac{1+f}{1-i} \left(1 - \left(\frac{1+f}{1-i} \right)^y \right)$$

donde P: Cantidad actual (Capital)

A: Costo anual a precios actuales

i: Interés anual

f: Tasa de inflación

y: Número de años

(e.4.2)⁵⁴

⁵⁴ ENERGIA SOLAR Y EDIFICACION. Op. Cit. 175

CAPÍTULO 5:
CONSIDERACIONES ARQUITECTÓNICAS
Y EQUIPO EN UNA CASA SOLAR
PROTOTIPO

Como hemos podido comprobar en páginas anteriores, la construcción e instalación de equipos solares es algo completamente accesible a gran cantidad de familias de nuestra ciudad. Las ventajas que hemos propuesto hacen a estos sistemas verse muy atractivos para su difusión.

Únicamente nos queda un sólo punto por exponer, que no se tratará a fondo, ya que no es competencia directa de este trabajo, y expondremos brevemente. La situación a la que nos referiremos es a consideraciones arquitectónicas que podemos nosotros sugerir para un mejor aprovechamiento de la Energía Solar por cuenta de los inmuebles.

5.1. GANANCIA DE CALOR SOLAR

La radiación solar afecta a los edificios de dos formas:

1. Penetrando por las ventanas, es absorbida por las superficies interiores del edificio y así provoca un efecto de calefacción.
2. Siendo absorbida por las superficies externas del edificio, causa una penetración de calor en la obra, que será emitida parcialmente hacia el exterior, en su mayor parte por convección, pero parcialmente conducida através de la obra y seguidamente emitida hacia el exterior.

La transmisión através de las ventanas queda determinada por:

- a. Orientación de la ventana (y, por tanto, la intensidad de la radiación incidente sobre su superficie)
- b. Tamaño de la ventana
- c. Tipo de cristal (claro, termo-absorbente, termo-repelente o cristales fotocromáticos).
- d. Dispositivos de apantallamiento, tanto externos (rejillas, persianas, toldos, marquesinas, postigos) como internos (visillos, cortinas).

En una cierta casa solar particular, el 33% de la demanda de calor se cubre através de las ventanas, el 49% a través del sistema de captación y únicamente el 18% mediante una fuente de calor auxiliar. En otro edificio se reivindica que se caliente exclusivamente mediante la ganancia de calor solar obtenida a través de las ventanas.⁵⁵

$$Q_s = H_T A t$$

donde Q_s : Ganancia de calor solar [W]

H_T : Radiación incidente en la ventana [W/m^2]

A : Área de la ventana

t : Factor de ganancia solar

⁵⁵Op. Cit. pg 65.

$$Q_c = A U \Delta t$$

donde Q_c : Pérdidas de calor solar

U : Transmitancia ($5 \text{ W/m}^2\text{°C}$)

Δt : Diferencia de temperatura interior y exterior del edificio

(e.5.2)

5.1.1. Conveniencia de la ganancia de calor solar

La pared totalmente de cristal ha demostrado ser térmicamente inferior a la pared sólida con pequeñas ventanas, ya que provoca una mayor pérdida de calor en invierno y durante las noches y una ganancia de calor innecesaria en verano, a menos que se trate de un espacio dedicado a un invernadero.⁵⁷

5.1.2. Uso de la chimenea como complemento solar

Si se cuenta con una chimenea en la casa de verano, podrá utilizarse como auxiliar del calefactor de agua solar. Esto es particularmente posible cuando se usan para el agua caliente caños de cobre, acero galvanizado o aluminio. Si el serpentín de la cañería está instalada en el hogar de la chimenea en forma conveniente, se puede aprovechar el calor del fuego para mantener agua caliente en el tanque-depósito.

Aún si se usara cañería de plástico, se podría instalar un serpentín de metal en la parte caliente de la chimenea. Entre la cañería de plástico y el serpentín de cobre para la calefacción deberán usarse conexiones apropiadas.

Dentro de las aplicaciones arquitectónicas de la Energía Solar, debe buscarse que los parasoles de ventanas y puertas en una edificación permitan la entrada del Sol al interior del edificio durante el invierno y eviten el acceso de la radiación al interior durante el verano.

5.2. DISPOSITIVOS DE APANTALLAMIENTO

El rendimiento de un dispositivo de apantallamiento puede definirse en términos de una máscara de apantallamiento. Pueden distinguirse tres tipos básicos de dispositivos:

⁵⁶Op. Cit. pg. 63.

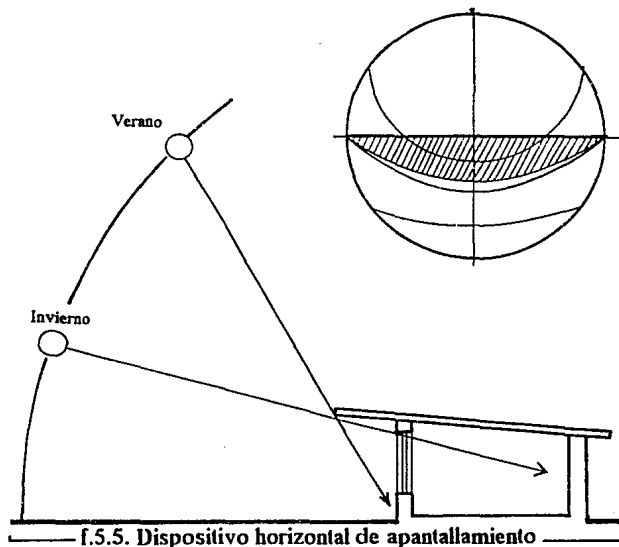
⁵⁷Op. Cit. pg. 65.

Un **dispositivo vertical** (fig f.5.1.) que se caracteriza por un ángulo de sombra horizontal y de una máscara de apantallamiento en forma de sector.

Un **dispositivo horizontal** (fig f.5.2.) que se caracteriza por un ángulo de sombra vertical y da una máscara de apantallamiento segmentada.

Un sistema tipo cajón compartimentado, es decir, una combinación de elementos horizontales y verticales fig f.5.3.) que resulta en una máscara combinada, caracterizada por ángulos de sombra tanto verticales como horizontales.

El tamaño y la estructura física de los dispositivos no importan desde el punto de vista geométrico. La fig. f.5.4. demuestra que distintos dispositivos pueden tener un mismo rendimiento. Así, el proyectista puede decidir ya al comienzo del proceso el



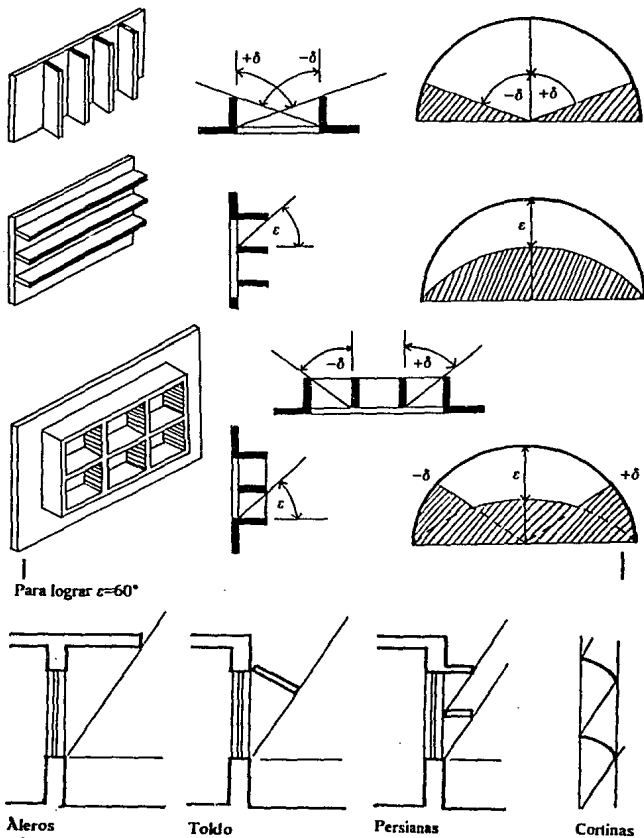
rendimiento del apantallamiento requerido, es decir, la máscara de apantallamiento, conservando todavía toda su plena libertad para la selección del dispositivo final

5.3. CONTROL SOLAR

Los dispositivos de apantallamiento fijos son controles puramente negativos, es decir, excluyen el Sol. Es posible utilizar dispositivos ajustables (celosías, parasoles), pero resultan más bien caros. No obstante, incluso los dispositivos fijos pueden ser

diseñados de forma que su rendimiento sea selectivo, es decir, que admitan Sol cuando sea deseable y lo excluyan cuando pueda provocar un sobrecalentamiento. El periodo de sobrecalentamiento puede ser establecido en el diagrama de recorrido del Sol descrito en el Capítulo 1. Seguidamente deberá construirse una máscara de apantallamiento que se adapte a la forma del periodo de sobrecalentamiento en lo máximo posible.

La fig f.5.5 muestra que un dispositivo horizontal, es decir, unos aleros anchos en voladizos sobre una ventana cara al Sur excluiría el Sol de verano muy alto.



f.5.1 a f.5.4 Dispositivos de apantallamiento

CONCLUSIÓN

CONCLUSIÓN

El uso de fuentes primarias de energía es ahora un tema de interés generalizado para el estudio y aplicación en gran cantidad de países. La energía económica y renovable comienza a ser fuertemente valorizada como un recurso con gran variedad de usos y posibilidades que parecerían de ficción en épocas anteriores.

Son bastas las conclusiones derivadas de la realización de este trabajo. De ellas, hemos elegido aquellas que consideramos más trascendentes:

1.-En comparación con las fuentes convencionales de energía, la Energía Solar es absolutamente gratuita.

2.-La Energía Solar se presenta como una alternativa sumamente aceptable para las zonas rurales de nuestro país alejados de las líneas de distribución y carreteras.

3.-Debido a la falta de partes móviles y su altísima vida útil, los dispositivos solares requieren un mínimo de mantenimiento y salvo raras excepciones requiere ser especializado el mantenimiento.

4.-La utilización de dispositivos solares resulta muy limitado en edificios de viviendas debido a la densidad de población y la limitación del área de azoteas y techos. Sin embargo, en una casa habitación, el área del techo es mucho mayor en relación a la cantidad de personas que la habitan.

5.-En esta nueva carrera tecnológica, donde el hombre busca una relación más sana con la naturaleza, brilla una posibilidad más, que como rey, quiere sentarse en su trono para dominar el mundo de los energéticos del futuro. Capacidad inagotable de uso para el hombre es la Energía Solar, de la que se ha venido hablando a lo largo de este trabajo, y se ha intentado presentar con sus posibilidades reales de utilización.

Durante los últimos años, las investigaciones al respecto, han colocado a la energía solar en una posición muy accesible para el uso humano directo, inclusive a un nivel familiar. Y siendo la familia y el hogar el núcleo de la integración y la formación humanas por excelencia, donde el hombre pasa cerca de la mitad de su vida, es que debemos dedicar esfuerzos a hacer de esta estancia un lugar confortable y agradable.

No hemos querido proponer aquí un modelo de hogar ultramoderno con usos solamente en las aulas escolares o en la mente de los escritores de aventuras.

La realidad es que la Energía Solar ha brincado las barreras del anonimato y en poco tiempo la veremos conquistando mercados abiertos antes solamente a los energéticos convencionales, incluida su aplicación generalizada en los hogares.

6.-Económicamente es ya muy rentable una instalación de Energía Solar para calentar agua y producir electricidad. La inversión inicial que puede parecernos excesiva

en un principio, adquiere otro carácter, al analizar su corto tiempo de amortización en comparación al uso de calentadores de gas y electrificación comercial. Su mantenimiento es mínimo y su tiempo de vida puede llegar a superar al que la vida de cualquiera de nosotros alcance.

7.-En términos de ventajas ecológicas, la utilización del Sol en uso doméstico, disminuye la emisión de hidrocarburos, productos de la combustión de gas y los contaminantes derivados de la operación de las grandes centrales termoeléctricas establecidas en el territorio nacional. Aunado todo esto al mejoramiento del paisaje por la reducción de postes y cableado eléctrico, la energía del astro rey nos presenta la posibilidad de un planeta menos contaminado y más natural.

8.-¿ Y qué decir de los beneficios que este uso traería a nivel gubernamental? Los grandísimos costos de operación de las centrales generadoras, producción y consumo in situ de la energía, reducción natural de presupuesto. Y ni hablar de los gastos médicos originados por la contaminación, el uso industrial de campos fértiles destinados a la ubicación de centrales, subestaciones y torres de alto voltaje, todos ellos minimizados con el uso general de la energía económica y la solar.

9.-La libertad individual y el desarrollo encontrarían también buen portador en esta tecnología al darle más independencia a los hogares y centros de vivienda, convirtiéndolos un poco más en organismos personalizados adaptados a las necesidades concretas de sus habitantes.

La sociedad ahora avanza a pasos agigantados, pues el futuro no está ya a varios años de distancia, lo vemos hoy mismo, aplicado a tecnologías celulares, inteligencias artificiales, robotización total en las industrias, producción on time, nuevas escuelas de humanismo, protección de la naturaleza. Es un reto para nuestro país y para cada uno de nosotros el enfrentar los viejos patrones, ahora tan anticuados en otras naciones, seguir caminando hacia adelante, como lo venimos haciendo en los últimos años, y ofrecer mejores opciones de vida, que logren formar una nueva generación de mexicanos más preparados, más unidos y más sanos.

APÉNDICE I: Índice de figuras

f.1.1. El Sistema Solar	24
f.1.2. Características del Sol	25
f.1.3. Dimensiones de la Tierra	31
f.1.4. Pérdidas de la radiación solar en la atmósfera	33
f.1.5. Espectros de la radiación electromagnética	37
f.1.6. Masa de aire	35
f.1.7. Tabla de radiación mundial	39
f.1.8. Radiación solar en diferentes lugares y variación anual de la radiación solar	40
f.1.9 a f.1.21 Radiación mensual y anual de México	41
f.1.22 a f.1.23 Posición del Sol en la Ciudad de México	48
f.1.24 Angulos solares	50
f.1.25 a f.1.26 Trazado de ángulos de sombra	53
f.1.27 Angulos de inclinación para paneles	55
f.1.28 Radiación en superficies inclinadas y horizontales	56
f.1.29 Coeficiente de conversión para radiación directa	58
f.1.30. Absortancia y transmitancia	60
f.2.1. Sistema de termosifón	66
f.2.2. Sistema sobre base a líquido	67
f.2.3. a f.2.4 Sistemas de calefacción	67
f.2.5. a f.2.6 Cocinas solares	69
f.2.7. Clasificación de los colectores solares	70
f.2.8. Colector de Winston	72
f.2.9. Concentrador tubular	72
f.2.10. Concentrador parabólico	73
f.2.11. Concentrador con reflector estacionario	73
f.2.12. Lentes Fresnel	74
f.2.13. Casa Thomason con sist. vertedero	77
f.2.14. Disposición de paneles	77
f.2.15. Determinación del factor de forma	81
f.2.16. a f.2.19 Variaciones de factor de forma	82
f.2.20. Conductancia de superficies	85
f.2.21. Coeficientes de absorción	86
f.2.22. Elementos de los colectores planos	86

f.2.23. Sistema de circulación natural	87
f.2.24. Sistema de circulación natural II	88
f.2.25. y f.2.26 Colector de tubos paralelos	90
f.2.27 Colector de canales circulares	91
f.2.28. Estructura para el panel colector	93
f.2.29 Sección de un absorbedor	98
f.2.30 Diferencia de captación por vacío	98
f.2.31 Orientación sobre un eje	99
f.2.32 Orientación por helióstatos	100
f.2.33 Sistemas de distribución	102
f.2.34 a f.2.37 Distribución de paneles en azoteas	103
f.2.38 Columna extractora	105
f.2.39 Calefactor auxiliar	106
f.2.40 Sistema de circulación forzada	106
f.2.41 Curva de temperatura del colector	107
f.2.42 Instalación de un termostato diferencial	108
f.3.1. Celda solar de silicio	115
f.3.2. Colector Winston	117
f.5.1 a f.5.4 Dispositivos de apantallamiento	130
f.5.5. Dispositivo horizontal de apantallamiento	129

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1.-ENERGÍA SOLAR Y EDIFICACIÓN

Szokolay, S.V.

Editorial Blume

1ª edición, 1978, España

2.-COMO USAR LA ENERGÍA SOLAR

Lucas, Ted

Editorial Víctor Leru

21 de diciembre de 1981, Argentina

3.-EL SOL EN LA MANO: ILUMINACIÓN, ORIENTACIÓN Y RELOJES SOLARES

Beltrán de Quintana

UNAM

2ª edición, 1982, México

4.-USO DIRECTO DE LA ENERGÍA SOLAR

Farrington Daniels

H. Blume Ediciones

4ª reimpresión de la 2ª edición española, 1977, España

Serie Energía, clima, diseño

5.-GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO SOLAR

Gabriel Villarreal Castillo

UNAM (Tesis para ingeniería mecánico-eléctrica)

1987, México

6.-ENERGÍA SOLAR: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES FOTOTÉRMICAS

José A. Manrique

Editorial Harla S.A.

1984, México

7.-MANUAL DE TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

Ario Garza Mercado

El Colegio de México

5ª reimpresión de la 2ª edición, 1976, México

8.-REDACCIÓN

Antonio Miguel Saad

Cía. Editorial Continental

3ª impresión, 1982, México

9.-INVESTIGACIÓN Y CIENCIA (Revista)

Número 3, diciembre de 1976

España

Artículo: GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE ELECTRICIDAD

Bruce Chalmers

Páginas: 16 a 26

10.-SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE POTENCIA PARA LAS ZONAS RURALES DE LOS PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

(NASA Technical memorandum 79097)

NASA

1979, USA

11.-LA TERCERA OLA

Alvin Toffler

Ediciones Orbis, S.A.

2ª edición, 1985, España

Colección Muy Interesante

Biblioteca de divulgación científica

Volúmenes 9 y 10

12.-CÓMO SE HACE UNA TESIS

Humberto Eco

Editorial Gedisa Mexicana

6ª edición, 4ª reimpression, 21 de abril de 1987, México

Colección Libertad y Cambio, Serie Práctica

13.-MARAVILLAS Y MISTERIOS DEL MUNDO QUE NOS RODEA

Selecciones del Reader's Digest

5ª edición, 30 de noviembre de 1978, México

Artículo: EL ORIGEN DE LA TIERRA

Gerald S. Hawkins

14.-INTRODUCCIÓN A LAS CIENCIAS. TOMO I. CIENCIAS FÍSICAS

Isaac Asimov

Ediciones Orbis, S.A.

2ª edición, 1985, España

Colección Muy Interesante

Biblioteca de Divulgación Científica

Volumen 2

15.-GRAN DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO ILUSTRADO

Selecciones de Reader's Digest

9ª edición, 27 de abril de 1978, México

16.-ENCICLOPEDIA BARSA

Encilopedia Britannica, Inc.

14ª edición, 1975, E.U.A.

17.-MUY INTERESANTE (Revista)

Año 6, No.9

México

Artículo: NOS ESTAMOS ACABANDO EL CLIMA

Miguel Ruiz-Schwarzer

Páginas 4 a 12

18.-PRINCIPIOS DE ELECTRÓNICA

Paul E. Gray.

Editorial Reverté, S.A.

1981, España