

29831

MODULO V

CATALOGADO

0

H.22217

I 24a

III

1.- Tipologías de los sistemas solares.

A partir de haber quedado definidos los parámetros que hacen a la Conservación de Energía, veremos ahora las posibilidades de aprovechar la Energía Solar.

A los efectos didácticos, estas posibilidades necesitan ser clasificadas, pues tanto podemos hablar de sistemas activos o pasivos, como de sistemas destinados a producir efectos de calentamiento como de enfriamiento. De la misma manera tanto podemos acumular en lechos de piedras o agua como en muros o pisos y para transportar y transferir el calor podemos utilizar el aire, el agua o fluidos especiales y así sucesivamente. Además de calor también podremos obtener electricidad de la energía solar. Entonces tendremos sistemas fototérmicos o sistemas fotovoltaicos. Todas estas posibilidades podrán ser incluidas en algún tipo de clasificación y a los efectos de este trabajo, llamamos a todas y a cada una de las alternativas como el nombre genérico de tipologías.

Serán las tipologías entonces, las formas de aprovechamiento más comunes de la energía solar (eólica incluida) aplicadas a la arquitectura.

Si seguimos un criterio ortodoxo podríamos clasificar los sistemas en PASIVOS y ACTIVOS pero existen también los sistemas HIBRIDOS.

Por lo general, una buena respuesta en términos de arquitectura Solar suele ser HIBRIDA, en el sentido de que tanto los Activos como los Pasivos son clasificaciones muy absolutas.

Se llama SISTEMA PASIVO al principio de captación, acumulación y distribución capaz de funcionar solo, sin aportes de energía exterior. Es decir - que el edificio en sí mismo dé respuesta al clima. Esto implica usar técnicas simples, evitando todo tipo de aparatos, aditamentos, conductos, etc., salvo la propia actividad de los habitantes para cerrar o abrir ventanas, rejas, etc.

SISTEMAS ACTIVOS : Son aquellos en que el principio de colección, acumulación y distribución necesita para su funcionamiento del aporte de una energía exterior y que implica el uso de tecnologías pesadas (equipos). Es decir considera a lo solar como una instalación más. O sea que, teóricamente sería una construcción tradicional en la cual el sistema de calefacción y provisión de agua caliente en vez de estar alimentado con energías concentradas estará alimentado por Energía Solar.

Estas son clasificaciones teóricas y la realidad va más allá de ellas.

SISTEMAS HIBRIDOS : Son aquellos que mezclan ambas situaciones. El aporte energético es generalmente pasivo pero utiliza algún tipo de dispositivo para mejorar algún efecto. También suele utilizar energías convencionales como aporte complementario en aquellos meses en que la radiación es insuficiente o cuando hay períodos de varios días seguidos sin sol.

En último término todo buen diseño de Arquitectura suele apoyarse en sistemas Híbridos, aprovechando las ventajas y posibilidades de ambos. Conviene destacar que ni lo 100% solar, ni lo 100% pasivo suelen ser la solución más apropiada, considerándose que un aporte del 60 al 70% solar es muy conveniente como solución, y que gran parte de las viviendas o construcciones realizadas poseen algunos recursos mecánicos, lo que indica la necesidad de considerar a los sistemas híbridos como los más realistas.

2.- Sistemas Pasivos

El diseño de edificios solares Pasivos involucra algo más que maximizar las ganancias solares.

Significa el acercamiento a un diseño total y esto demanda la interacción de muchos factores, incluyendo el aprovechamiento de las condiciones y características locales, el control térmico de la envolvente del edificio, las consideraciones de costo, el concepto cultural del confort térmico y visual y el estilo de vida de los ocupantes.

La aproximación deberá ser flexible y de buen diseño, deberá ser el resultado del balance entre lo térmico y el criterio del usuario y no de la imposición de un sistema altamente eficiente que solo tenga en cuenta parcialmente los deseos del mismo.

Por cierto que las viviendas solares pasivas estarán construídas con materiales de construcción organizados en un sistema tal que coleccionen, acumulen y distribuyan la calefacción solar a sus ocupantes.

Se tratará de materiales de gran capacidad calorífica, tales como ladrillo, hormigón, piedras o agua que absorben la energía solar y la acumulan en forma de calor.

La casa entera será ahora un sistema de energía solar, en la que muchos de sus componentes cumplirán dos funciones : la tradicional de proveer privacidad y la función solar de coleccionar, acumular y distribuir calor.

Los diseños pasivos requieren el cuidadoso estudio de cada detalle o componente del sistema.

El diseño de la planta de una vivienda, las circulaciones, la ubicación de ventanas y la selección de materiales de paredes y pisos deberán ser motivo de un cuidadoso estudio dentro de los sistemas pasivos.

Los espacios habitables de la casa estarán ubicados de modo que la acumulación de calor se pueda lograr sin el uso de bombas o sistemas de distribución de aire caliente forzado.

Las ventanas no solamente tienen la función de proveer vista y permitir la entrada de luz, sino que también coleccionarán calor. Las paredes no solamente dividirán o cerrarán espacios, sino que también almacenarán y radiarán calor. Otros componentes cuya función primaria será la estructural, espacial o estética tienen además la función de formar parte de un sistema solar. Esta introducción al diseño solar pasivo se aplica fundamentalmente a la calefacción y también a la refrigeración.

Hay que tener en cuenta que la refrigeración pasiva necesita mas desarrollo y verificación desde el punto de vista científico, aunque ya hemos visto que en la arquitectura tradicional se han obtenido soluciones eficientes (ver Módulo I).

La ecuación solar básica para un espacio calefaccionado en una vivienda es la siguiente :

$$\begin{array}{ccccccc} \text{GANANCIAS} & + & \text{GANANCIAS} & + & \text{NECESIDA} & = & \text{PERDI} & + & \text{VENTILACION} \\ \text{SOLARES} & & \text{INTERNAS} & & \text{DES DE CA} & & \text{DAS DE} & & \text{Y PERDIDAS} \\ & & \text{EVENTUALES} & & \text{LEFACCION} & & \text{LA EN-} & & \text{POR INFILTRA} \\ & & & & \text{AUXILIAR} & & \text{VOLVEN} & & \text{CIONES} \\ & & & & & & \text{TE} & & \end{array}$$

2.1.- Funcionamiento de un sistema pasivo para calefacción.

Consideraciones generales

El objetivo del empleo de los sistemas solares pasivos es maximizar las ganancias solares durante las estaciones frías (que requieren calefacción sin causar sobrecalentamiento en las estivales).

La maximización de la entrada de la radiación solar dependerá de varios factores. Entre otros los principales serán : las características del lugar, la geometría solar, la geometría de la superficie colectora; y también dependerá de las propiedades de transferencia de calor de los materiales empleados, fundamentalmente del vidrio.

Como ya hemos visto en el Módulo II el estudio del movimiento del sol a lo largo del año nos proveerá de algunos parámetros de diseño.

Para construir un edificio en un sitio determinado hay que tener en cuenta que los árboles u otros edificios no obstruyan el recorrido del sol en la mayor parte de la trayectoria del solsticio de invierno. (En las latitudes altas esto puede ser difícil de resolver).

Debido a que el sol del mediodía, en nuestro hemisferio se halla al norte la orientación de las aberturas de los sistemas colectores deberán estar orientados al norte tanto como sea posible si se desea obtener los mejores niveles de colección. Balcomb (*) ha demostrado con sus trabajos de experimentación que una variación de 30° desde el norte exacto redundará en una pérdida de beneficio de solamente el 3%. (Esto dependerá también del clima y microclima del lugar y de la latitud).

Si diseñamos grandes ventanas al Este y paredes externas al Oeste se podrá causar excesivo sobrecalentamiento de verano por la gran cantidad de colección de radiación solar a la mañana y a la tarde, si no se las estudia dentro del contexto de un "sistema" solar.

La inclinación de vidrios orientados al Norte causará sobrecalentamiento en verano y en invierno, y aumentará las pérdidas por exposición a la bóveda celeste a la cual radiarán por la noche.

La construcción de ventanas con vidrios verticales al Norte reducirán

(*) Douglas Balcomb, investigador de Los Alamos Scientific Laboratory, New México U.S.A.

estos problemas, en latitudes medias o altas. Resultarán mas cercanos a la perpendicular de la dirección del rayo solar en el mediodía del invierno y en el verano el ángulo de incidencia será grande con lo cual, la mayor parte de la radiación se reflejará.

Habrán peligros de sobrecalentamiento al finalizar la primavera cuando el edificio aún requiera calefacción pero cuando las temperaturas exteriores no sean tan severas y la energía solar sea abundante.-

Cuando esto ocurra se podrá solucionar por medio de ventilación - abundante. La época de verano es controlable en las latitudes medias; el sol está alto en el cielo permitiendo el uso de dispositivos de sombreado y la ventilación puede ayudar aumentando las pérdidas necesarias.

El sobrecalentamiento es posible de controlar o atenuar en los sistemas pasivos con el uso de masas térmicas de almacenamiento de calor.

Existen reglas simples que permiten calcular los diferentes tipos de masas acumuladoras y también distintos tipos de métodos analíticos que dan fe de esas reglas prácticas.

En cuanto a las propiedades de transferencia de calor de los materiales empleados analizaremos algunas particularidades del vidrio en primer lugar, pues es realmente el protagonista de los sistemas de colección de la energía solar.

Cuando hablamos de "Ganancia Solar" nos estamos refiriendo a la situación que se produce cuando exponemos una ventana a la luz del sol. La radiación penetrará a través del vidrio porque éste es transparente a la porción de radiación visible del espectro solar que llega como radiación electromagnética de una fuente emisora de alrededor de 5741° Kelvin de temperatura : el Sol.

Cuando esa radiación atraviesa el vidrio de un ventanal, el haz de luz, al incidir sobre el piso, muros, muebles o personas que se hallen - dentro del local, elevará la temperatura de los mismos pues la energía luminosa se transformó en térmica.

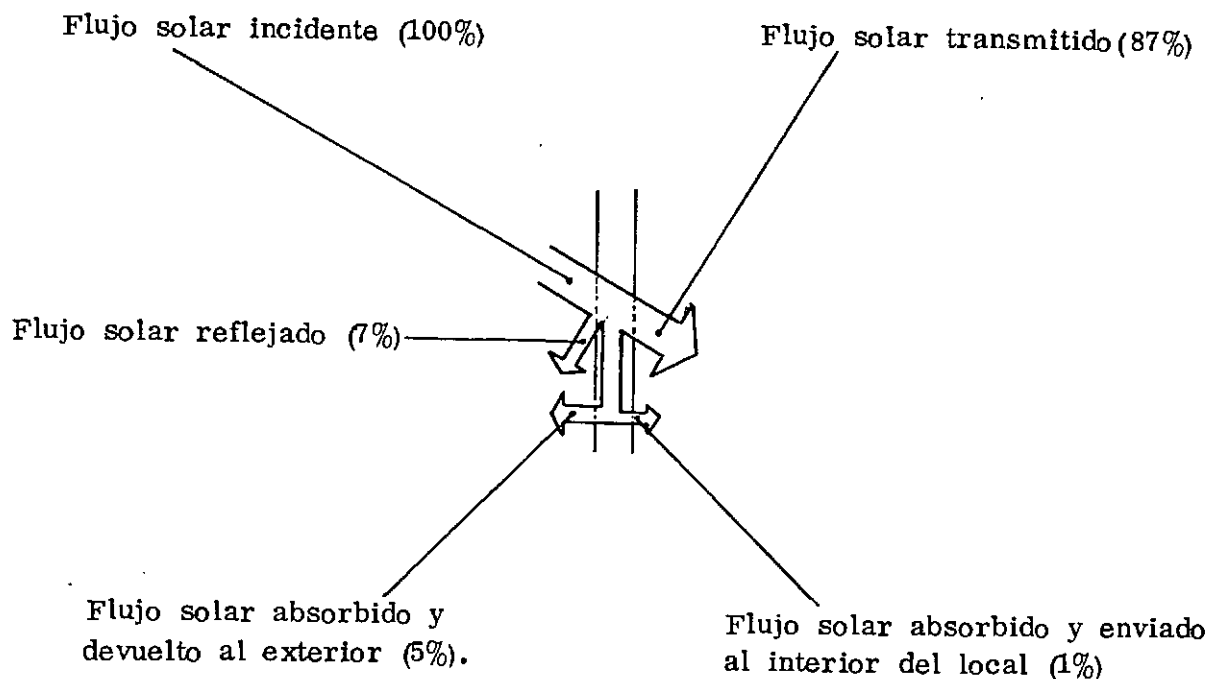
Esta elevación de temperatura no es uniforme en todo el volumen de los objetos asoleados sino que se propagará por conducción en su interior, a una velocidad que dependerá del material y de sus características físicas. Estos materiales y objetos que recibieron energía luminosa aumentarán pues su temperatura, con lo cual a su vez comenzarán a emitir radiación pero de diferente longitud de onda. Ahora será onda larga correspondiente al infrarojo lejano.

Para esas emisiones de longitud de onda larga el vidrio ya no es transparente. Se comporta igual que una pared opaca. Este es el llamado Efecto Invernadero y es precisamente esta particularidad del vidrio - (ser transparente a radiaciones de onda corta y opaco a radiaciones onda larga) lo que nos permite captar la energía solar para aprove-

charla en beneficio de la arquitectura y sus usuarios. (Fig. 1 - V y Módulo VII VIII).

Fig. 1-V

Descomposición del flujo solar al atravesar un vidrio común de 3 mm.



Una vez que un paño vidriado "atrapó" la energía solar debido al efecto invernadero necesitaremos que la energía sea recolectada y acumulada en "algo". Ese "algo" podrán ser los muros, el piso, recipientes de agua u otros elementos ad-hoc colocados para acumular.

La función de estos elementos será la de cargarse de energía con lo cual aumentarán su temperatura y en el momento deseado, cuando la temperatura externa sea menor o haya elementos más fríos dentro del ambiente, los acumuladores comenzarán a restituir el calor acumulado (básicamente por radiación, aunque también hay efectos convectivos).

En el fenómeno de la radiación, siempre hay intercambio de ondas electromagnéticas entre el cuerpo más caliente y el más frío (en di-

rección a este último).

Sintetizando, el muro, el piso, etc. se van a calentar en la medida que la radiación solar incida o que la temperatura del ambiente sea superior a su temperatura interna o superficial.

En el momento en que esta situación se invierta (si la temperatura superficial del muro, piso, etc. es mayor que la del aire o objetos próximos), los acumuladores comenzarán a reemitir. La tendencia general es a la nivelación de temperaturas. (Si dos cuerpos están a la misma temperatura no hay intercambio radiativo).

El proceso de acumulación y distribución de calor involucra varios pasos. La energía incidente es absorbida o reflejada por cualquier material opaco puesto al sol. El porcentaje de la radiación visible absorbida (luz solar) dependerá del color del material al cual llegue. Si éste es negro, aproximadamente el 90% de la energía será absorbida y almacenada en forma de calor.

Recordando el Módulo III podemos decir que el aumento de la temperatura superficial de un material usado como acumulador dependerá de la capacidad calorífica y de la conductividad térmica del material utilizado.

La capacidad calorífica es la cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura de aquel material en 1°C (Se obtiene multiplicando la masa del volumen por el calor específico del material considerado. Se expresa en W/m^3).

La capacidad calorífica determinará el aumento de temperatura en la superficie del material.

La conductividad térmica es otra de las formas de expresar la resistencia de aquel material para transferir el calor a través de ella.

La resistencia térmica del material será balanceada contra la resistencia térmica de la película del aire superficial sobre el material y el calor absorbido por la superficie. Este transitará dentro del material o dentro del aire en cantidades proporcionales a estas resistencias. De modo que es importante tener materiales acumuladores con baja resistencia térmica y alta capacidad calorífica a fin de inducir al calor a que permanezca dentro del acumulador y reducir el aumento de la temperatura superficial.

Si se logran ambas cosas y la temperatura superficial de los muros se halla próxima a la de confort el aire de la habitación permanecerá a una temperatura agradablemente constante y se evitará el sobrecalentamiento.-

Habiéndose acumulado la energía solar en los muros y/o pisos, hay dos formas de transferir ese calor; la convección y la radiación infrarroja (de onda larga).

De estas dos, la radiación debe ser analizada cuidadosamente : si la radiación emitida proviene de superficies con temperatura aproximadamente iguales a la del cuerpo humano, la persona que la recibe deberá disipar el doble del calor normalmente evacuado por convección y evaporación del que se disipa por el mecanismo natural. (ver Módulo I - punto 4).

La radiación no calentará el aire de la habitación por la baja capacidad calorífica de éste y solo puede ser convertida en calor cuando incida sobre una superficie absorbente (Puede ser una persona en el interior del ambiente).

Si incide sobre materiales de baja capacidad térmica, como muebles, por ejemplo, causará un gran aumento de la temperatura superficial de éstos, y rápidamente se calentará el aire de la habitación por convección. Por esta razón los diseñadores emplean masas térmicas como acumuladores secundarios para absorber y acumular radiación de onda larga y ya hemos visto que muchos materiales de construcción absorben una gran proporción de radiación de onda larga, en tanto - que otros, las superficies metálicas pulidas por ejemplo, la reflejan.

2.2. Partes componentes de todo sistema solar.

Todo sistema solar consta de cuatro partes :

- 1) Las destinadas a la COLECCION.
- 2) Las que se ocupan de la ACUMULACION.
- 3) Las que tendrán a su cargo la DISTRIBUCION de la energía acumulada.
- 4) Los sistemas de CONTROL.

En los sistemas pasivos que estamos analizando la colección se efectúa por ganancia directa fundamentalmente o por sistemas de colección - acumulación integrados.

La acumulación se materializa en pisos, paredes, masas de materiales colocados al efecto o masas de agua.

Para la distribución se confía en los fenómenos de radiación y convección directas (desde la envolvente y los objetos al aire y las personas).

Del control y regulación se ocupan (en las propuestas más usuales) los usuarios al abrir o cerrar ventanas, colocar protecciones favore-

cer o frenar corrientes de aire, etc. En propuestas más complejas el control puede estar a cargo de sensores y mecanismos vinculados a un microprocesador que hace de "cerebro" para el confort ambiental. Este uso de los microprocesadores, por mas utópico que parezca en estos momentos, tiene sin embargo un futuro desarrollo de gran importancia.

3.- Clasificación de las tipologías pasivas.

3.1. Ganancia directa.

Dentro de la tipología de Ganancia directa podremos referirnos a la no difundida y a la difundida :

a) Ganancia directa no difundida :

Es la tipología más simple dentro de los sistemas solares pasivos : la luz del Sol entra al espacio a acondicionar a través de un gran ventanal orientado al Norte. (fig. 2 - V).

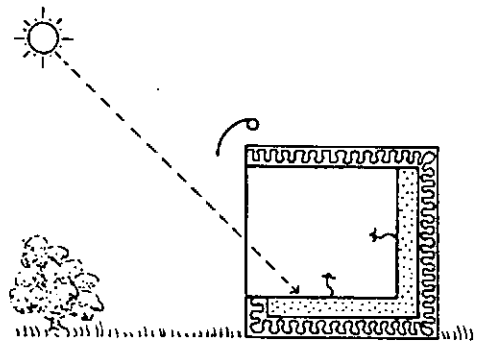


Fig. 2 - V - Ganancia directa no difundida.

La radiación "cae" directamente en el acumulador de calor principal, donde es absorbida, se acumula en forma de calor sensible y se descarga para calentar el lugar. Para actuar efectivamente como masa térmica principal, el área de la masa usada debe estar asoleada durante la mayor parte del día típico de invierno. Teniendo en cuenta esta limitación, el acumulador principal puede tener varias ubicaciones : en el suelo, en masas sólidas libres ubicadas dentro del cuarto, o en paredes internas o externas. Cuando este acumulador está constituido por una pared externa debe estar aislado exteriormente.

Muchas casas modernas tienen grandes ventanales orientados al Norte, pero es la carencia de acumuladores de calor lo que no les permite beneficiarse con las ganancias directas y la carencia de las aislaciones adecuadas la causa por la cual las ganancias solares no contribuyen significativamente a los requerimientos de la calefacción.

Las grandes áreas vidriadas que se requieren en los sistemas de ganancia directa pueden ser la causa de discomfort tanto por la pérdida de calor que producen como por el deslumbramiento al que puede dar origen.

Es necesario pues arreglar "protecciones" a las vidrieras, tanto para frenar la entrada de radiación cuando así se requiere como para evitar pérdidas indeseadas.

Recordemos que el vidrio es muy buen conductor de energía y que también puede sufrir pérdidas por convección.

Un vidrio simple tiene una pérdida aproximada a los 6 Watios / m^2 °C de diferencia de temperatura, o sea tres veces mas que una pared de ladrillos de 0.30 de espesor revocada de ambos lados. (Tal pared pierde 1,9 Watios/ m^2 °C).

Dado que el sistema consiste esencialmente en "vivir" en un colector puede haber conflictos de diseño entre el uso del espacio y la acumulación de energía. También los muebles que cubren las masas acumuladoras reducen su efectividad. Estas son algunas de los problemas que el diseñador debe conciliar.

b) Ganancia directa difundida.

El uso de vidrios difusores, persianas o reflejos provenientes de una superficie clara colocada detrás o por delante de un vidrio translúcido tendrá el efecto de difundir la radiación solar incidente a través de toda la habitación. (Fig. 3 - V).

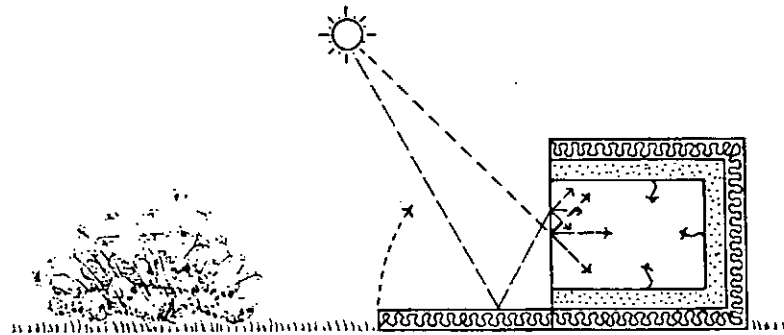


Fig. 3 - V - Ganancia directa difundida.

De este modo, el acumulador térmico principal puede ubicarse sin las limitaciones impuestas por los sistemas de ganancia directa no difundida. Esta uniforme distribución de la Energía Solar dará por resultado temperaturas de superficie más bajas de la masa térmica y entonces reducirá las fluctuaciones de la temperatura del aire dentro de la habitación.

La mayor parte de los otros problemas asociados con los sistemas de ganancia directa no difundida están aún presentes.

Los conflictos entre espacio usable y acumulador de energía se reducen ligeramente; pero ahora aparece un nuevo problema : el de las visuales restringidas a través de las ventanas.

3.2. Ganancia directa en lugares aislados o separados del espacio habitable :

Dentro de esta tipología ubicamos a los espacios solares (invernaderos) y al sistema de termosifón.

a) Espacios solares (invernaderos) :

Un invernadero está térmicamente separado del espacio habitable. La energía solar se colecta del mismo modo que en la tipología de ganancia directa no difundida : exponiendo a la radiación una superficie más grande de vidrio (o de plástico) que una ventana vertical. (Fig. 4 - V).

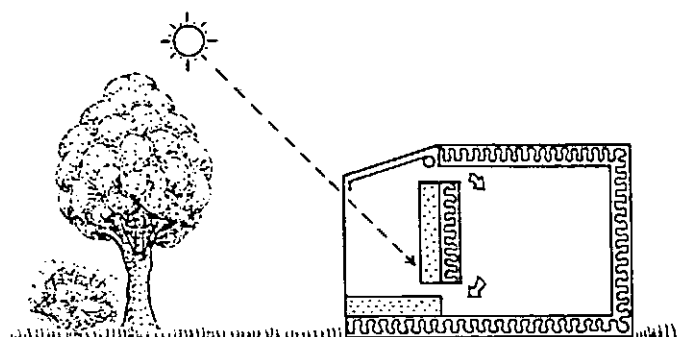


Fig. 4 - V - Espacios solares (Invernaderos).

Esta disposición permite coleccionar calor que podrá ser transferido al espacio habitado de varias maneras. Si el invernadero -

contiene poca masa térmica, la temperatura del aire subirá rápidamente y este aire puede ser circulado a través del espacio habitado instantáneamente. El invernadero puede incorporar acumulación térmica y entonces actuar como un muro Trombe extendido. En esta forma el calor acumulado puede ser distribuido al espacio habitado por medio de convección, conducción y radiación. Si es usado de este modo, el invernadero también da la posibilidad de usar aislación térmica efectiva para reducir las pérdidas nocturnas del muro Trombe. Las grandes ventajas del invernadero radican en la posibilidad que da de ampliar el espacio habitado según las estaciones y en que potencialmente puede usarse para producir alimentos (huerta).

Si el invernadero no se protege exteriormente en las noches de invierno, perderá más calor que el que gana durante el día. - Será importante pues proveer esta protección o aislarlo de los locales habitables de la casa para que los requerimientos de calefacción de la casa en sí misma no aumenten.

También habrá que dotarlo de dispositivos que le brinden sombreado en verano para evitar los sobrecalentamientos, lo mismo que habrá que estudiar cuidadosamente las posibilidades de ventilación.

b) Termosifón.

Un sistema pasivo con termosifón normalmente emplea paneles colectores que están aislados del espacio habitado. En este sistema el medio de transferencia de calor (aire o líquido) es calentado en el panel colector y se eleva hacia el acumulador térmico principal por termosifón. Habiendo cedido su energía al acumulador, el fluido enfriado desciende hacia la parte inferior del colector y entonces continua circulando mientras haya radiación. (Fig. 5-V).

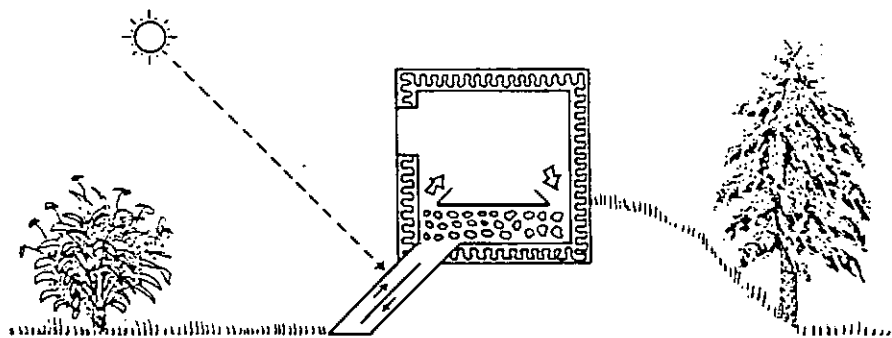


Fig- 5-V - Termosifón.

Aparte de su posición vertical relacionada con la ubicación y altura del acumulador de calor, el colector esta ubicado en forma independiente del espacio habitado y cada parte puede ser ubicado en su más adecuada posición en el terreno. El acumulador de calor puede estar en cualquiera de las posiciones usadas por -- otros sistemas, con los mismos métodos de transferencia de calor al espacio habitado. Alternativamente, el lecho de piedras o acumuladores de agua debajo del espacio habitado pueden ceder su energía por radiación y convección.

3.3. Ganancia indirecta.

Dentro de la tipología de Ganancia Indirecta vamos a referirnos al Muro Trombe macizo y al Muro de agua.

a) Muro Trombe macizo :

En Francia, el físico Felix Trombe y el arquitecto Jacques Michel desarrollaron un sistema que consiste en una pared maciza, pintada de color oscuro del lado exterior, ubicada directamente detrás de un vidrio orientado al Norte. Este muro absorberá durante varias horas la radiación solar y tardará otras varias horas en transmitir el calor acumulado a la habitación que se halla detrás de él. Este efecto es utilizado para calefaccionar locales en horas de la noche. (Fig. 6 - V).

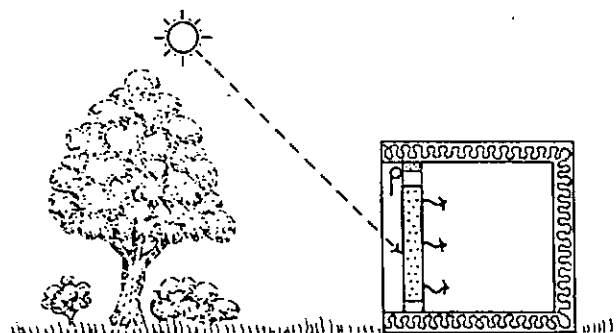


Fig. 6 - V - Muro Trombe macizo.

El tiempo de desfasaje depende de la conductividad del material del muro y variará además con su espesor y forma de construcción.

En horas del día la calefacción será provista abriendo los agujeros que tiene arriba y abajo esta pared. El aire calentado entre el vidrio y el muro se elevará arrastrando el aire frío de la habitación a través del registro inferior. Se establecerá así la circulación de aire caliente en la habitación.

El sistema del muro Trombe tiene su mayor desventaja en su falta de flexibilidad. A menudo hay necesidades de orden práctico, tales como visuales y accesos que son difíciles de resolver usando este sistema.

En términos de termodinámica es menos eficiente que el sistema de la ganancia directa porque la acumulación de energía solar se pierde en gran medida por hallarse el muro muy próximo al vidrio y éste en estrecho contacto con las temperaturas del aire exterior y expuesta a la radiación a la bóveda celeste nocturna. Para controlar tanto las pérdidas como el sobrecalentamiento pueden colocarse paneles aislantes sobre la cara exterior del muro colector-acumulador.-

b) Muro de agua :

El muro de agua es similar en cuanto a principios operativos al muro Trombe macizo. La acumulación térmica se realiza en agua, que tiene una mayor capacidad calorífica por volumen que el ladrillo u hormigón. El agua es casi un acumulador de calor isotérmico : corrientes convectivas distribuyen la energía absorbida rápidamente a través del acumulador, eliminando el tiempo de desfase del sistema Trombe macizo. Esto asegura una menor temperatura de la superficie del acumulador y así reduce las pérdidas de calor a través de la vidriera expuesta a la radiación y el riesgo de sobrecalentamiento en la habitación, pero a costa de no gozar de la ventaja del desfase y de tener fluctuaciones interiores de temperatura mucho mayores que en el caso del muro Trombe y en fase con la radiación, lo que disminuye aún más su eficacia relativa. (Fig. 7 - V).

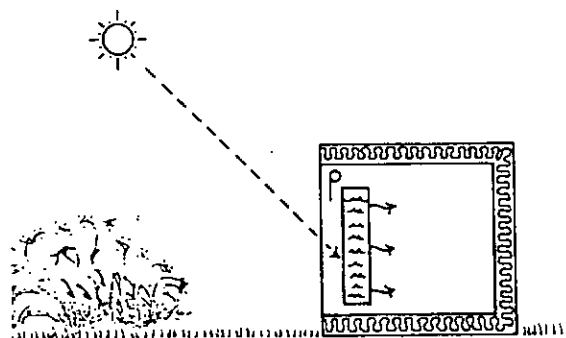


Fig. 7 - V - Muro de agua.

El agua es una forma barata y efectiva de acumular calor.- Sin embargo además de los problemas señalados, hay problemas de estancamiento del acumulador y de control de humedad.

El sobrecalentamiento de verano y las pérdidas nocturnas durante el invierno pueden también controlarse maniobrando paneles aislantes exteriores.

Según el diseño que tengan estos paneles también podrán servir si son reflectantes para aumentar las ganancias.

3.4. Sistemas combinados de calefacción y refrigeración.

Se trata de las tipologías de viviendas que cuentan con techos colectores-acumuladores y de las viviendas enterradas.

a) Viviendas con techos colectores-acumuladores :

En bajas latitudes la altura solar en invierno es suficientemente alta como para que resulten casi inútiles las superficies de colección verticales. En tales localizaciones geográficas un colector horizontal será más beneficioso. La masa térmica está materializada por agua contenida en bolsas de P.V.C. transparentes. Estas son soportadas por una estructura metálica que también oficia de cielorraso hacia el ambiente inferior. El agua contenida en las bolsas estará protegida por aislaciones móviles que se abren en los días de invierno para permitir coleccionar la radiación solar. A la noche la aislación se cierra y la energía solar acumulada en el agua es radiada desde el cielorraso hacia el espacio inferior. En estos ambientes puede haber masas térmicas secundarias (paredes, pisos, etc.). (Fig. 8 - V).

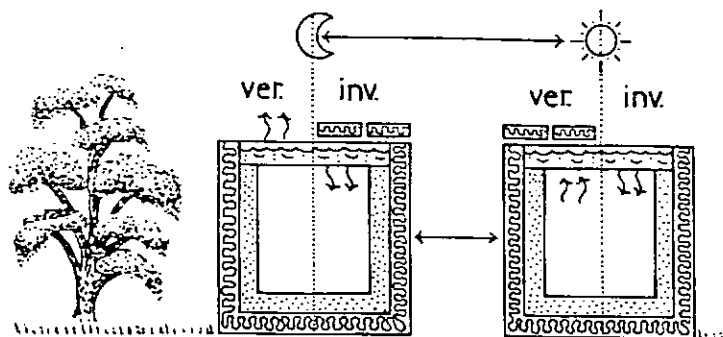


Fig. 8 - V - Viviendas con techos colectores-acumuladores.

La distribución del calor se hará fundamentalmente por radiación desde los acumuladores principal y secundario, haciéndose mínimas las corrientes convectivas en el aire de la habitación. El "roof pond" (como se llama este sistema) es uno de los pocos sistemas pasivos que puede proveer calefacción y enfriamiento, el enfriamiento es efectuado en verano, abriendo las aislaciones móviles de noche para permitir la radiación a la bóveda celeste. La aislación está cerrada durante el día para reducir las ganancias solares y para permitir al agua enfriada actuar como un moderador de calor para el espacio habitado inferior. Este enfriamiento radiante es particularmente adecuado donde haya grandes amplitudes térmicas diarias. En los climas secos, en las noches claras el proceso puede reducir la temperatura de la masa considerablemente por debajo de la temperatura del aire nocturno. (Ver Ejemplo Síntesis al final del Módulo).

b) Viviendas enterradas.

La temperatura del suelo permanece casi estable a través del año. Esta varía con la latitud y la profundidad por debajo de la superficie del suelo, y es aproximadamente igual a la media anual a una profundidad de 1,50 a 2,00 m. Enterrar un edificio entonces, reducirá las pérdidas o ganancias de calor en climas con temperaturas severas de verano o de invierno. Esto efectivamente mejora el entorno exterior.

El edificio enterrado no es adecuado para aprovechar las condiciones exteriores benéficas o para proveer la ventilación requerida para el confort en climas húmedos. (Fig. 9 - V). (Ver Módulo IV).

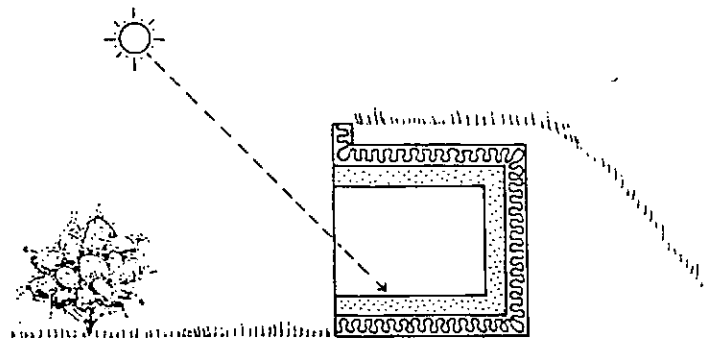


Fig. 9 - V - Viviendas enterradas.

3.5. Sistemas de refrigeración o climatización.

Estudiaremos tres tipologías : a) la del enfriamiento evaporativo, b) la del enfriamiento por deshumidificación y c) la de la ventilación inducida.

a) Enfriamiento evaporativo :

Cuando el agua se evapora absorbe energía sin un cambio de temperatura. Esta energía requerida para el cambio de fase es térmicamente "calor latente". En climas cálidos secos un espejo de agua será capaz de reducir la temperatura del aire por evaporación absorbiendo la energía del aire. Este proceso aumenta la sensación de confort térmico porque no solo reduce la temperatura del aire sino también aumenta la humedad relativa del aire. (Fig. 10 - V).

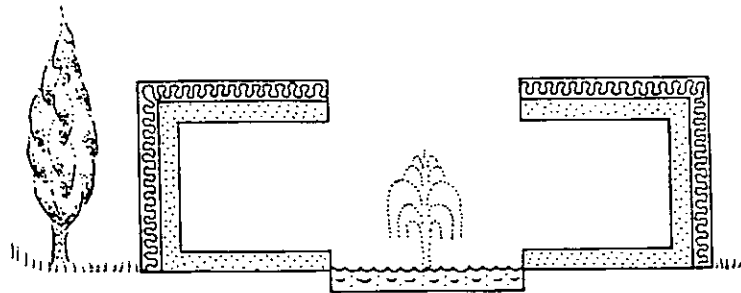


Fig. 10 - V - Enfriamiento evaporativo.

Aumentando la relación de superficie sobre volumen de agua se mejorará la eficiencia del sistema. Esto puede ser logrado por ejemplo con una fuente. Ejemplo de esta situación es lo ya visto en el Módulo I - 2.

b) Enfriamiento por deshumidificación.

El cuerpo humano pierde calor por evaporación a través del sudor (ver Módulo I - 4). En climas cálido-húmedos el sudor no se puede evaporar y la sensación de calor se hace intolerable. Esta situación mejora si el aire está deshumidificado.

Los deshumectantes son materiales porosos con una gran afinidad con el agua. Si al aire húmedo se lo hace pasar por una cámara

que contenga material deshumidificador, el vapor de agua es absorbido y el aire se seca. Un diagrama psicrométrico muestra las condiciones térmicas y el contenido de humedad del aire y con este diagrama se puede ver que este proceso de absorción de vapor de agua libera energía y calienta el aire. Será necesaria pues una masa absorbidora de esta energía que actuará como moderadora para asegurar el confort térmico. Cuando el lecho desecante está saturado, aire caliente y seco se hace pasar a través del lecho para secar el agua y así regenerar el lecho. (Fig. 11 - V).

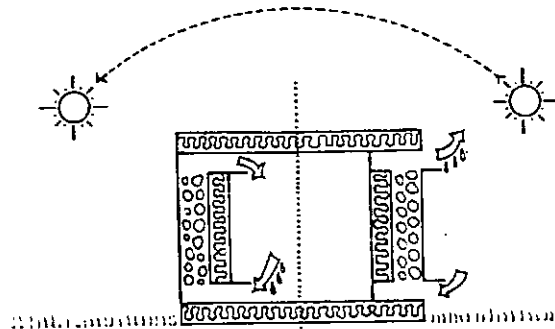


Fig. 11 - V - Enfriamiento por deshumidificación.

Algunos autores han sugerido que este proceso de enfriamiento de dos etapas podría ser puesto en marcha y controlado por el sol. Si el material absorbente fuera ubicado en las paredes Este y Oeste de un edificio, el sol de la mañana podría calentar la pared. Este regenerando el material que hubiera absorbido humedad en la tarde anterior. Al mismo tiempo la pared Oeste podría deshumidificar el aire entrante. En la tarde el proceso podría revertirse, mientras el sol se mueve hacia el Oeste.- Se piensa que este tipo de proceso puede operar como un sistema híbrido, usando alguna asistencia mecánica.

c) Ventilación inducida (chimenea solar).

Cuando se favorece la salida del aire de un local calentado por el sol, utilizando algún orificio ubicado en un nivel elevado y al mismo tiempo se permite la entrada de aire frío por un orificio ubicado en un nivel bajo, se produce una "chimenea solar". Esto provee ventilación continua "motorizada" por el sol. (Fig. 12-V).-

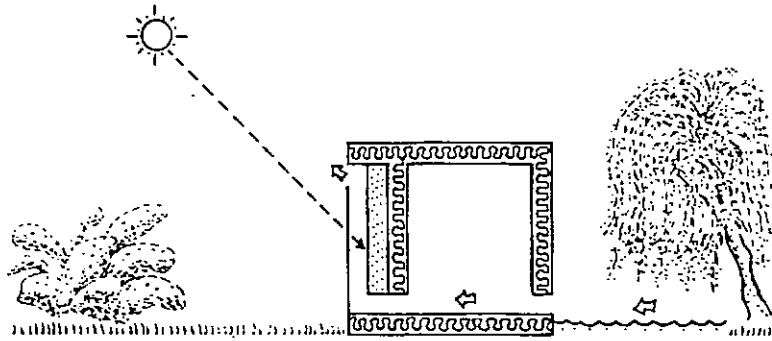


Fig. 12 - V - Ventilación inducida (chimenea solar).

El aire introducido deberá ser de la fuente más fría disponible, como por ejemplo el que circula sobre una poza sombreada o a través de un conducto enterrado.

Este sistema puede ser usado en conjunción con un sistema de calefacción, como el muro Trombe o con un colector separado. Es importante que el colector esté aislado del espacio habitado, de otra manera se volvería una fuente de calor radiante hacia el espacio habitado y anularía el objetivo de enfriamiento.

Ejemplo síntesis :

Vivienda en Atascadero - California - EE.UU. 35° 27'N.

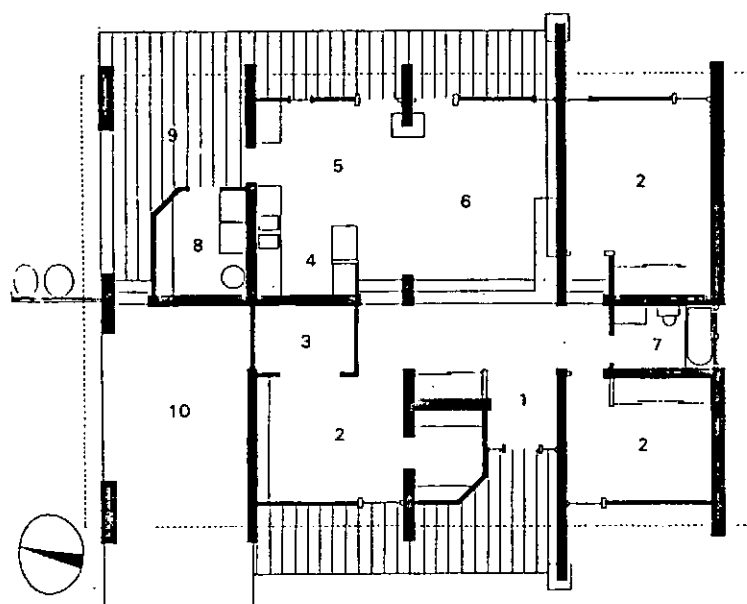
Construcción 1972.

Temperatura mínima promedio de invierno = 0°C

Temperatura máxima promedio de verano = 32°C

Es una vivienda unifamiliar desarrollada en un solo nivel. Tiene una superficie habitable aproximadamente igual a 100 m² sin incluir patio ni garaje.

El sistema fue diseñado por Harold Hay con proyecto arquitectónico de Ken Howard. Fue construida con bloques huecos. Los muros exteriores fueron rellenados con vermiculita y los tabiques interiores con arena.



PLANTA

REFERENCIAS

- 1 - Entrada
- 2 - Dormitorio
- 3 - Escritorio
- 4 - Cocina
- 5 - Comedor
- 6 - Living
- 7 - Baño
- 8 - Depósito
- 9 - Patio
- 10 - Garaje

Esta casa obtiene calefacción y refrigeración solar pasiva por el uso del sistema denominado "roof pond" (pileta de techo). La estructura del techo está constituida por un cielorraso metálico plano que soporta cuatro bolsas de P.V.C. resistente a la radiación ultravioleta, de 11 metros de largo y 0,25 de espesor. La cara superior de la bolsa es transparente (la cubierta superior es doble, formando cámara de aire) y la cara inferior negra.

El agua contenida en estas bolsas actúa como colector solar, acumulador térmico y disipador de calor. (El agua pesa 27 Tons o sea 250 K σ /m²).

Para proveer calefacción al interior, el calor del agua acumulado durante el día

invierno, se transmite por radiación a través del cielorraso metálico hacia los ambientes ubicados abajo.

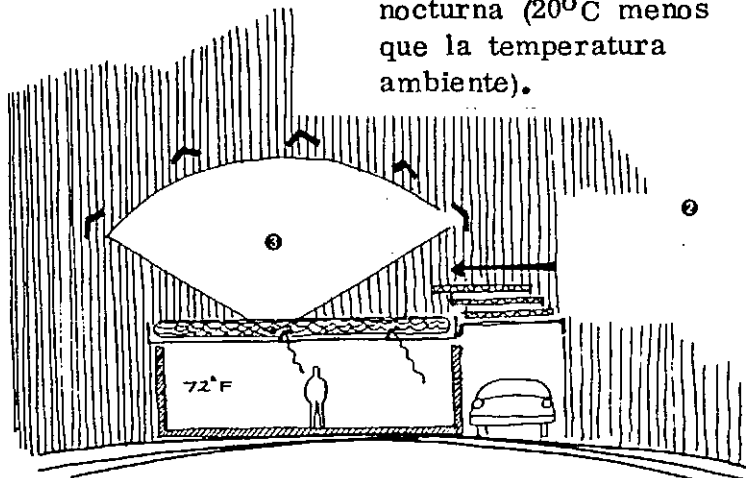
Para refrigerar, el calor de las habitaciones es absorbido por el agua durante el día y radiado a la bóveda celeste en horas de la noche.

Existen tres paneles aislantes móviles de poliuretano que se deslizan sobre carriles de aluminio (colocados a intervalos de 2.5 m.) por medio de motores (de control automático) y cuando el "roof pond" no está cubierto quedan apilados sobre el garaje y el patio de la casa (de día en invierno y de noche en verano).

Esquema conceptual del Sistema Solar

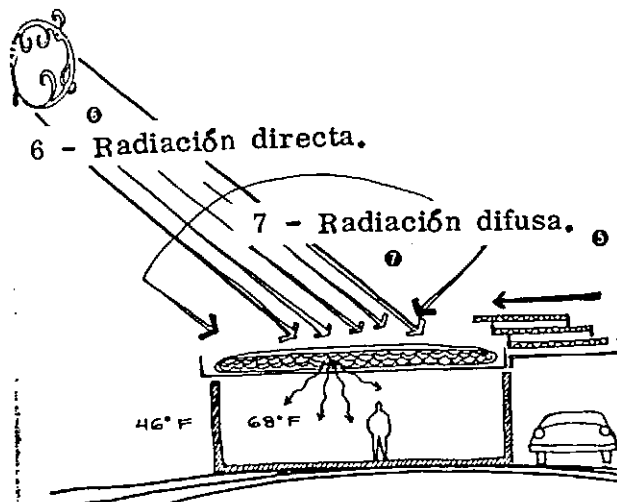
- Enfriamiento - Noche de verano.

- 3 - Radiación y convección a la bóveda celeste nocturna (20°C menos que la temperatura ambiente).



- 2 - Paneles aislantes cerrados durante el día para aislar las bolsas de la radiación solar.

- Calefacción - Día de Invierno.



- 6 - Radiación directa.

- 7 - Radiación difusa.

- 5 - Paredes aislantes cerrados durante la noche para aislar a las bolsas de la posibilidad de radiar a la bóveda celeste nocturna.

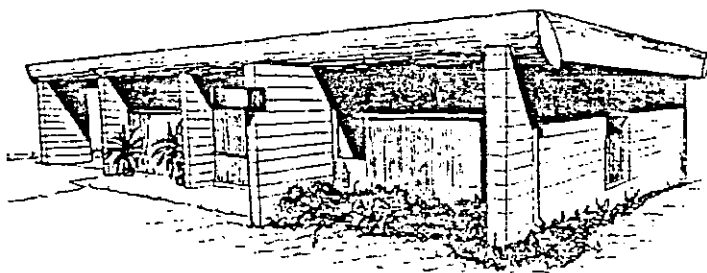
La capa de aire entre las dos cubiertas transparentes de las bolsas evita las pérdidas de calor al exterior, por efecto invernadero (en invierno).

En verano la cámara de aire se desinfla para favorecer la evacuación del calor.- El cielorraso metálico facilita la transferencia térmica eficiente desde y hacia el roof-pond.

Las paredes de bloques de hormigón rellenos de arena proveen acumulación interior y superficie de radiación secundaria.

Las grandes superficies de radiación (cielorraso y tabiques) proveen niveles de confort natural debido a lo regular de la temperatura interior obtenida con mínima estratificación (21°C casi uniforme durante todo el año) y porcentajes de humedad óptimos.

Los sobre-costos son aceptables porque la mayor parte de los componentes del sistema solar cumplen varias funciones simultáneamente : el "roof pond" actúa como aislación térmica e hidrófuga a la vez que es colector, acumulador y dissipador; los tabiques son elementos definitorios del espacio, soportes de la cubierta y acumuladores secundarios.



Consideraciones Generales :

Esta tipología solar es particularmente apropiada en climas cálidos - secos donde conseguir enfriamiento es el principal beneficio cuando las temperaturas nocturnas son bajas y el cielo está generalmente despejado.

En climas cálidos -húmedos o templados-húmedos la alta presión de vapor, la nubosidad y la poca amplitud térmica día-noche limita la eficiencia del "roof pond" para enfriamientos.

La mayor ventaja del "roof pond" para latitudes bajas es que no exige orientaciones definidas (en tanto no haya obstáculos entre el recorrido del sol y las bolsas de agua).

En climas fríos de latitudes medias se puede utilizar este sistema cubriendo las bolsas con una estructura de techo transparente orientada para recibir radiación solar. El calor se colectará en el espacio invernadero y se acumulará en las bolsas de agua. (con menor eficiencia de conjunto).

Los paños vidriados o de plástico de esta estructura podrán quitarse en verano para aumentar el enfriamiento.

Una alternativa para eliminar las bolsas sería construir una pileta de techo con un tanque acumulador situado debajo o dentro del espacio habitación. Este sistema evita la necesidad de paneles aislantes móviles.

Durante el ciclo de calefacción la circulación tendrá lugar durante el día y el agua calentada por el sol se acumulará o distribuirá según las necesidades de la vivienda.

Para evitar el enfriamiento por evaporación la pileta deberá ser cubierta por una superficie transparente (si es un plástico podrá flotar sobre su superficie).

Durante el ciclo de enfriamiento, la circulación de agua tendrá lugar solo a la noche. El agua enfriada se acumulará donde pueda absorber el calor de las habitaciones durante el día.

La cubierta transparente no es necesaria para la operación de enfriamiento dado que éste se produce por radiación a la bóveda celeste durante la noche, por convección y evaporación.

MODULO VI

1.- La Radiación Solar

1.1.- La Radiación y la atmósfera terrestre.

De toda la radiación solar interceptada por la tierra, aproximadamente el 35% es nuevamente reflejada hacia el espacio.

La reflexión de energía desde un objeto es denominada el "albedo" del objeto. El albedo de la Tierra, tomado en conjunto suelo y atmósfera, es del 35 al 50%.

Gran cantidad de esta energía es reflejada por las nubes y el polvo atmosférico, pero también otras superficies, como el agua, la nieve y la arena, producen reflexión.

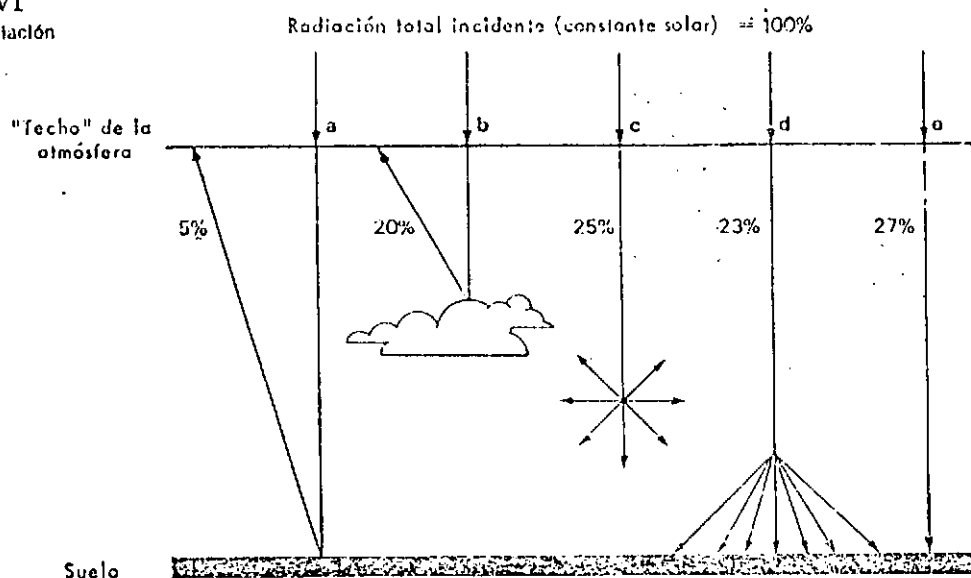
Parte de la radiación solar remanente, luego de su pasaje a través de la atmósfera terrestre, es dispersada en todas direcciones como resultado de su interacción con las moléculas del aire y las partículas de polvo.

Como consecuencia de este fenómeno, parte de esta radiación dispersada, o "difusa", llega hasta la tierra desde todos los puntos de la bóveda celeste. La radiación difusa, que pertenece primariamente a la zona azul del espectro visible, es la causante del color azul del cielo despejado.

Mientras que las nubes y el polvo difunden y reflejan aproximadamente 1/3 de la energía que reciben, el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono de la atmósfera absorben otro 10 a 15%.

Fig. 1 - VI

Paso de la radiación
a través de la
atmósfera



	%
a = reflejada del suelo	5
b = reflejada de las nubes	20
c = absorbida en atmósfera	25
d = difusa, sobre el suelo	23
e = directa sobre el suelo	27
<hr/>	
Total sobre el suelo	50

En la parte superior de la atmósfera, el ozono suprime virtualmente toda la radiación ultravioleta de alta frecuencia que alcanza la superficie terrestre. Esto es esencial, ya que esta radiación puede quemar la piel y dañar la vista y aún ser letal en dosis moderadas.

El vapor de agua y el dióxido de carbono, absorben parte de la radiación perteneciente a la banda infrarroja.

Además de la composición de la atmósfera, el otro factor más importante para determinar la cantidad de radiación solar que alcanza a la superficie terrestre es el espesor de atmósfera que dicha radiación debe atravesar.

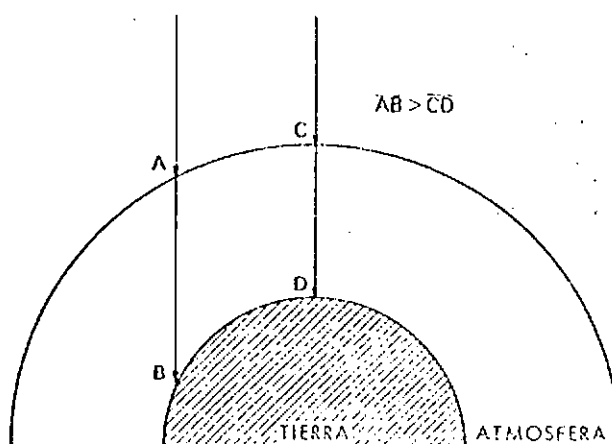
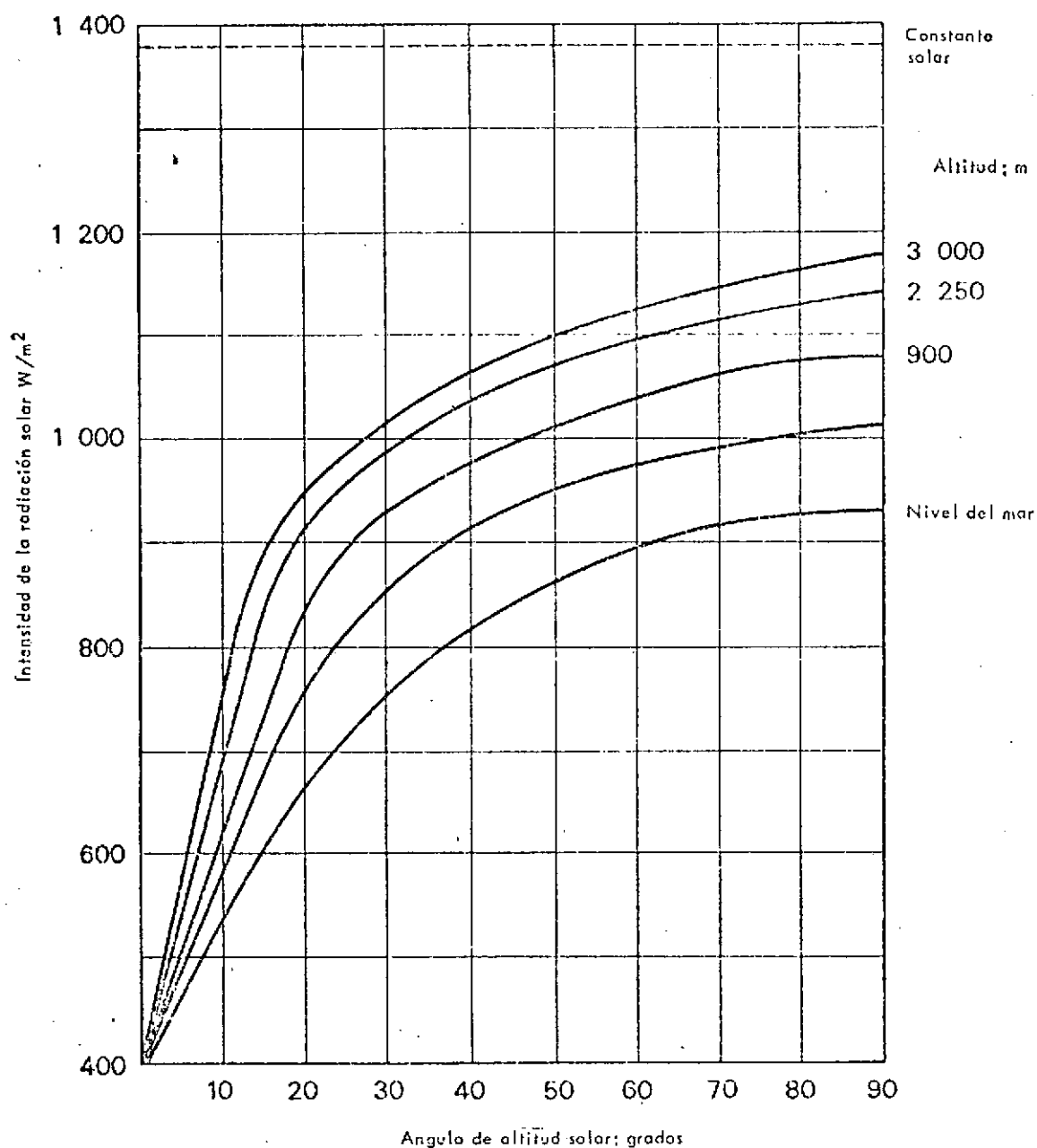


Fig. 2-VI : La masa de aire determina la intensidad de la luz solar directa.

Durante el día, cuando el sol está directamente sobre nuestras cabezas, la radiación viaja a través del menor espesor atmosférico en su ruta hacia la superficie terrestre.

Cuanto mayor es el espesor de atmósfera, o masa de aire a través de

Fig. 3 - VI
 Variación de la
 intensidad solar
 directa con la altura



la cual debe pasar la radiación, menor será su contenido de energía, debido a la creciente absorción y difusión de la radiación. En la madrugada, la cantidad de radiación contenida en el destello solar es lo suficientemente baja como para permitirnos dirigir la vista directamente hacia el sol.

A medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, el espesor de atmósfera que la radiación solar debe atravesar es menor. Como consecuencia, la energía contenida por la radiación solar a gran altura es algo mayor.

Debido a la inclinación y rotación de la tierra, el espesor de la atmósfera, a través de la cual se recibe la radiación, varía con la hora del día, mes y año.

1.2. Intensidad de la radiación solar en una superficie.

El ángulo que forman los rayos solares con una superficie determina cuánta energía recibirá esa superficie.

Dado que la radiación solar llega a la tierra en forma de rayos esencialmente paralelos, aquella superficie que sea perpendicular a dichos rayos, interceptará la mayor cantidad de energía.

Quizás la mejor manera de imaginar esto es pensar en los rayos paralelos del sol como un manojo de lápices, sostenidos con sus puntas tocando la superficie de una mesa. Las marcas que dejan estas puntas en la superficie representan unidades de energía.

Cuando los lápices se sostienen perpendiculares a la superficie de la mesa, las marcas son sumamente compactas; la densidad de energía por centímetro cuadrado es máxima. A medida que inclinamos los lápices hasta llegar a colocarlos paralelos a la mesa, las marcas comienzan a cubrir un área cada vez mayor; la densidad de energía por centímetro cuadrado disminuye.

Aún así, una superficie inclinada 25° de la perpendicular al sol, interceptará un 20% de la radiación directa.

El ángulo que forman los rayos del sol con una línea perpendicular a la superficie (también llamado ángulo de incidencia) determinará el porcentaje de radiación solar directa interceptada por la superficie.

La cantidad total de energía interceptada por una superficie, se compone, además de la radiación directa, por la radiación difusa y la reflejada.

La cantidad total de energía radiante interceptada por una superficie, es mayor que la que proviene solamente de los rayos directos. La radiación difusa, o energía dispersada por la atmósfera y re-dirigida hacia la superficie terrestre, puede ser mayor del 50% del total recibido cuando el sol está bajo, y el 100% en un día completamente nublado.

Sin embargo, en los días claros, la radiación difusa comprende solamente una pequeña fracción del total. La intensidad de la radiación que alcanza a una superficie es parcialmente reflejada y si se trata de una superficie reflejante la mayor parte de la radiación será re-

emitida. Para la absorción de la energía solar tiene importancia la textura de la superficie del material y del ángulo de incidencia de los rayos solares. A mayor ángulo de incidencia, mayor cantidad de radiación será reflejada.

La energía contenida por la radiación solar es fijada por el rendimiento energético del sol y su potencia es relativamente baja por unidad de superficie. Para acopiar una cierta cantidad de energía solar, se necesita un área generalmente grande. Esto se aplica a todos los sistemas de calefacción solar, desde el vidrio orientado hacia el Norte en una vivienda, hasta los colectores que enfocan la energía solar.

2.- Estimación de la radiación solar sobre diferentes planos.

2.1. Introducción.

El cálculo de la radiación solar incidente sobre distintos planos es de fundamental importancia para estimar la fracción de la carga térmica de la vivienda que puede ser satisfecha por esta. Es también necesario conocer como influyen las características ópticas - del cerramiento transparente (1 ó 2 vidrios) sobre la radiación incidente con el objeto de conocer la energía efectiva que ingresa a la vivienda.

Entre las varias metodologías de cálculo posibles, hemos elegido una factible de implementar mediante gráficos y tablas, que es aplicable en todo el país (salvo en condiciones microclimáticas) y cuyos resultados finales son compatibles con las precisiones que se requieren en el método de estimación de la fracción solar (fracción de la energía requerida por la vivienda que puede ser satisfecha por el sistema de captación solar) que se utilizará a posteriori.

La metodología a utilizar puede dividirse en dos partes. En la primera, se determina la radiación media mensual sobre superficie horizontal a partir de los Mapas de radiación solar para la República Argentina confeccionados por Crivelli et al (20). Es la segunda parte y mediante el uso de las correlaciones desarrolladas por Balcomb et al (21) se halla la radiación incidente en distintos planos de interés (las orientaciones Sur no se consideran ya que no tienen interés para el aprovechamiento de la Energía Solar).

A continuación se considera el efecto de la absorción de las láminas de vidrio. El resultado final de la aplicación de esta metodología es el valor de la radiación solar media mensual entrante de la vivienda por metro cuadrado de cerramiento transparente. Todos los cálculos se realizan sobre base mensual. Para obtener el valor anualizado, solo resta sumarlos a lo largo de todo el período frío.

Esta metodología supone que la superficie expuesta no recibe sombras significativas durante el día en las horas de mayor potencial de radiación solar.- Se ha supuesto para la construcción de estas correlaciones un albedo (reflectividad del suelo) de 0,3.

2.2. Descripción de la metodología.

Con el objeto de fijar ideas, esta descripción se realizará en paralelo con un ejemplo concreto de cálculo, en el que intentaremos

cuantificar la energía entrante a través de una superficie con simple vidrio inclinada a 90° y con un azimuth tal que su apartamiento del Norte es de 30° , ubicada en la ciudad de Santiago del Estero.

El primer paso consiste en hallar la radiación incidente en superficie horizontal mes a mes de las figuras I - VI a 15 - VI, el resultado para nuestro ejemplo particular puede verse en la fila 1 de la Tabla XIII-VI.- Multiplicando este valor por el factor de conversión que figura al pie de cada figura se obtiene el valor de la radiación media mensual en unidades más convenientes ($\text{MJ}/\text{m}^2.\text{dia}$) tal como puede verse en la fila 2 de la misma tabla. Con esto se completa la primera parte del cálculo a que se hace referencia en la introducción de este módulo.

A continuación se halla la radiación media mensual al tope de la Atmósfera, que conociendo la latitud de la localidad puede obtenerse mes a mes de la Tabla I - VI. Este valor se ha volcado en la fila 3 de la Tabla - XIII - VI .

Para obtener el índice de transparencia de la atmósfera K_t que es el cociente entre la Radiación media mensual en plano horizontal (fila 2) y la radiación media mensual al tope de la atmósfera (fila 3). Este cociente caracteriza al lugar desde el punto de vista radiativo y cuanto más alto es su valor, mejor resulta el roce radiativo. El valor máximo que puede tomar este cociente (ningún día nublado) es $0,70 - 0,75$. En nuestro caso el valor resultante puede verse en la fila 4.

Para poder implementar el método debe hallarse lo que llamaremos factor y, que está relacionado con la posición angular media mensual del sol al mediodía. Este factor se halla en función de la latitud y el mes en la tabla II - VI. Para nuestro caso el valor mensual de y se ha volcado en la fila 5 de la tabla XIII - VI.

Con los valores mensuales de K_t e y se entra ahora a la tabla correspondiente (caracterizada por la inclinación y el azimuth de la superficie en cuestión) y se hallan entonces los valores del factor de conversión : superficie horizontal / superficie inclinada, que es el factor por el cual debe multiplicarse la radiación sobre la superficie horizontal (fila 1) para obtener el valor de la radiación incidente sobre la superficie orientada.- En nuestro caso se utiliza para esta conversión la tabla V - VI y los resultados pueden apreciarse en la fila 6 de la tabla XIII - VI. En caso de no coincidir los valores de y o K_t con los indicados en la tabla, debe procederse a hallar el valor del factor de conversión por interpolación lineal de los valores existentes.-

Una vez hallado el factor de conversión a superficie inclinada debe hallarse el factor de transmisión de la superficie vidriada que da cuenta

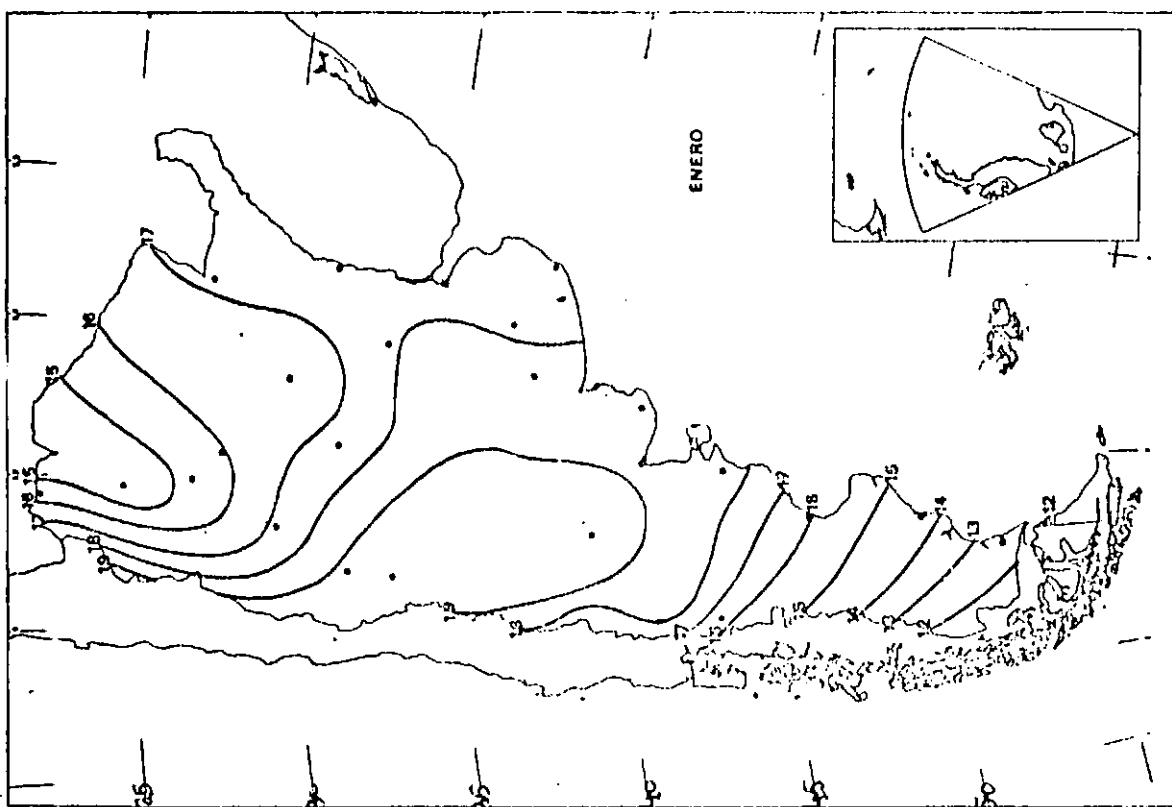
de la existencia de éstas. Este factor se halla de una manera análoga a la que se obtiene el factor de conversión horizontal/inclinada, pero haciendo uso de las tablas de correlación construidas al efecto. En nuestro ejemplo debe hacerse uso de la tabla VII - VI. Los resultados pueden apreciarse en la fila 7 de la tabla XIII - VI.

Para hallar el valor de la radiación media mensual entrante por esta superficie, se multiplican los valores de la radiación media mensual en plano horizontal (fila 2 de la tabla XIII - VI) por los valores del factor de conversión a superficie inclinada (fila 6 de la misma tabla) y por el factor de transmisión (fila 7). El resultado puede verse en nuestro ejemplo en la fila 8, lo que completa el cálculo.

Para el caso de superficies verticales con orientación Norte este cálculo puede abreviarse mediante el uso de un solo factor que engloba al de conversión y transmisión y que puede encontrarse en la tabla VI - VI.

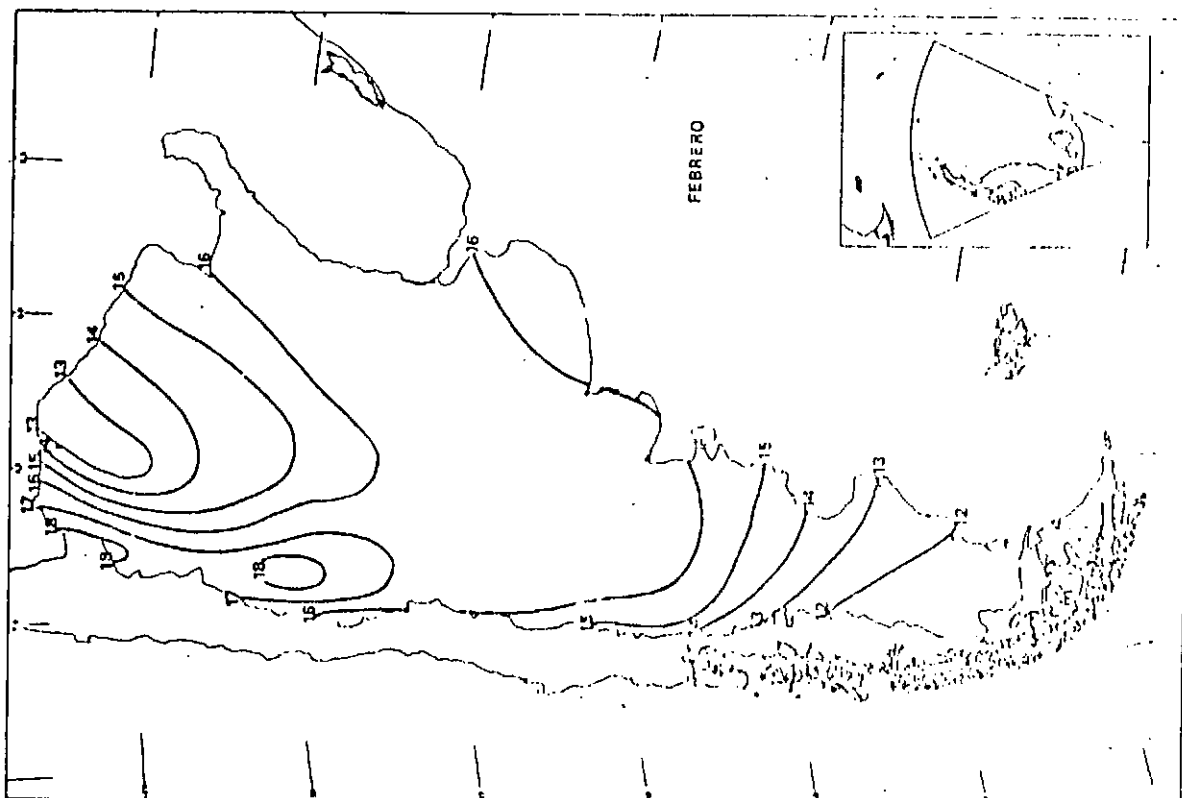
El error estimado de esta metodología, no supera el 15% para valores mensuales y probablemente el 10% para valores anuales, lo que es a nuestro juicio totalmente aceptable y compatible con los objetivos posteriores de este cálculo.

Fig. 4 - VI : Isolfneas de igual Radiación Global
(K cal/cm² mes).



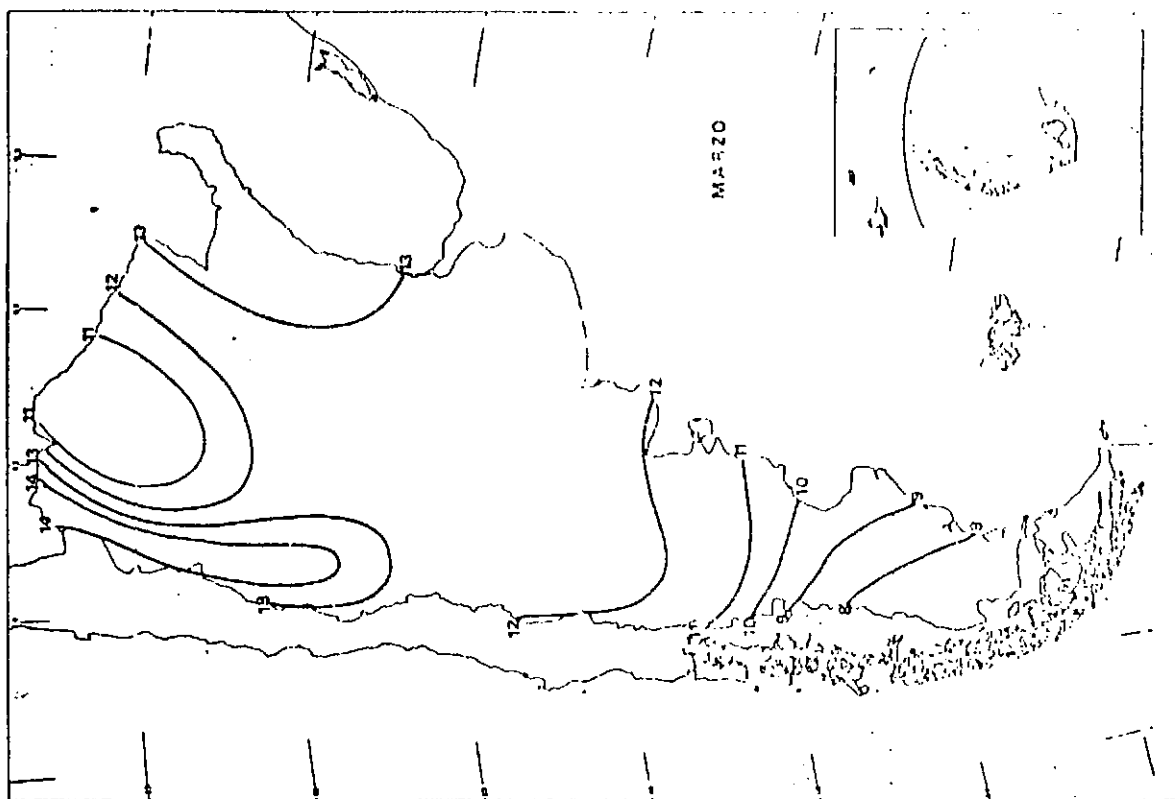
Para pasar a MJ/m² (diarios) multiplicar por
1,3484.

Fig. 5 - VI : Isolfneas de igual Radiación Global
(K cal/cm² mes).



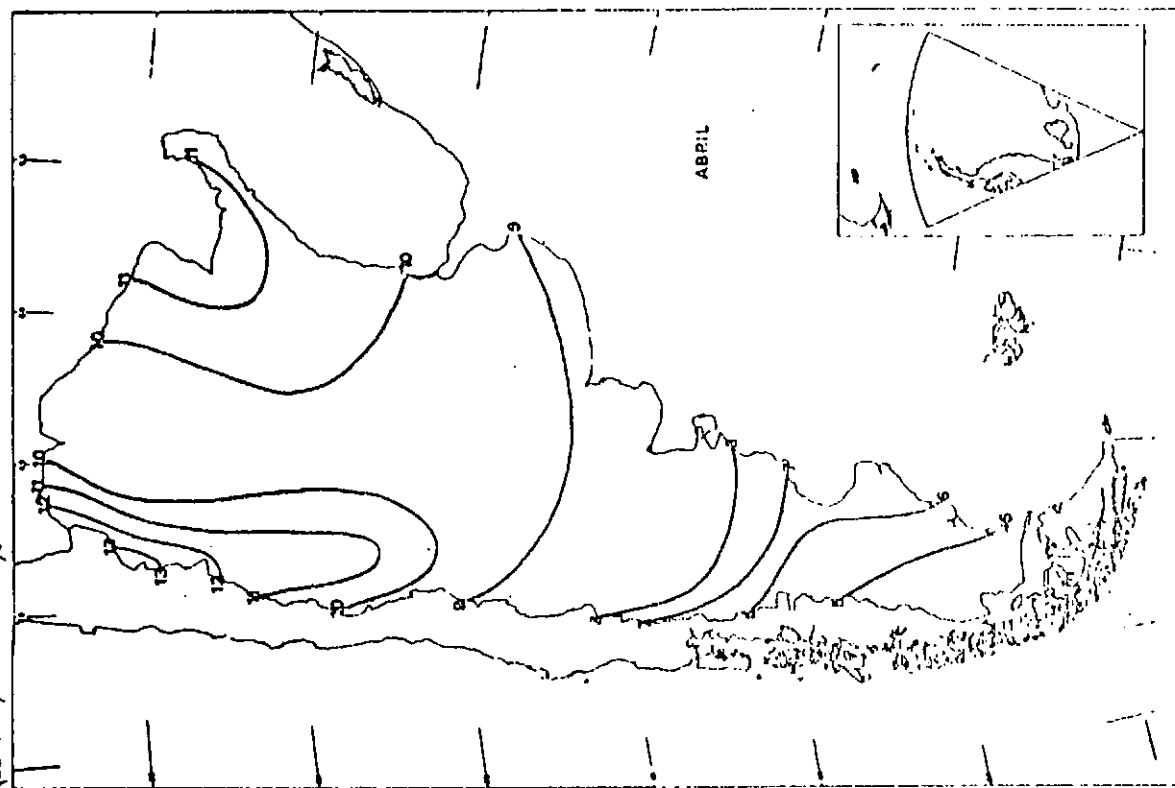
Para pasar a MJ/m² (diarios) multiplicar por
1,4929.

Fig. 6 - VI : Isolneas de Igual Radiación Global
(K cal/cm² mes).



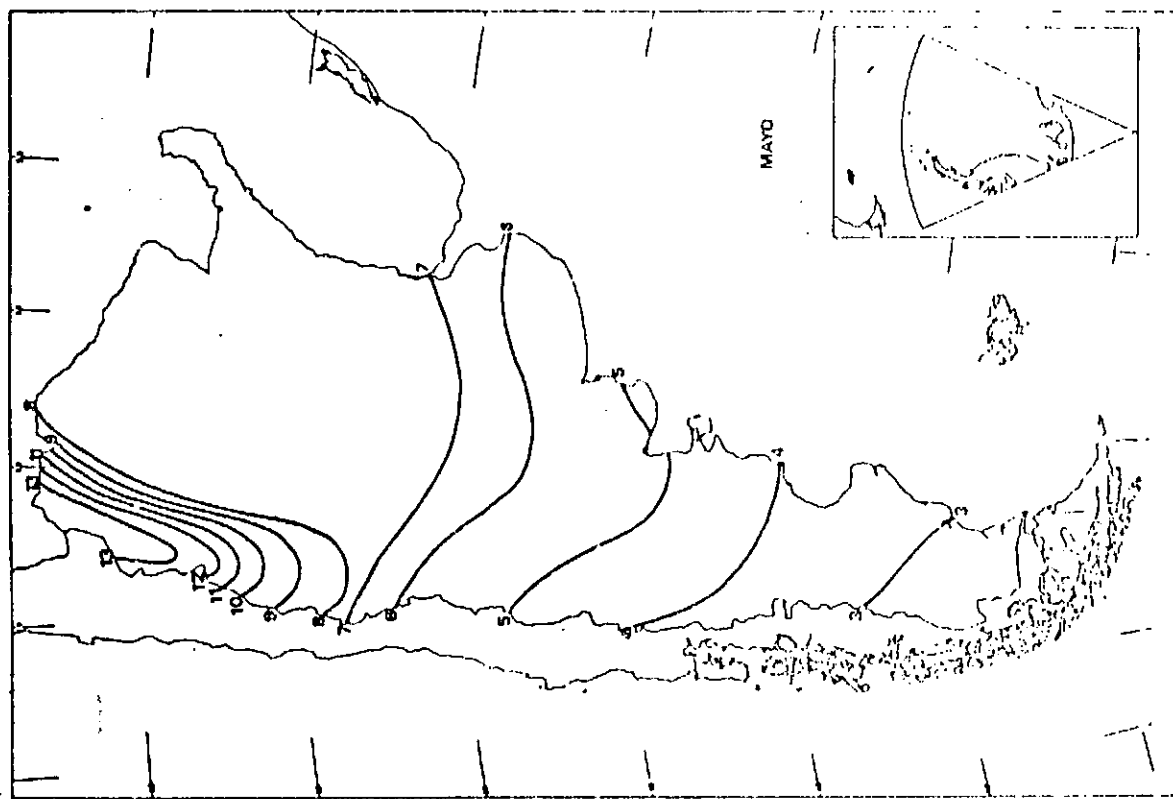
Para pasar a MJ/m² (diarios) multiplicar por
1,3484.

Fig. 7 - VI : Isolneas de Igual Radiación Global
(K cal/cm² mes).



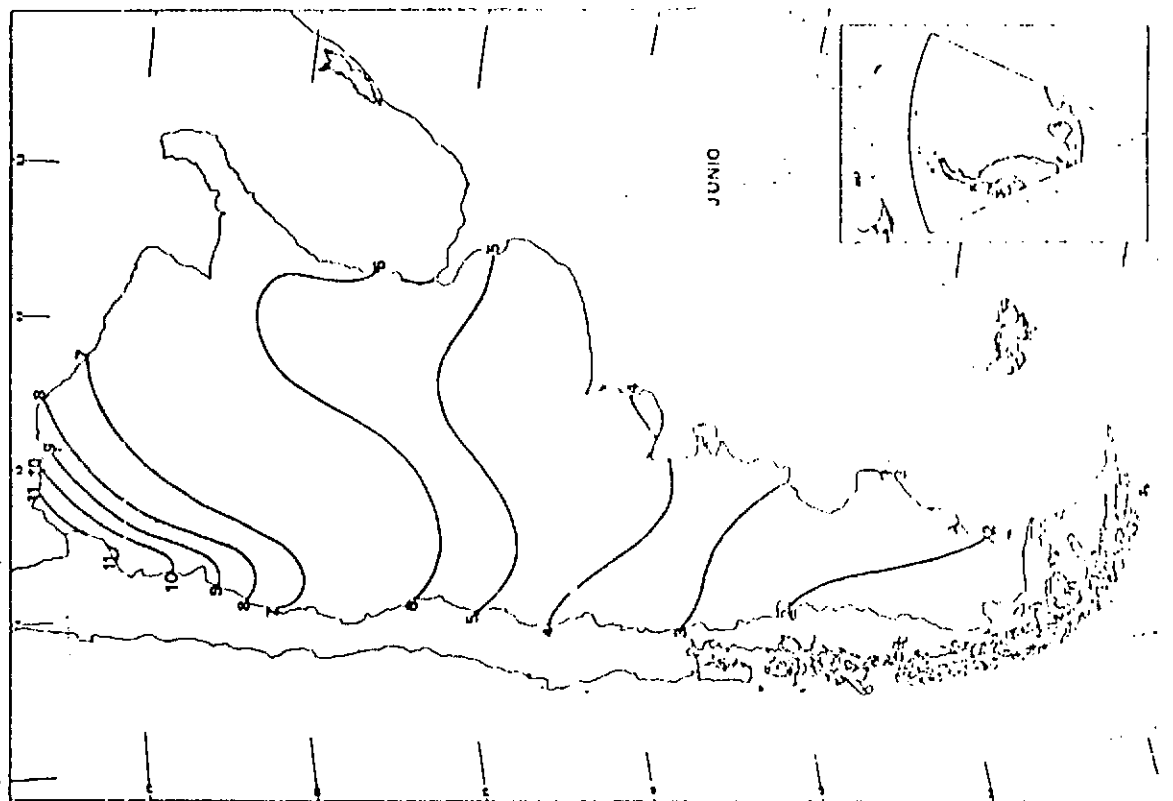
Para pasar a MJ/m² (diarios) multiplicar por
1,3933.

Fig. 9 - VI : Isolíneas de igual Radiación Global
(K cal/cm2 mes).



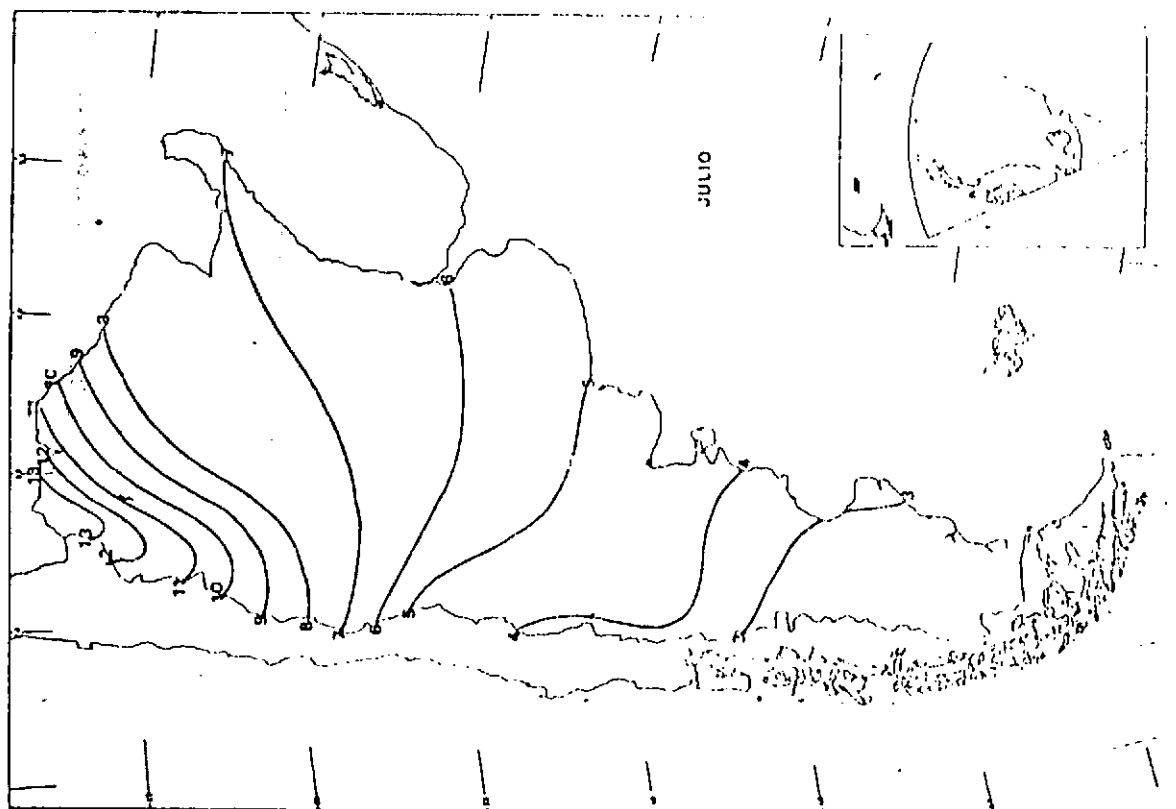
Para pasar a MJ/m2 (diarios) multiplicar por
1,3484.

Fig. 9 - VI : Isolíneas de igual Radiación Global
(K cal/cm2 mes).



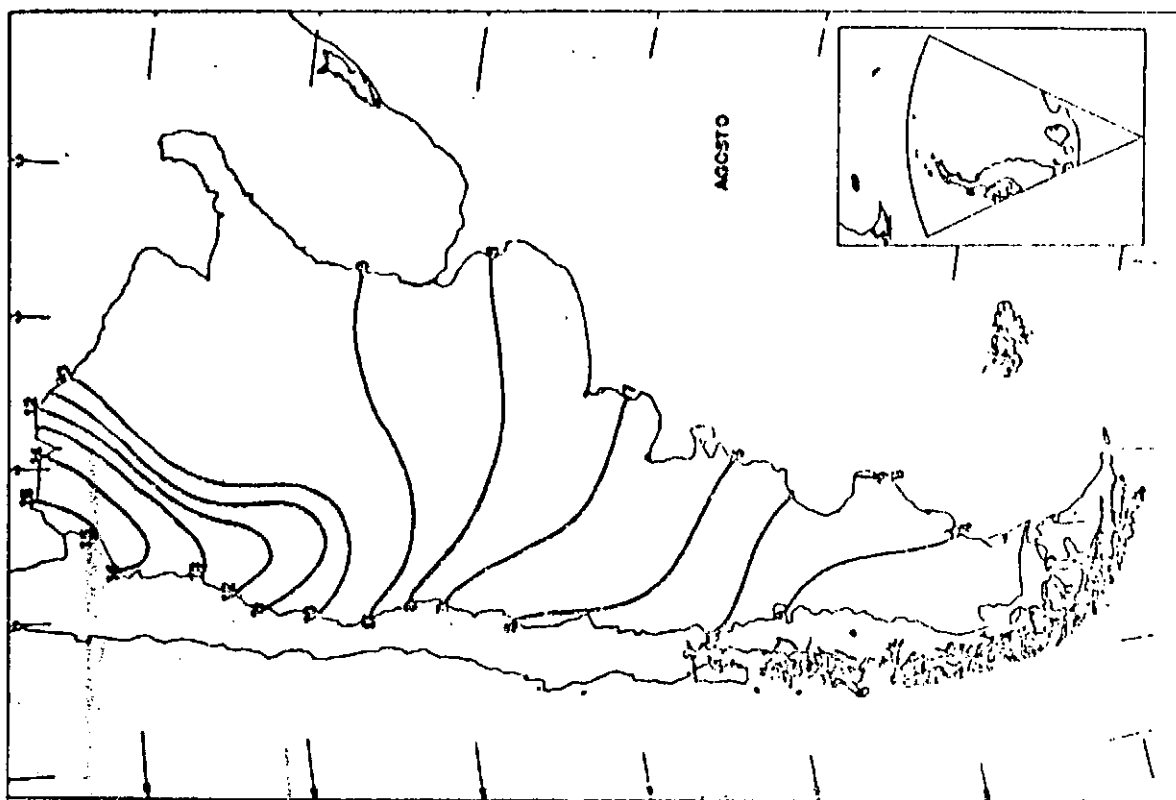
Para pasar a MJ/m2 (diarios) multiplicar por
1,3933.

Fig. 10 - VI : Isolneas de igual Radiación Global
(K cal/cm2 mes).



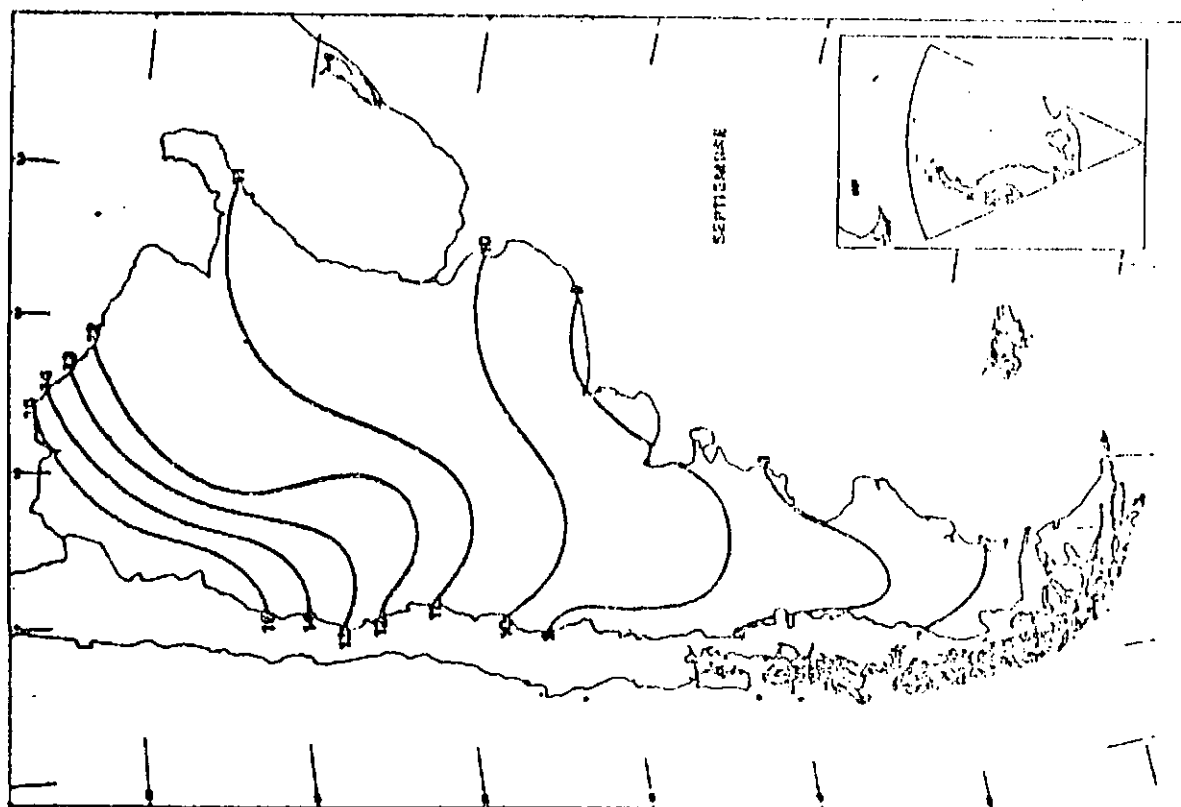
Para pasar a MJ/m2 (diarios) multiplicar por
1,3484.

Fig. 11 - VI : Isolneas de igual Radiación Global
(K cal/cm2 mes).



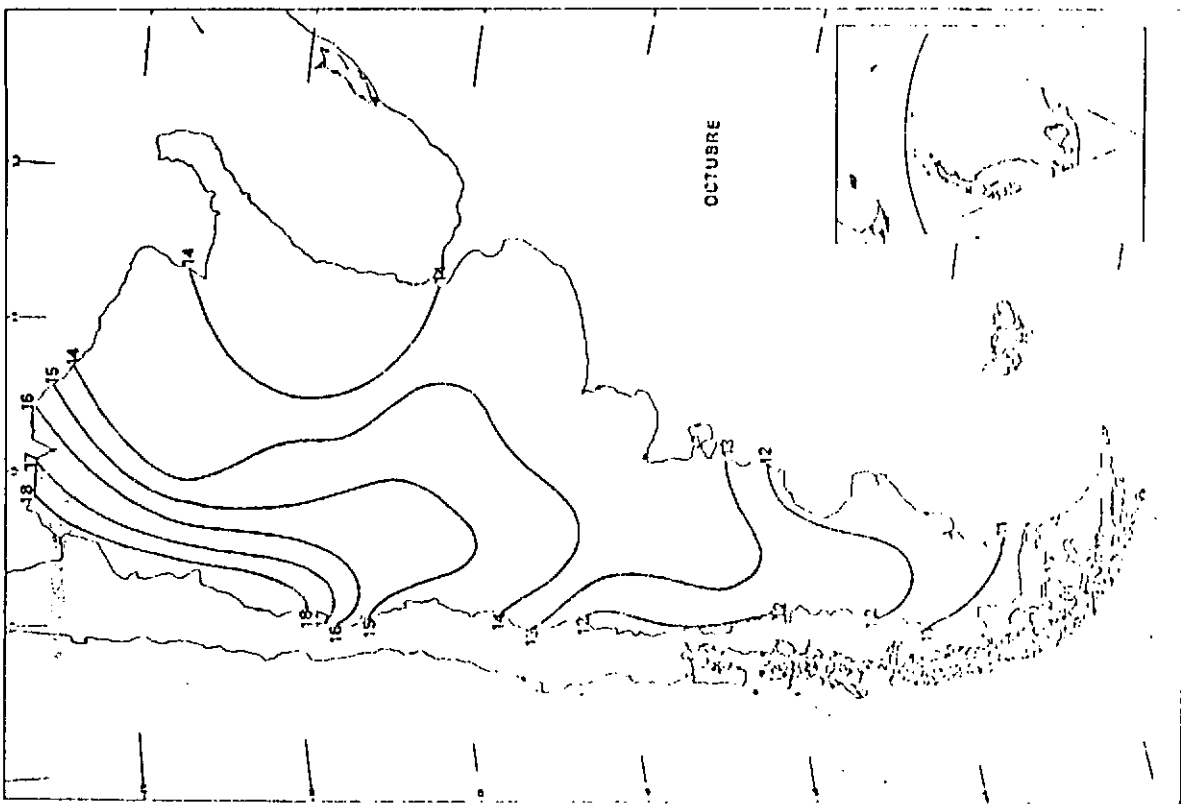
Para pasar a MJ/m2 (diarios) multiplicar por
1,3484.

Fig. 12 - VI : Isolneas de igual Radiación Global
(K cal/cm2 mes).



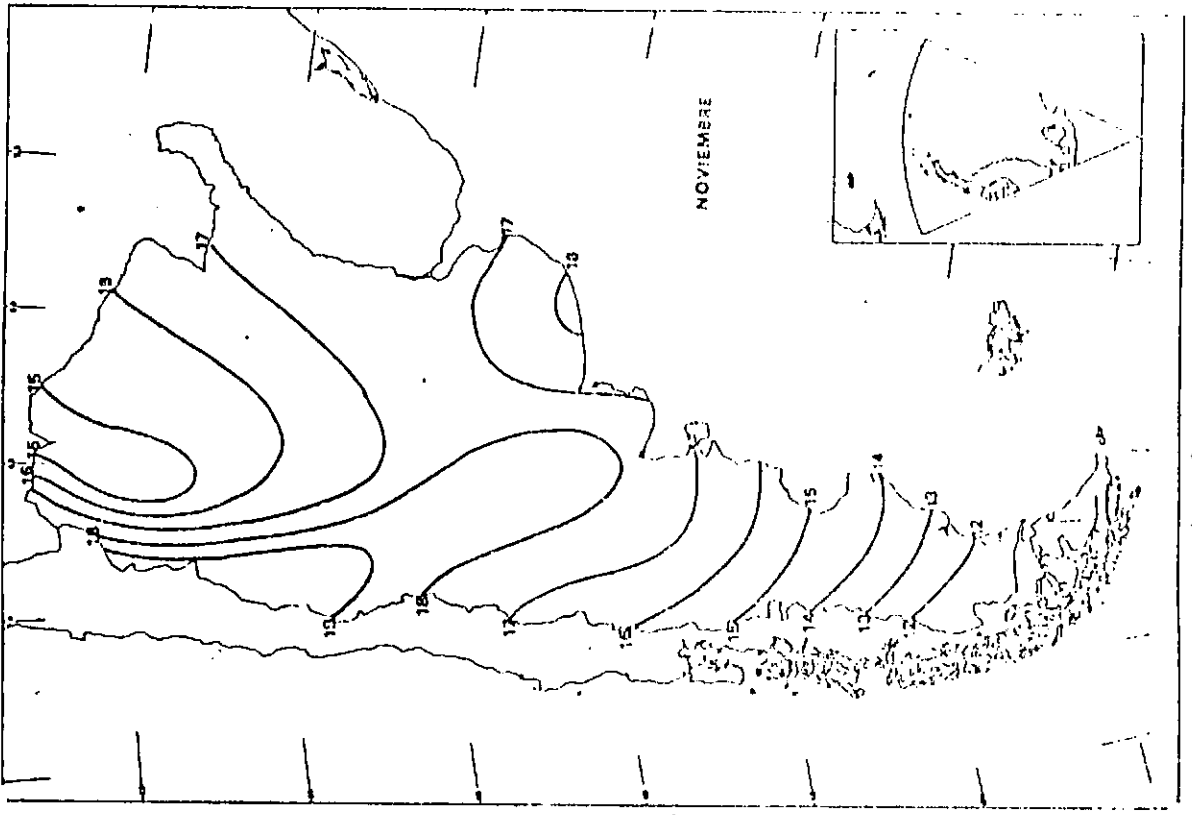
Para pasar a MJ/m2 (diarios) multiplicar por
1,3933.

Fig. 13 - VI : Isolneas de igual Radiación Global
(K cal/cm2 mes).



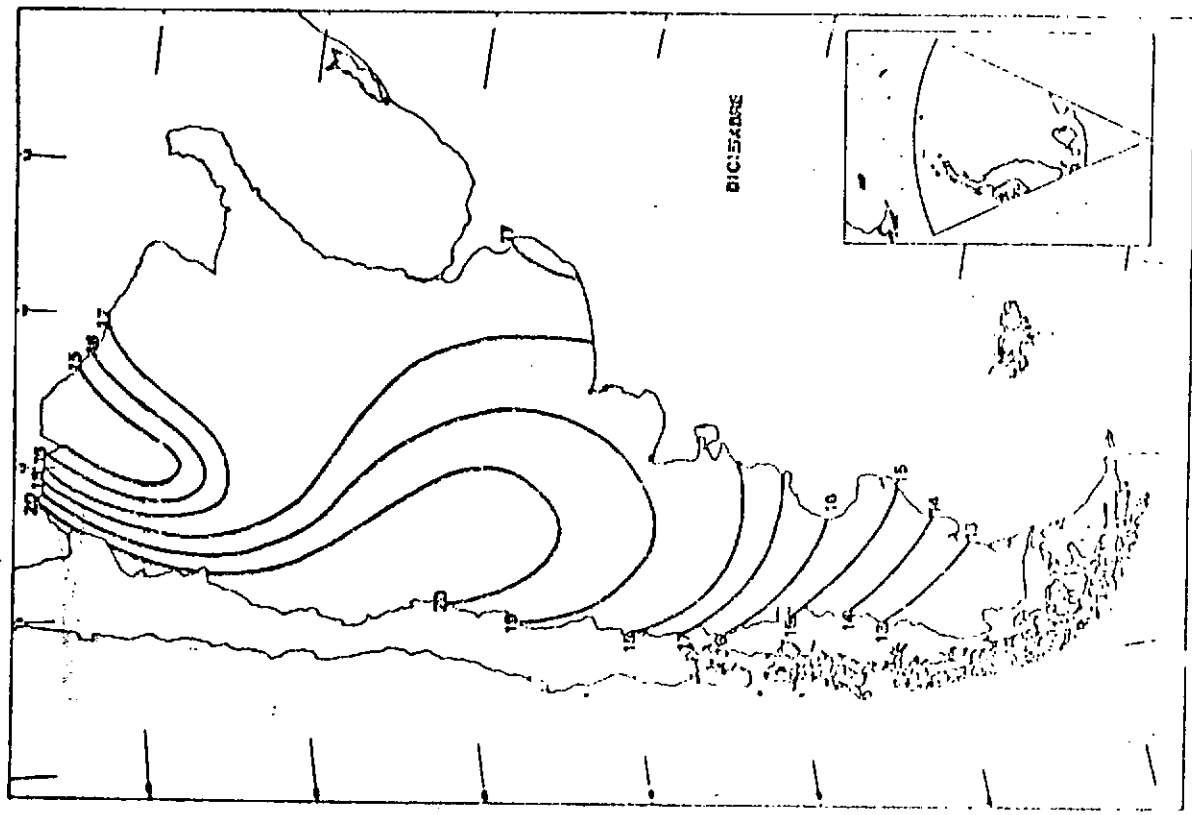
Para pasar a MJ/m2 (diarios) multiplicar por
1,3484.

Fig. 14 - VI : Isolfneas de igual Radiación Global
(K cal/cm² mès).



Para pasar a MJ/m² (diarios) multiplicar por
1,3933.

Fig. 15 - VI : Isolfneas de igual Radiación Global
(K cal/cm² mes).



Para pasar a MJ/m² (diarios) multiplicar por
1,3454.

TABLA I - Radiación al tope de la atmósfera en MJ/m2 (diario).

VALORES MEDIOS DIARIOS DE RADIACION SOLAR SOBRE PLANO HORIZONTAL AL TOPE DE LA ATMOSFERA EN FUNCION DE LA LATITUD, EXPRESADOS EN MJ/m2.Dia											
Lat Sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
-20	41,4	39,6	36,1	31,0	26,0	24,0	24,9	28,8	33,9	38,2	40,7
-22	41,7	39,8	35,7	30,3	25,3	22,9	23,8	27,9	33,2	38,1	41,0
-24	42,0	39,5	35,3	29,5	24,3	21,8	22,8	27,1	32,3	37,9	41,2
-26	42,3	39,4	34,8	28,7	23,8	20,7	21,8	26,2	31,5	37,7	41,3
-28	42,4	39,3	34,3	27,8	23,3	19,8	21,1	25,3	31,5	37,4	41,4
-30	42,5	39,1	33,7	26,9	21,2	18,5	21,3	24,3	30,8	37,1	41,5
-32	42,7	38,9	33,1	26,0	20,1	17,4	21,5	23,3	30,1	36,7	41,5
-34	42,8	38,8	32,5	25,1	19,0	16,2	21,4	22,3	29,3	36,4	41,5
-36	43,0	38,7	31,8	24,1	17,9	15,1	21,3	21,3	28,5	36,3	41,4
-38	43,0	38,6	31,1	23,1	16,9	13,9	21,1	20,3	27,7	35,4	41,3
-40	43,1	38,5	30,4	22,1	15,8	12,8	21,0	19,1	26,8	34,6	41,3
-42	43,1	38,4	29,5	21,0	14,5	11,6	21,0	18,0	25,9	34,4	41,2
-44	43,2	38,4	28,7	19,9	13,3	10,5	20,7	16,8	25,0	33,8	41,1
-46	43,2	38,3	27,9	18,8	12,1	9,3	20,5	15,6	24,0	33,3	41,0
-48	43,2	38,3	27,0	17,7	10,9	8,2	20,3	14,4	23,0	32,8	40,9
-50	43,2	38,3	26,1	16,6	9,7	7,1	20,1	13,2	22,0	32,3	40,8
-52	43,2	38,2	25,1	15,5	8,5	6,0	19,9	12,0	21,0	31,8	40,7
-54	43,2	38,2	24,1	14,4	7,3	5,0	19,7	10,8	20,0	31,3	40,6
-56	43,2	38,1	23,1	13,1	6,1	4,0	19,5	9,6	19,0	30,8	40,5

TABLA II - Da los valores del índice y para cada mes según la latitud del lugar.

LAT	EUE	FEV	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
-20	.01	.06	.17	.29	.39	.43	.41	.34	.23	.11	.01	-.03
-22	.01	.08	.19	.31	.41	.45	.43	.36	.25	.13	.03	-.01
-24	.03	.10	.21	.33	.43	.47	.45	.38	.27	.15	.05	.01
-26	.05	.12	.23	.35	.45	.49	.47	.40	.29	.17	.07	.03
-28	.07	.14	.25	.37	.47	.51	.49	.42	.31	.19	.09	.05
-30	.09	.16	.27	.39	.49	.53	.51	.44	.33	.21	.11	.07
-32	.11	.18	.29	.41	.51	.55	.53	.46	.35	.23	.13	.09
-34	.13	.20	.31	.43	.53	.57	.55	.48	.37	.25	.15	.11
-36	.15	.22	.33	.45	.55	.59	.57	.50	.39	.27	.17	.13
-38	.17	.24	.35	.47	.57	.61	.59	.52	.41	.29	.19	.15
-40	.19	.26	.37	.49	.59	.63	.61	.54	.43	.31	.21	.17
-42	.21	.28	.39	.51	.61	.65	.63	.56	.45	.33	.23	.19
-44	.23	.30	.41	.53	.63	.67	.65	.58	.47	.35	.25	.21
-46	.25	.32	.43	.55	.65	.69	.67	.60	.49	.37	.27	.23
-48	.27	.34	.45	.57	.67	.71	.69	.62	.51	.39	.29	.25
-50	.29	.36	.47	.59	.69	.73	.71	.64	.53	.41	.31	.27
-52	.31	.38	.49	.61	.71	.75	.73	.66	.55	.43	.33	.29
-54	.33	.40	.51	.63	.73	.77	.75	.68	.57	.45	.35	.31
-56	.35	.42	.53	.65	.75	.79	.77	.70	.59	.47	.37	.33

TABLE III - Factor de conversión : Radiación sup. inclinada / Radiación superficie horizontal, en función del coeficiente y y el \bar{K}_t (transparencia de la atmósfera).

Inclinación = 30° Azimut = 0°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91
0.10	0.95	0.94	0.94	0.93	0.93
0.20	0.97	0.96	0.96	0.96	0.99
0.30	1.02	1.04	1.05	1.07	1.09
0.40	1.09	1.13	1.16	1.20	1.24
0.50	1.18	1.24	1.31	1.37	1.43
0.60	1.30	1.39	1.48	1.57	1.66
0.70	1.44	1.57	1.69	1.82	1.94
0.80	1.61	1.77	1.94	2.10	2.27

Inclinación = 30° Azimut = 30°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.96	0.95	0.94	0.93	0.91
0.10	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93
0.20	0.97	0.97	0.96	0.96	0.98
0.30	1.01	1.02	1.04	1.06	1.07
0.40	1.07	1.10	1.13	1.17	1.20
0.50	1.15	1.20	1.25	1.31	1.36
0.60	1.25	1.33	1.40	1.48	1.56
0.70	1.37	1.48	1.58	1.69	1.80
0.80	1.51	1.65	1.79	1.93	2.07

Inclinación = 30° Azimut = 60°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.96	0.95	0.94	0.92	0.91
0.10	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93
0.20	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
0.30	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02
0.40	1.01	1.03	1.05	1.07	1.09
0.50	1.05	1.09	1.12	1.15	1.18
0.60	1.11	1.16	1.20	1.25	1.30
0.70	1.18	1.24	1.30	1.37	1.43
0.80	1.26	1.34	1.42	1.50	1.58

Inclinación = 30° Azimut = 90°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.96	0.95	0.94	0.92	0.91
0.10	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92
0.20	0.94	0.93	0.93	0.93	0.92
0.30	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
0.40	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94
0.50	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95
0.60	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96
0.70	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96
0.80	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97

TABLA IV - Factor de conversión : Radiación superficie orientada / Radiación superficie horizontal,
en función del coeficiente y y el \bar{K}_t (transparencia de la atmósfera).

Inclinación = 60° Azimuth = 0°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.76	0.76	0.73	0.70	0.67
0.10	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69
0.20	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79
0.30	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96
0.40	1.00	1.06	1.11	1.16	1.22
0.50	1.17	1.26	1.36	1.45	1.55
0.60	1.38	1.52	1.66	1.81	1.95
0.70	1.63	1.83	2.03	2.23	2.43
0.80	1.93	2.19	2.46	2.73	2.99

Inclinación = 60° Azimuth = 30°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.88	0.76	0.75	0.72	0.70
0.10	0.79	0.77	0.75	0.73	0.72
0.20	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80
0.30	0.87	0.89	0.91	0.93	0.95
0.40	0.97	1.02	1.06	1.11	1.16
0.50	1.11	1.19	1.27	1.35	1.43
0.60	1.25	1.41	1.53	1.65	1.77
0.70	1.50	1.67	1.84	2.00	2.17
0.80	1.76	1.98	2.26	2.42	2.64

Inclinación = 60° Azimuth = 60°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.81	0.79	0.77	0.75	0.72
0.10	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
0.20	0.86	0.80	0.80	0.80	0.80
0.30	0.83	0.84	0.86	0.87	0.89
0.40	0.88	0.91	0.95	0.98	1.01
0.50	0.96	1.01	1.05	1.11	1.16
0.60	1.06	1.13	1.20	1.27	1.34
0.70	1.18	1.28	1.37	1.46	1.56
0.80	1.33	1.45	1.57	1.69	1.80

Inclinación = 60° Azimuth = 90°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73
0.10	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
0.20	0.77	0.77	0.77	0.77	0.76
0.30	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78
0.40	0.77	0.78	0.75	0.80	0.80
0.50	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83
0.60	0.81	0.82	0.83	0.84	0.86
0.70	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89
0.80	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92

TABLA V - Factor de conversión : Radiación superficie orientada / Radiación superficie horizontal, en función del coeficiente y y el \bar{K}_t (transparencia de la atmósfera).

Inclinación = 90° Azimuth = 0°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.55	0.51	0.46	0.42	0.37
0.10	0.52	0.49	0.45	0.41	0.38
0.20	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47
0.30	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66
0.40	0.77	0.81	0.86	0.90	0.94
0.50	0.96	1.05	1.14	1.23	1.32
0.60	1.20	1.35	1.58	1.64	1.79
0.70	1.51	1.72	1.93	2.14	2.35
0.80	1.86	2.15	2.44	2.72	3.01

Inclinación = 90° Azimuth = 30°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.61	0.57	0.53	0.50	0.46
0.10	0.56	0.54	0.51	0.48	0.45
0.20	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
0.30	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67
0.40	0.73	0.77	0.82	0.86	0.90
0.50	0.89	0.97	1.05	1.12	1.20
0.60	1.16	1.22	1.34	1.46	1.58
0.70	1.36	1.53	1.70	1.86	2.03
0.80	1.67	1.98	2.12	2.34	2.56

Inclinación = 90° Azimuth = 60°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.63	0.60	0.57	0.55	0.52
0.10	0.60	0.58	0.57	0.55	0.53
0.20	0.60	0.60	0.59	0.59	0.59
0.30	0.63	0.65	0.66	0.67	0.69
0.40	0.70	0.73	0.76	0.79	0.82
0.50	0.81	0.85	0.90	0.95	1.00
0.60	0.95	1.01	1.08	1.15	1.22
0.70	1.12	1.21	1.30	1.38	1.47
0.80	1.33	1.44	1.55	1.66	1.77

Inclinación = 90° Azimuth = 90°

\bar{K}_t y	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54
0.10	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55
0.20	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
0.30	0.58	0.58	0.59	0.59	0.60
0.40	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63
0.50	0.61	0.62	0.63	0.65	0.66
0.60	0.63	0.65	0.67	0.68	0.70
0.70	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74
0.80	0.72	0.74	0.76	0.77	0.79

TABLA VI - Muro colector acumulador : Factor de absorción : Radiación disponible muro vertical / Radiación superficie horizontal (coef. de absorción del Muro $\alpha = 0.95$).

1 Vidrio

K_T γ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.41	0.38	0.35	0.32	0.28
0.10	0.39	0.36	0.32	0.29	0.26
0.20	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33
0.30	0.48	0.48	0.46	0.45	0.49
0.40	0.60	0.63	0.57	0.75	0.74
0.50	0.77	0.84	0.92	1.20	1.87
0.60	0.99	1.11	1.24	1.37	1.50
0.70	1.25	1.44	1.64	1.83	2.32
0.80	1.57	1.83	2.10	2.36	2.63

2 Vidrios

K_T γ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.33	0.30	0.27	0.25	0.22
0.10	0.31	0.28	0.25	0.23	0.20
0.20	0.33	0.31	0.29	0.28	0.26
0.30	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40
0.40	0.50	0.53	0.56	0.59	0.61
0.50	0.65	0.71	0.78	0.84	0.91
0.60	0.84	0.95	1.06	1.17	1.28
0.70	1.07	1.23	1.40	1.57	1.74
0.80	1.34	1.57	1.80	2.04	2.27

3 Vidrios

K_T γ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.29	0.27	0.25	0.23	0.20
0.10	0.27	0.25	0.22	0.20	0.18
0.20	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22
0.30	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
0.40	0.43	0.46	0.48	0.50	0.53
0.50	0.56	0.62	0.68	0.73	0.79
0.60	0.73	0.83	0.92	1.02	1.12
0.70	0.93	1.00	1.23	1.38	1.53
0.80	1.17	1.38	1.50	1.79	2.00

Inclinación : 90°

Azimuth : 0°

TABLA VII - Ganancia directa : Factor de transmisión : Radiación transmitida / Radiación incidente.
para ventanas de 1 vidrio según el azimuth.

Inclinación = 90° Azimuth = 0°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
0.10	0.75	0.74	0.72	0.71	0.69
0.20	0.75	0.73	0.72	0.71	0.70
0.30	0.76	0.75	0.75	0.74	0.74
0.40	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
0.50	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82
0.60	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84
0.70	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85
0.80	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85

Inclinación = 90° Azimuth = 30°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.77	0.76	0.74	0.73	0.71
0.10	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
0.20	0.76	0.76	0.75	0.75	0.74
0.30	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
0.40	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
0.50	0.86	0.86	0.86	0.81	0.81
0.60	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.70	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83
0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86

Inclinación=90° Azimuth = 60°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76
0.10	0.77	0.77	0.76	0.75	0.75
0.20	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79
0.30	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79
0.40	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
0.50	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
0.60	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
0.70	0.78	0.79	0.79	0.80	0.80
0.80	0.78	0.79	0.79	0.79	0.80

Inclinación = 90° Azimuth = 90°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
0.10	0.78	0.78	0.78	0.79	0.79
0.20	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79
0.30	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79
0.40	0.78	0.78	0.78	0.78	0.79
0.50	0.77	0.77	0.78	0.78	0.78
0.60	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
0.70	0.76	0.76	0.75	0.75	0.75
0.80	0.75	0.75	0.74	0.74	0.73

TABLA VIII - Ganancia directa : Factor de transmisión : Radiación transmitida / Radiación incidente,
para ventanas de 1 vidrio según el azimuth.

Inclinación = 60° Azimuth = 0°

\bar{K}_T γ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.76	0.76	0.76	0.75	0.75
0.10	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77
0.20	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
0.30	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81
0.40	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82
0.50	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84
0.60	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84
0.70	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85
0.80	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85

Inclinación = 60° Azimuth = 30°

\bar{K}_T γ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.78	0.77	0.77	0.77	0.77
0.10	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
0.20	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81
0.30	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.40	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84
0.50	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86
0.60	0.83	0.84	0.86	0.87	0.88
0.70	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89
0.80	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91

Inclinación = 60° Azimuth = 60°

\bar{K}_T γ	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80
0.10	0.79	0.80	0.80	0.80	0.81
0.20	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81
0.30	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81
0.40	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82
0.50	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82
0.60	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81
0.70	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81
0.80	0.79	0.79	0.80	0.80	0.80

Inclinación = 60° Azimuth = 90°

\bar{K}_T γ	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.78	0.77	0.79	0.83	0.82
0.10	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81
0.20	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81
0.30	0.79	0.80	0.80	0.80	0.81
0.40	0.79	0.79	0.80	0.80	0.80
0.50	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79
0.60	0.77	0.77	0.77	0.78	0.78
0.70	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
0.80	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74

TABLA IX : Ganancia directa : Factor de transmisión : Radiación transmitida / Radiación incidente, para ventanas de 1 vidrio según el azimuth.

Inclinación = 30° Azimuth = 0°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81
0.10	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81
0.20	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.30	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82
0.40	0.81	0.82	0.82	0.82	0.83
0.50	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83
0.60	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84
0.70	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85
0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87

Inclinación = 30° Azimuth = 30°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.79	0.80	0.80	0.80	0.81
0.10	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82
0.20	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.30	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82
0.40	0.81	0.82	0.82	0.82	0.83
0.50	0.81	0.82	0.82	0.82	0.83
0.60	0.81	0.82	0.82	0.83	0.83
0.70	0.81	0.82	0.82	0.83	0.84
0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85

Inclinación = 30° Azimuth = 60°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.79	0.80	0.80	0.81	0.81
0.10	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82
0.20	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.30	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.40	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82
0.50	0.80	0.81	0.81	0.81	0.82
0.60	0.80	0.80	0.80	0.81	0.81
0.70	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81
0.80	0.79	0.79	0.80	0.81	0.82

Inclinación = 30° Azimuth = 90°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81
0.10	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82
0.20	0.80	0.81	0.81	0.81	0.82
0.30	0.80	0.80	0.81	0.81	0.81
0.40	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
0.50	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
0.60	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.76
0.80	0.75	0.75	0.74	0.74	0.74

TABLA X : Ganancia directa : Factor de transmisión : Radiación transmitida / Radiación incidente,
para ventanas de 2 vidrios según el azimuth.

Inclinación = 90° Azimuth = 0°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.66	0.67	0.67	0.68	0.68
0.10	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56
0.20	0.61	0.60	0.59	0.57	0.56
0.30	0.63	0.62	0.62	0.61	0.60
0.40	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
0.50	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69
0.60	0.70	0.71	0.71	0.71	0.72
0.70	0.71	0.71	0.72	0.73	0.73
0.80	0.72	0.72	0.73	0.74	0.74

Inclinación = 90° Azimuth = 30°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.64	0.62	0.61	0.59	0.58
0.10	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58
0.20	0.63	0.63	0.62	0.62	0.61
0.30	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
0.40	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67
0.50	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68
0.60	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.70	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71
0.80	0.70	0.73	0.73	0.74	0.74

Inclinación = 90° Azimuth = 60°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63
0.10	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
0.20	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66
0.30	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67
0.40	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67
0.50	0.66	0.66	0.67	0.67	0.68
0.60	0.66	0.66	0.67	0.67	0.68
0.70	0.66	0.66	0.67	0.67	0.68
0.80	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67

Inclinación = 90° Azimuth = 90°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.00	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
0.10	0.65	0.65	0.66	0.66	0.66
0.20	0.65	0.66	0.66	0.66	0.67
0.30	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66
0.40	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66
0.50	0.64	0.65	0.65	0.65	0.65
0.60	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
0.70	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62
0.80	0.62	0.61	0.61	0.60	0.60

TABLA XI : Ganancia directa : Factor de transmisión : Radiación transmitida / Radiación incidente,
para ventanas de 2 vidrios según el azimuth.

Inclinación = 60° Azimuth = 0°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62
0.10	0.65	0.65	0.65	0.64	0.64
0.20	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67
0.30	0.68	0.68	0.69	0.69	0.69
0.40	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70
0.50	0.70	0.70	0.71	0.72	0.72
0.60	0.71	0.72	0.72	0.73	0.74
0.70	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76
0.80	0.73	0.74	0.75	0.77	0.78

Inclinación = 60° Azimuth = 30°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64
0.10	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
0.20	0.67	0.67	0.67	0.68	0.69
0.30	0.68	0.68	0.69	0.69	0.69
0.40	0.69	0.69	0.69	0.70	0.70
0.50	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71
0.60	0.70	0.71	0.71	0.72	0.72
0.70	0.71	0.71	0.72	0.73	0.74
0.80	0.72	0.73	0.74	0.75	0.76

Inclinación = 60° Azimuth = 60°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.66	0.66	0.67	0.67	0.67
0.10	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68
0.20	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69
0.30	0.67	0.68	0.69	0.69	0.69
0.40	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.50	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.60	0.69	0.69	0.69	0.69	0.70
0.70	0.69	0.69	0.69	0.70	0.71
0.80	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72

Inclinación = 60° Azimuth = 90°

$\frac{K_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.66	0.66	0.67	0.67	0.68
0.10	0.66	0.67	0.67	0.68	0.68
0.20	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69
0.30	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69
0.40	0.66	0.67	0.67	0.68	0.68
0.50	0.66	0.66	0.66	0.67	0.67
0.60	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
0.70	0.66	0.66	0.66	0.65	0.65
0.80	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64

TABLA XII ; Ganancia directa : Factor de transmisión : Radiación transmitida / Radiación incidente,
para ventanas de 2 vidrios según el azimuth.

Inclinación = 30° Azimuth = 0°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.66	0.67	0.67	0.68	0.68
0.10	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69
0.20	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.30	0.69	0.69	0.69	0.70	0.70
0.40	0.69	0.70	0.70	0.70	0.71
0.50	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71
0.60	0.69	0.70	0.71	0.71	0.72
0.70	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73
0.80	0.70	0.71	0.72	0.73	0.75

Inclinación = 30° Azimuth = 30°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.66	0.67	0.68	0.68	0.69
0.10	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69
0.20	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.30	0.69	0.69	0.69	0.70	0.70
0.40	0.69	0.69	0.70	0.70	0.70
0.50	0.69	0.69	0.70	0.70	0.71
0.60	0.69	0.69	0.70	0.70	0.71
0.70	0.69	0.69	0.70	0.71	0.72
0.80	0.68	0.69	0.71	0.72	0.73

Inclinación = 30° Azimuth = 60°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.66	0.67	0.68	0.68	0.69
0.10	0.67	0.68	0.69	0.69	0.70
0.20	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.30	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.40	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.50	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69
0.60	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69
0.70	0.66	0.67	0.67	0.68	0.69
0.80	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69

Inclinación = 30° Azimuth = 90°

$\frac{\bar{K}_T}{\gamma}$	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.00	0.66	0.67	0.67	0.68	0.69
0.10	0.67	0.68	0.68	0.69	0.70
0.20	0.68	0.69	0.69	0.69	0.70
0.30	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69
0.40	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69
0.50	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
0.60	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
0.70	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.80	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

TABLA XIII - IV : Muestra los resultados numéricos del ejemplo en que se apoya la descripción de la metodología (ver texto).
Localidad : Santiago del Estero (Capital) - Latitud : 27, 8° Sur.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1 - Radiación Media Mensual. Plano horizontal (Kcal/m ² mes)	16	14,4	11,3	10	7,7	6,5	7,8	9,8	11,8	14,0	16,7	17
2 - Radiación Media Mensual. Plano Horizontal (MJ/m ² . día)	21,6	21,5	15,2	13,9	10,4	9,1	10,5	13,2	16,4	18,9	23,3	22,9
3 - Radiación Media Mensual. Tope Atmosfera (MJ/m ² . día)	42,4	39,3	34,3	27,8	22,3	19,6	20,7	25,2	31,5	37,4	41,4	42,6
4 - Índice de Transparencia Media Mensual (Kt)	0,51	0,55	0,44	0,50	0,47	0,46	0,51	0,52	0,52	0,51	0,56	0,54
5 - Coeficiente y	0,07	0,14	0,25	0,37	0,47	0,51	0,49	0,42	0,31	0,19	0,09	0,05
6 - Factor de conversión horizontal / inclinada	0,51	0,52	0,60	0,77	1,00	1,00	1,03	0,87	0,68	0,54	0,50	0,51
7 - Factor de Transmisión superf. vidriada	0,74	0,76	0,76	0,78	0,79	0,79	0,79	0,79	0,77	0,75	0,74	0,73
8 - Radiación Media Mensual entrante (MJ/m ² . día)	8,2	8,5	6,9	8,3	8,2	7,2	8,5	9,1	8,6	7,7	8,6	8,5

MODULOS VII Y VIII

1.- Sistemas Activos.

1.1.- Definición y componentes de un sistema activo.

Sistema activo es aquel en que existe la separación entre las funciones de captación, almacenamiento, restitución y control del sistema en relación con la envoltura habitable y, por lo tanto, son equipos agregados a esta envoltura.

Los sistemas activos necesitan para su funcionamiento la aportación de energía exterior (generalmente electricidad) e implican tecnologías que van de lo simple a lo muy sofisticado.

Requieren, como característica la utilización de uno o más fluidos conductores de calor entre el equipo de captación, el de almacenamiento y el de restitución.

La separación de las funciones no es sin embargo, incompatible con una integración de los equipos a la arquitectura y hay muchos ejemplos donde los componentes se convierten en elementos de la envoltura (techo-colector, por ejemplo).

Si bien algunos autores definen los sistemas activos como una instalación de calefacción tradicional, a la que se le cambia la fuente de alimentación, hay elementos que difieren fundamentalmente de la calefacción tradicional. Esta generalmente no necesita acumulación y no se tiene en cuenta para su dimensionamiento, cuándo es el momento de máximo recurso y cuándo el momento de máxima necesidad.

Los elementos constitutivos del sistema son : el colector, el acumulador, el sistema de distribución y el de control (bombas, válvulas, sensores, termostatos, etc.).

1.2.- Colección :

El colector es el elemento que transforma la radiación solar en calor (sistemas térmicos) o bien en electricidad por efecto fotovoltaico (sistemas fotovoltaicos).

En los colectores fototérmicos y según el modo de coleccionar radiación, existen dos tipos :

- a) **Colectores con concentración :** la radiación incidente es concentrada por medios ópticos con los cuales pueden obtenerse temperaturas elevadas : ej. horno solar de Odeillo, con una potencia máxima de 1 MW, que enfocado sobre una fracción de 1 m² alcanza una temperatura de 3.500^oa 4.000^o C (se lo utiliza para fundir materiales altamente refractarios o - metales en atmósferas no contaminadas).

- b) **Colectores sin concentración** : las superficies absorbentes están expuestas directamente a la radiación solar. Las temperaturas obtenidas son generalmente inferiores a 100°C . Para obtener temperaturas elevadas (+ de 150°C) existe la posibilidad de emplear diversos elementos que aumentan el rendimiento de los colectores. Entre estos elementos pueden utilizarse lentes (cualquier lupa es capaz de concentrar el suficiente calor para quemar un papel) o sistemas reflectores.

Este tipo de colectores captan la energía solar mediante el efecto invernadero y aprovechan las propiedades de los cuerpos negros; éstos al absorber energía radiante se calientan y pueden transmitir calor a un fluido; sea agua, aire, u otro. Estos colectores utilizan la radiación global recibida del sol, es decir que aprovechan tanto la directa como la difusa. Debido a esta cualidad, el uso de estos dispositivos es muy interesante aún en zonas con porcentajes apreciables de nubosidad.

1.2.1. Efecto invernadero :

Si consideramos una lámina pintada de negro y ubicamos sobre ella una placa de vidrio común, sobre la que incida radiación solar, tendremos dispuestos los elementos necesarios para que se produzca el efecto invernadero (Fig. 1 - VII VIII).

En efecto : por un lado al aumentar la temperatura de la placa negra, emitirá energía en forma de onda de longitud infrarroja, es decir se comportará como un "cuerpo gris" de elevada absorción y emitancia; los cuerpos negros, según la física teórica tienen la más elevada absorción ($\alpha = 1$) y también el coeficiente de emisión más elevado para todas las longitudes de onda ($\epsilon = 1$). Como en realidad esto es sólo un presupuesto teórico de absorción y emisión, los cuerpos reales son todos "grises" y con coeficientes diferentes entre uno y otro.

Un cuerpo negro a temperatura ambiente (20°C) emite radiación con un máximo de $10\ \mu\text{m}$., que se encuentra entre el espectro de luz invisible e infrarroja.

Por otra parte, el vidrio común ubicado sobre la placa negra, es transparente a la radiación de longitud de onda entre $0,3$ y $3\ \mu\text{m}$ (prácticamente a toda la radiación solar) y es opaco a la radiación mayor de $3\ \mu\text{m}$, o sea opaco a la luz infrarroja emitida por la placa negra a temperatura media.

Esta radiación infrarroja es absorbida por el vidrio (que se calienta) y reemitida en todas direcciones; la mitad de ésta es emi

tida al exterior y se pierde, la otra mitad es reenviada hacia la placa negra que la absorbe nuevamente. De esta manera se va acumulando más y más calor en la placa negra y aumenta su temperatura. A medida que se calienta la superficie negra, aumentan también las pérdidas de calor al medio ambiente. Se alcanza una temperatura teórica de equilibrio cuando las ganancias de energía por absorción de la luz visible se igualan con las pérdidas de energía a través de la emisión infrarroja de la lámina de vidrio. En realidad, dentro de un colector, las pérdidas por convección y por conducción asumen un valor importante con respecto a la pérdida por radiación, y la temperatura de equilibrio es mucho menor que la teórica debida exclusivamente a la radiación.

Una consideración a tener en cuenta es que el efecto invernadero es eficaz solamente por debajo de los 500°C porque al elevarse la temperatura, la longitud de onda de la emisión infrarroja se vuelve cada vez más corta hasta que, finalmente cerca de los 500°C (772°K) la radiación es emitida a $4\text{ }\mu\text{m}$, en cuya longitud de onda el vidrio es parcialmente transparente para la luz infrarroja.

1.2.2. Principios de funcionamiento y descripción de los componentes de los colectores planos :

Los colectores planos están compuestos, generalmente por : a) un absorbedor (habitualmente es una placa metálica a la cual se fijan los conductos que posibilitan el paso de aire, agua u otro líquido caloportador); b) una o más cubiertas transparentes (vidrio o plástico), separada por escasos centímetros de la lámina absorbedora y ubicada sobre ésta; c) un material aislante térmico ubicado detrás de la lámina absorbedora (de baja conductividad de calor); y d) una caja contenedora de los elementos anteriores (podrá prescindirse de ella cuando los tres elementos anteriores se integren a alguna parte de un edificio). (Fig. 2 - VII VIII).

a. Absorbedor :

Podrá ser de cualquier material apto a la exposición de la radiación solar y que tenga un coeficiente de absorción grande y de conducción térmica alto.

Generalmente se emplea láminas metálicas (cobre, aluminio o acero), con tubos fijos o integrados a la placa (Fig. 4 VII VIII). En la figura Nº 3 - VII VIII se indica la distribución típica de la energía en el colector plano.

Solamente una parte del calor recibido por el colector alcan-

COLECTORES SIN CONCENTRACION

Colectores planos

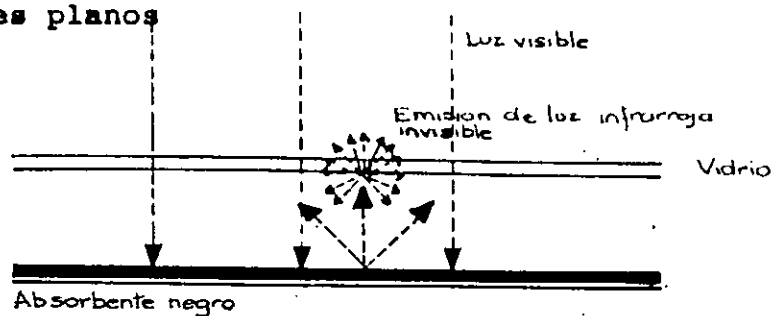


Fig.1-VII VIII: Fundamento del efecto invernadero

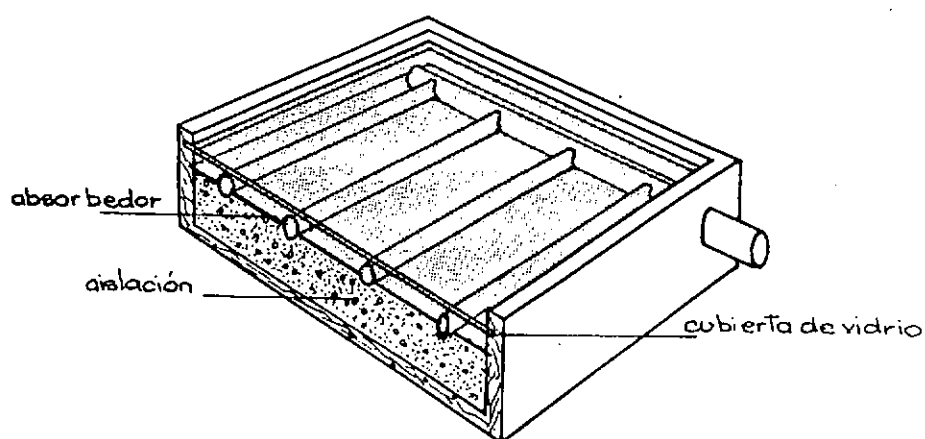


Fig.2-VII VIII: Elementos componentes de un colector plano

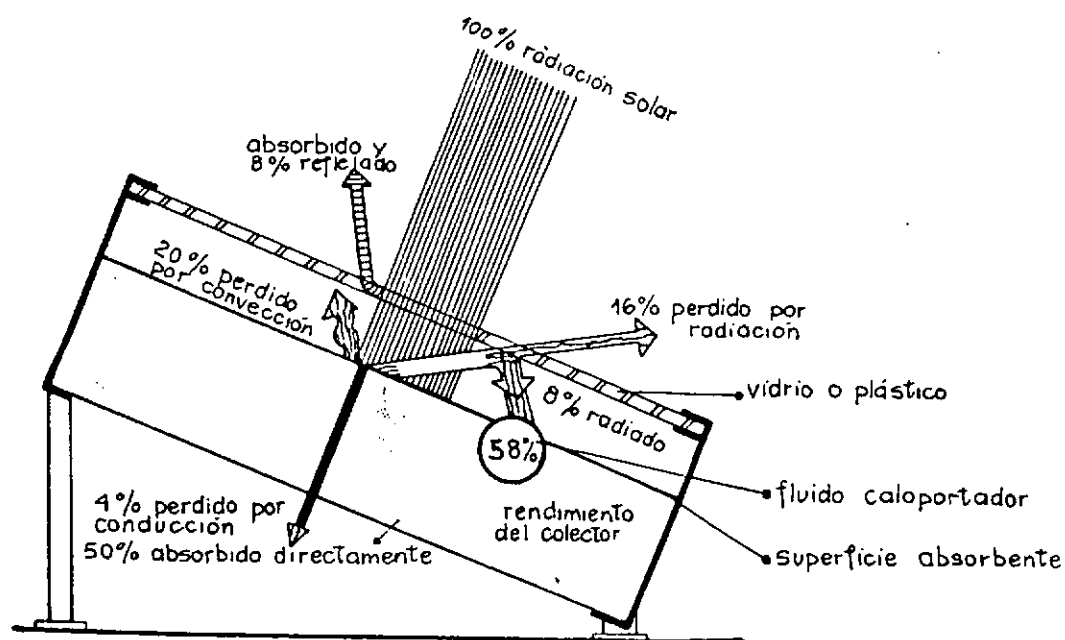


Fig.3-VII VIII: Distribución de la energía recibida por un colector de cubierta de vidrio simple y absorbedor con pintura selectiva.

za al fluido caloportador (aire o líquido). Parte de la radiación solar es reflejada hacia el exterior por el vidrio según el ángulo de incidencia de los rayos. El calor que penetra va calentando al absorbedor y, para aumentar la capacidad de absorción, de la superficie receptora, suele recubrirse con pintura mate (negra, azul ó verde, etc. y un coeficiente α de absorción entre 0.90 y 0.80).

La eficiencia de este sistema es dada también por la emisividad. El valor de la emisividad (y de las pérdidas térmicas correspondientes) depende mucho del tipo de revestimiento utilizado sobre el receptor metálico o absorbedor.

El calor recibido en la placa receptora es en parte absorbido por el fluido caloportador y en parte se pierde en el espacio de aire comprendido entre el absorbedor y el vidrio.

A medida que la temperatura de este espacio de aire aumenta, hay un crecimiento de las pérdidas de calor hacia el exterior por efecto de convección en el interior del espacio de aire y por conducción a través del vidrio.

En 1955 el ingeniero Tabor puso a punto un revestimiento de "superficie selectiva" para absorbedores metálicos. Este revestimiento es muy eficaz dado su factor de absorción alto en el espectro visible e infrarrojo lejano y su bajo factor de emisividad para radiaciones de más de 2μ m de longitud de onda. Por lo tanto los absorbedores tratados con pinturas o revestimientos selectivos emiten muy poca radiación; es decir que pierden solamente una parte muy pequeña del calor absorbido.

Las superficies selectivas son aplicadas a las placas de los absorbedores por un proceso químico o por deposición bajo vacío.

Se trata de igualar o superar la relación $\frac{\alpha}{\epsilon} = 10$. Por ejemplo, un tratamiento en la masa del absorbedor con óxido de cobre responde a la relación $\frac{\alpha}{\epsilon} = 6$.

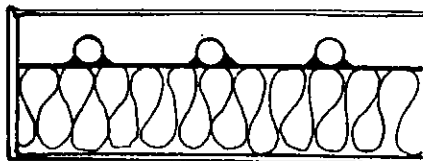
Otra forma de tratar de reducir las pérdidas en este caso, por convección y radiación, es introducir modificaciones en el absorbedor propiamente dicho. Una posibilidad es el empleo de estructuras antirradiantes (a veces llamado colector Francia). Aprovechando las propiedades de algunos plásticos de ser livianos y de características similares al vidrio en cuanto a los coeficientes de absorción y emisión, se han fabricado estructuras tipo colmena (antirradiantes) para ubicar encima del absorbedor.

Conforme sea el diámetro de las celdas y su altura podrán -

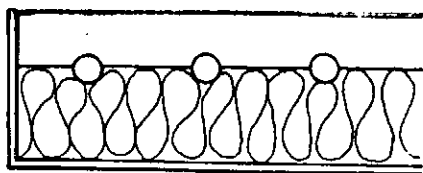
COLECTORES SIN CONCENTRACION

Colectores planos de agua: secciones típicas de placas absorbedoras.

Fig. 4-VII VIII

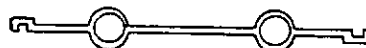


Tubos fijados al absorbedor generalmente por soldadura



Tubos integrados con el absorbedor

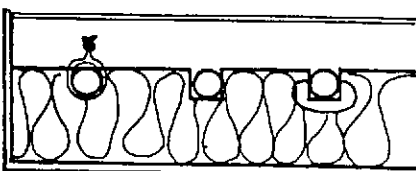
Por ejemplo:



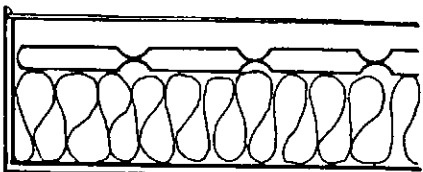
a) aluminio extruído



b) cobre laminado



Tubos embutidos en el absorbedor por diferentes métodos (atados, embutidos en canales o nervaduras, etc.)



Caso a

Canalizaciones producidas en el absorbedor.

- a) bolsa de plástico.
- b) dos planchas de metal onduladas.
- c) una plancha plana metálica superior y otra inferior de metal o plástico nervada.



evitarse con este dispositivo los procesos convectivos del aire y limitarse también las pérdidas por radiación. (Fig. 5 - VII VIII).

La otra posibilidad es obtener un mayor rendimiento aumentando la superficie expuesta, doblando la chapa en zig-zag, con lo cual se obtienen reflexiones múltiples y consecuentemente se aumenta la absorción (Fig. 6 - VII VIII).

b. Cubierta transparente :

Un colector eficaz suele llevar una o más cubiertas transparentes en vidrio o plástico, con el fin de reducir las pérdidas térmicas del absorbedor por efecto del viento.

Esta cubierta crea un espacio de aire entre el exterior y el absorbedor. Generalmente, por razones de orden práctico, su espesor no supera los 3 cm. Dentro de esta cámara aparecen fenómenos de convección.

Estas pérdidas por convección pueden ser reducidas al disminuir la presión atmosférica del volumen de aire situado entre la superficie absorbente y la primera cubierta (hacer el vacío) pero este sistema es costoso con respecto a lo que se gana. Cabe recordar aquí que la cubierta aumenta el rendimiento del colector gracias al "efecto invernadero" ya mencionado anteriormente.-

Del vidrio podemos decir que su propiedad más importante es la cantidad de radiación solar que se puede transmitir a través de él (en térmicos generales 85% de la incidente).

La transmitancia depende directamente del índice de refracción propio de cada material.

Las pérdidas por reflexión suelen ser del orden del 8% y las debidas a la absorción semejantes a éstas (aunque con un margen de gran variabilidad) dependiendo fundamentalmente del contenido de óxido de hierro que posea el vidrio (a mayores cantidades óxido férrico corresponderá mayores pérdidas por absorción).

La reflectancia depende del ángulo de incidencia.

La energía absorbida por la cubierta transparente incrementa la temperatura de ésta, reduciendo por lo tanto, la diferencia de temperaturas entre la cubierta y la placa absorbidora, lo que en definitiva tiende a reducir las pérdidas hacia el medio ambiente.

El vidrio se calienta por radiación y convección principalmente y disipa calor al exterior por los mismos mecanismos de -

transmisión. Al agregarle más de un vidrio al colector, se mejora la aislación del conjunto, aunque disminuye en un pequeño porcentaje el calor recibido por radiación. En efecto, a medida que el número de vidrios aumenta, crecen las pérdidas por reflexión y absorción de las cubiertas.

De hecho, el número de cubiertas está limitado a dos (a veces tres cuando el clima es excesivamente frío), debido a que con varios vidrios la disminución de la transmisión de radiación incidente es demasiado importante. Con tres vidrios la transmitancia podría bajar del valor 0.7 reduciéndose sin embargo las pérdidas caloríficas aproximadamente en un tercio. Según la ubicación geográfica del colector la reducción en la transmisión no compensa la reducción en las pérdidas.

Hay que tener en cuenta, además, que a medida que aumentamos el número de vidrios, aumentamos proporcionalmente el costo del colector.

Si comparamos el vidrio con el material plástico, el vidrio presenta dos problemas específicos : costo y fragilidad. En efecto, debido a la gran variación de temperatura que sufren los colectores, suelen producirse movimientos térmicos importantes en la estructura y numerosas roturas de cristal.

A su vez, la mayoría de los materiales plásticos aunque son baratos y resistentes, se deterioran por la radiación ultravioleta de la luz solar (se amarillean y resquebrajan). Otros se reblandecen por la acción del calor, por lo tanto, cuando su uso sea aconsejable por la posibilidad que tenga la cubierta de recibir golpes, conviene elegir aquéllos reforzados con fibras de vidrio o los endurecidos térmicamente. En estos casos, recurrir al cristal templado puede ser la solución más conveniente (Ver Fig. 7 - VII VIII).

c. y d. Aislación térmica y caja del colector :

La parte posterior del colector deberá estar bien aislada para que las pérdidas por conducción sean las más pequeñas posibles. Generalmente se emplea lana de vidrio o espuma de poliuretano expandido con 2 a 10 cm. de espesor como aislante, y una caja que contenga al conjunto.

La unión de la cubierta transparente con el marco de la caja también deberá estar bien sellada de modo que no pase aire ni agua y así evitar pérdidas por convección y/o conducción (por alteración de las propiedades del aislante).

La caja que contenga a todos estos elementos podrá ser de

COLECTORES SIN CONCENTRACIÓN

Colectores planos

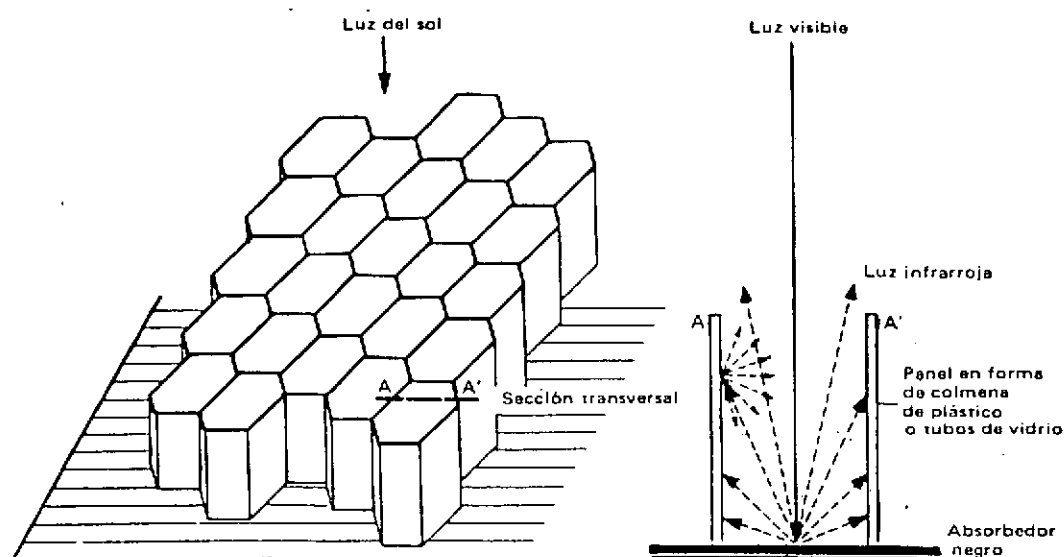


Fig.5-VII VIII -Fundamento del colector de calor antirradiación.
Ángulos de incidencia de la radiación

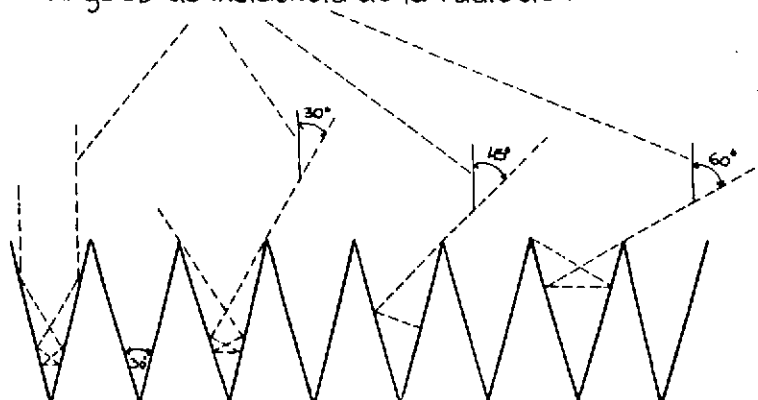


Fig.6-VII VIII -Absorción de la radiación solar por reflexiones sucesivas.

Factores de la energía solar					
	Esp.	Reflexion	Absorción	Transmici	Fact.Solar
Vidrio est	3 mm	0,07	0,06	0,87	0,88
Polyglass	6 mm	0,13	0,20	0,57	0,72
Terphane		0,12	0,03	0,85	
Mylar		0,12	0,03	0,85	

Fig.7-VII VIII -Propiedades energéticas de materiales empleados como cubiertas transparentes.

madera, plástico, metales o asbesto cemento y su construcción será lo debidamente cuidada de modo que sea estanca.

1.2.3. Orientación e inclinación de los colectores solares.

Para recibir la mayor cantidad de radiación posible, la orientación de los colectores es muy importante en toda instalación solar. (Si el colector está mal orientado en relación a los rayos del sol, el calor reflejado tanto por el vidrio como por el absorbedor será mayor que el captado utilizable). Cuando el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie del colector es inferior a 30° , la mayor parte de la radiación es reflejada y el colector será prácticamente inútil.

Idealmente los colectores deberían estar orientados "normalmente" hacia el sol siempre; pero, para efectivizar esto haría falta que el colector pudiera seguir las variaciones horarias y estacionarias del sol, cosa que solo puede hacerse en instalaciones sofisticadas. Por razones prácticas se determina una posición fija basada en la altura media del sol a lo largo de los meses durante los cuales los colectores solares deben funcionar más eficazmente.

Además, es común que la instalación se la suele sobredimensionar un tanto, compensando con el tamaño de la superficie de colección la pérdida de radiación por orientación poco conveniente a determinadas horas del día.

En lo que se refiere a la inclinación en líneas generales, se puede determinar que : en invierno el colector deberá tener una inclinación que forma un ángulo con la horizontal igual a la latitud del lugar + $11^{\circ}75'$ (para usos de calefacción).

En verano, el ángulo óptimo para recibir radiación solar sería - igual al valor de la latitud del lugar - $11^{\circ}75'$.

1.2.4. Funcionamiento de los colectores planos :

Ya hemos explicado los principios de funcionamiento de los colectores planos y descripto sus partes constitutivas.

Resta agregar que el calor que queda atrapado dentro del colector se extrae a través de un medio de transporte de calor (caloportador) que podrá ser aire, agua u otro líquido. O sea que, en general, o los conductores están integrados con la placa absorbidora y el agua u otro líquido circula a través de ellos, o el aire circula a través del espacio entre el absorbedor y la cubierta.

Funcionando a temperaturas constante, las corrientes de energía que circulan en diferentes direcciones se compensan unas a otras,

y la cantidad de energía utilizable que se obtiene se calcula sustrayendo las diferentes pérdidas de calor de la cantidad de energía total recibida por medio de la radiación solar. Las pérdidas por convección aumentan bastante según aumente la velocidad del viento. Las pérdidas por radiación son proporcionales a la cuarta potencia de la temperatura, y por lo tanto aumentan rápidamente con temperaturas altas.

Algunas de las variables más importantes a considerar en la instalación de un colector plano son : en primer lugar su superficie, y luego el ángulo de inclinación.

Las variables referidas a la construcción ya las hemos mencionado : propiedades ópticas de la cubierta, propiedades de absorción de las superficies negras y de aislación de la caja contenedora del colector. Retomaremos ahora el tema de la extracción del calor captado por los colectores, y analizaremos colectores de agua incluyendo colectores con escurrimiento de agua por gravedad, colectores de aire y colectores perfeccionados.

1.3. Tipologías

a. Colectores de agua

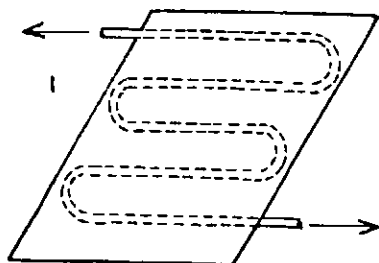
En este caso el medio de transporte del calor será agua (o una mezcla con antirel) que, contenida en los colectores es conducida mediante circulación natural (termosifón) o forzada (bomba de circulación) por canalizaciones que están fijas o integradas a la placa absorbente metálica.

Existen diferentes soluciones funcionales : (Fig. 8 - VII VIII).

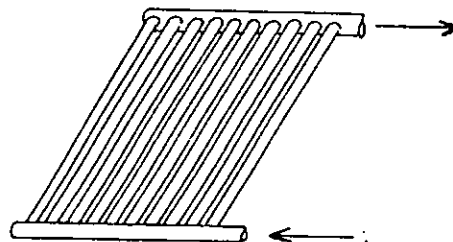
- Tubo sinusoidal soldado a una delgada lámina metálica.
- Tubos rectos unidos a otros perpendiculares, sujetos al absorbedor de distintas maneras.
- Procedimiento Roll-Bond : dos placas metálicas, generalmente de aluminio, soldadas en los bordes, donde se practica un circuito de venas flujadas por insuflación de aire.-
Este procedimiento es menos caro que el de los tubos fijados a la placa y el contacto es mejor. Consecuentemente el calor transferido entre placa y tubo es mayor.
- Derrame libre : Otra forma del colector de agua caliente se ha estudiado utilizando el principio del derrame libre por gravedad. Aquí el agua o líquido empleado (puede ser aceite) se calienta mientras chorrea lentamente desde arriba hacia abajo sobre un absorbedor que puede ser un panel de techo ondulado de aluminio pintado de negro y recubierto por un vidrio.

COLECTORES SIN CONCENTRACION
Colectores planos de agua

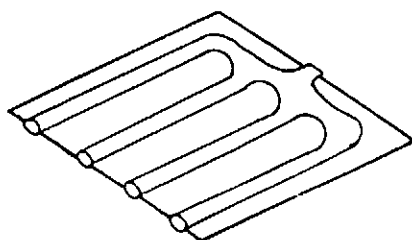
Fig.8-VII VII : soluciones funcionales



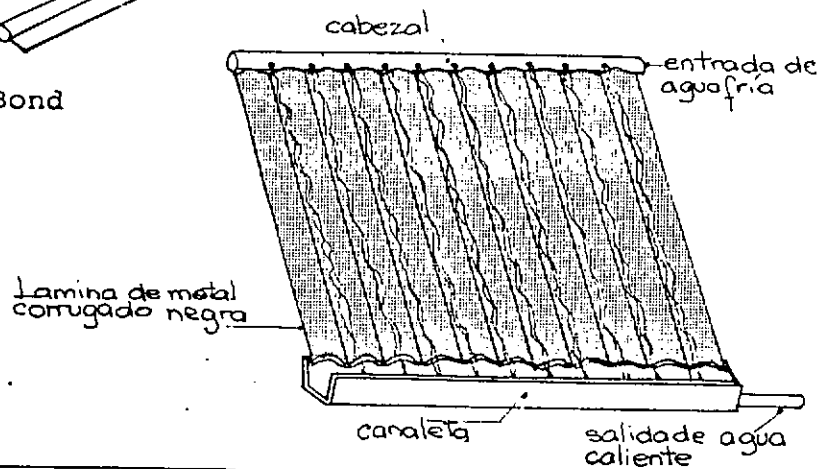
a) tubo sinusoidal
soldado a la lámina



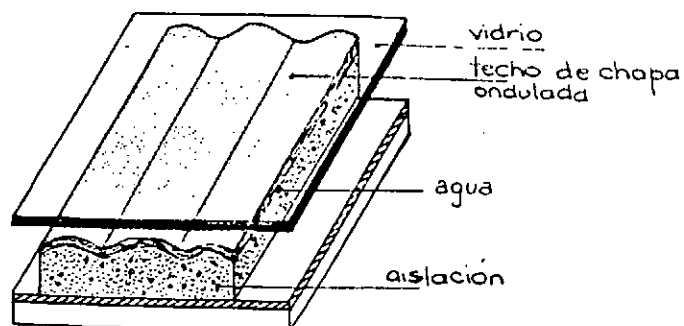
b) tubos rectos paralelos
unidos a otros perpen-
diculares



c) Roll-Bond



d) derrame libre



e) de lámina fluida

El fluido se recupera en la parte baja y luego se almacena en un depósito. La salida del fluido, para su distribución se hará mediante una bomba.

- De lámina fluida : para controlar la condensación sobre la cubierta que se produce en los colectores de derrame libre, se pueden utilizar dos hojas de metal ondulado encajadas - una en otra y separadas unos pocos milímetros. Esto permite al agua que corre tener contacto con la hoja absorbente - de arriba. Resulta una especie de colector de escurrimiento cerrado.

b. Colectores de aire

Son los colectores cuyo medio de transporte del calor será el aire. En este caso se tratará que el aire entre en contacto - con la mayor área posible de superficie absorbente, ya que el coeficiente de transmisión de calor por convección aire/lámina es mucho menor que el de un líquido/lámina. Ejemplos : -aire con convección libre 5,8 a 29 W/m² °C; -agua con convección forzada 290 a 1160 W/m² °C.

Para igual transparencia térmica, el caudal de aire empleado es mucho mayor con respecto al caudal de agua necesario. En efecto, el calor específico de 1 m³ de aire es 0,34 Wh/°C y el de 1 m³ de agua es de 1160 Wh/°C.

Posteriormente a su captación, el aire calentado podrá ser - conducido directamente al interior del edificio, o hacia una unidad de almacenaje (relleno con piedras, por ej.). Los sistemas de aire presentan, sin embargo algunos inconvenientes. Los colectores de aire no son tan eficaces como los colectores de líquidos para el calentamiento del agua de consumo doméstico. - Son necesarios conductos de grandes dimensiones para conducir el aire de los colectores al acumulador y de allí a los ambientes. Además los ventiladores que posibilitan la circulación del aire, tienen un consumo eléctrico importante que en el caso de un sistema de agua es generalmente muy bajo.

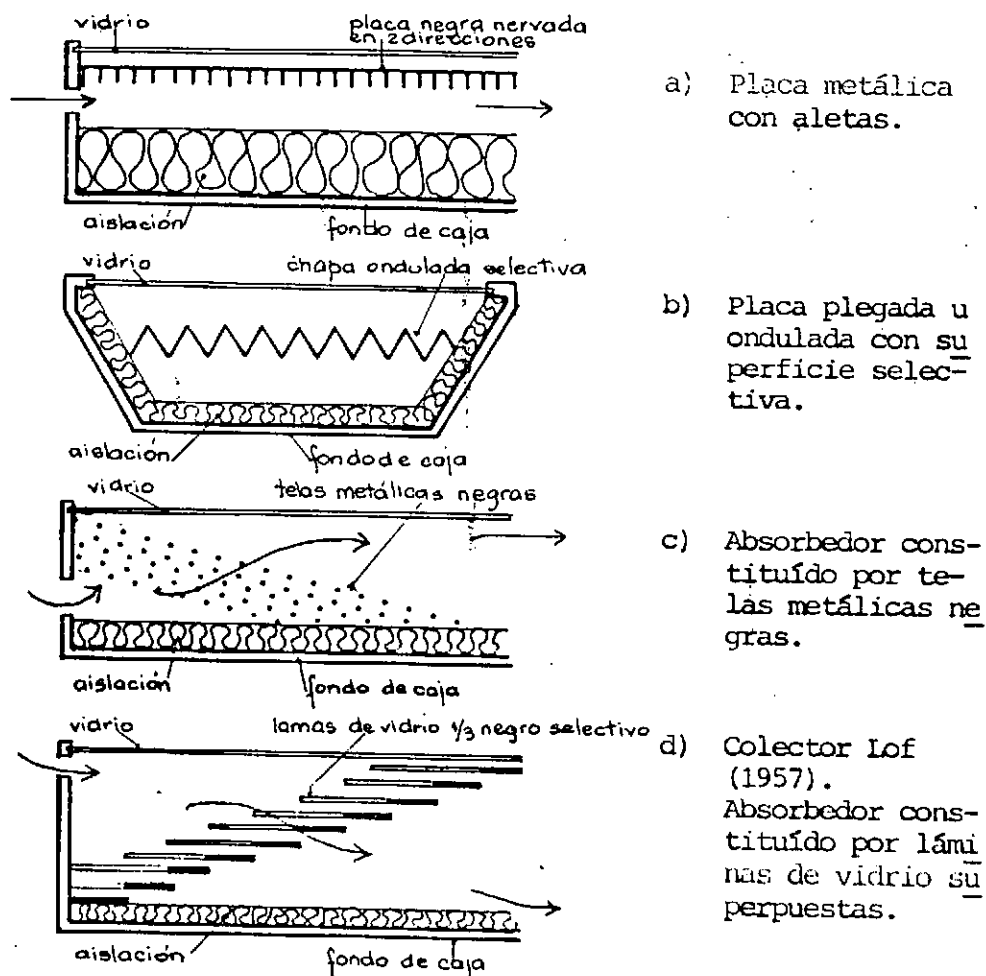
En cuanto a las ventajas respecto de los de agua podemos citar : la no existencia del problema de congelación del fluido, se evitan posibles humedades o goteras por fallas en la instalación; la corrosión y las incrustaciones no existen y finalmente, su costo suele ser más barato (por estar generalmente - contruidos en forma tal que constituyen parte de la cubierta). También en este caso existen diferentes soluciones. (Fig. 9 VII VIII).

COLECTORES SIN CONCENTRACION

Colectores de aire:

Fig. 9-VII VIII

secciones características.



- Captador con placa metálica, provista de alotas.
- Captador con placa ondulada o plegada selectiva.
- Captador con absorbedor constituido por telas metálicas negras.
- Captador diseñado por G. Löf, 1957. El absorbedor consiste en una serie de pequeñas placas de cristal superpuestas como tejas en un tejado. Un tercio de cada placa está pintado de negro y se colocan de forma tal que cada parte negra queda debajo de dos placas transparentes. Todo el conjunto se ubica en una caja aislada y la parte superior se cubre con una lámina transparente. El aire frío que penetra por abajo atraviesa las láminas superpuestas y sale por arriba calentado.

1.4.- Rendimiento de Colectores de Placa Plana.

El rendimiento de un colector solar está determinado por la relación entre la cantidad de calor que abastece y la cantidad de radiación solar utilizable.

Naturalmente, el rendimiento es afectado por :

- factores climáticos : las variaciones de la radiación solar disponible, el tipo de radiación incidente (difusa o directa), la temperatura del aire exterior y la velocidad del viento.
- También inciden los factores de diseño del colector. Su eficiencia será mayor si :
 - Se maximiza el coeficiente de transmisión de la cubierta.
 - Se minimizan las pérdidas térmicas por conducción y convección.
 - Se maximiza el coeficiente de absorción de la placa.
 - Se minimiza el coeficiente de emisión para ondas largas.
 - Se maximiza la transferencia de calor entre la placa y el elemento caloportador.
 - Se mantiene a un nivel mínimo útil la temperatura del elemento caloportador.

Habría que tener en cuenta, además, que el rendimiento del colector no es constante durante el día; en efecto, el colector en sí - deberá ser calentado por el sol de la mañana hasta alcanzar una temperatura de régimen, cuando la inercia térmica del sistema ha sido sobrepasada y alcanza su máximo rendimiento en las primeras horas de la tarde, cuando el salto de la temperatura de trabajo es menor.-

El rendimiento estará también afectado por las condiciones de utilización, la velocidad de evacuación del calor y el rango de la temperatura necesaria al funcionamiento de un sistema dado.-

Cuanto menor es el salto de temperatura necesario, mayor será el rendimiento del colector.

Por ejemplo, la calefacción de una pileta exige que el fluido caloportador tenga una temperatura de salida de 10 a 20°C superior a la del aire exterior.

Por el contrario, los aparatos de climatización que funcionan con energía solar exigen que la temperatura de salida del fluido caloportador, debido al sistema de absorción, sea superior a los 90°C. La calefacción de una casa será eficaz con temperaturas de salida de 15° a 30°C superiores al aire exterior.

En el orden práctico, interesa obtener las curvas de rendimiento de los colectores para poder compararlos entre sí. Estas curvas se obtienen mediante la medición de los rendimientos instantáneos. El verdadero rendimiento diario será inferior entre un 10 y 20% del valor dado para el rendimiento instantáneo. Esto se debe a los diferentes ángulos de incidencia que durante el día tendrán los rayos solares sobre la cubierta, a la velocidad variable del viento y a los diferentes estados de nubosidad que se produzcan a lo largo del día. Una curva típica de rendimiento de un colector es la que indica la figura Nº 10 VII VIII. Las curvas de rendimiento muestran, por ejemplo, que los colectores con capa selectiva y con vidrio simple son más eficaces que los colectores con doble vidrio, pero simplemente pintados de negro. Entre todos los colectores sometidos a las pruebas, el mejor rendimiento ha sido obtenido por un colector en donde todos los vidrios han sido tratados con una capa antirreflectiva.

En nuestro país funciona un banco de pruebas de colectores que está ubicado en San Miguel bajo jurisdicción de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.-

1.5.- Consideraciones y recomendaciones generales acerca de colectores de agua y de aire.

En los colectores de agua el material para cañerías más durable es el cobre, que podrá fijarse sobre un absorbedor de cobre o de aluminio. Si se emplea aluminio para el absorbedor, puede producirse corrosión galvánica con respecto a una cañería de cobre.-

Es preferible hacer uso de un sólo metal en la fabricación del colector y del circuito de canalización.

Cuando se emplean metales diferentes y están en contacto deben -

ser separados por uniones no metálicas o dieléctricas. El material más utilizado, a causa de su bajo costo, es el acero galvanizado, aunque representa un valor menor de conducción de calor.

A pesar de que es térmicamente menos eficaz que el agua, el aceite puede ser utilizado en los calefactores para evitar el riesgo de corrosión en cañerías (sobre todo cuando se emplean cañerías de hierro galvanizado).

En los sistemas de agua, el calor es conducido fácilmente desde los colectores al acumulador por conductos de pequeño diámetro, con la ayuda de una bomba que consume menos electricidad que los ventiladores necesarios para la circulación del calor en los sistemas de aire.

Esto es una ventaja para los sistemas con líquidos especialmente para los grandes edificios o en construcciones existentes.

Otra ventaja de los sistemas colectores de agua proviene del hecho de que un recipiente de acumulación conteniendo al líquido ocupa mucho menos lugar que su equivalente en piedras (como el empleado en los sistemas de aire).

Los colectores de agua presentan, sin embargo, dos inconvenientes en relación a los sistemas de aire : se trata de los problemas de congelamiento y la corrosión, aunque esto es posible de remediar con una instalación y mantenimiento adecuados.

Cuando hay peligro de congelamiento es necesario introducir una mezcla anticongelante en el circuito de colección, o drenar automáticamente los colectores. Naturalmente los circuitos de este tipo deben cerrarse para evitar que el anticongelante penetre en el circuito de agua potable, porque puede ser tóxico. Es recomendable hacer uso de un anticongelante no tóxico como el propileno-glicol, con la condición de que sea compatible con el metal empleado en el colector.

1.6.- Colectores perfeccionados.

Los colectores solares de alto rendimiento son los más indicados para utilizar cuando no se puede ubicar en forma óptima una gran superficie de colección en un edificio.

Por el nivel de temperatura que pueden alcanzar, son apropiados para los sistemas de climatización o sea para refrigeración.-

Cualquiera sea el tipo de colector, la cantidad de radiación que puede recibir depende obviamente, de las condiciones climáticas. Sin embargo, la cantidad de calor que un colector puede efectivamente tomar de la radiación incidente es muy variable según la concepción de este colector.-

Los sistemas que ahora vamos a ver permiten aumentar el rendimiento de la colección, reduciendo o eliminando una o muchas de las causas de pérdidas de calor que son inherentes a los colectores planos clásicos.

Una de las causas es la pérdida de calor convectivo por la presencia del aire, entre el vidrio y el absorbedor.

Las modificaciones en la concepción de un colector plano permiten reducir las pérdidas térmicas por convección. Esto se logrará creando el vacío en el espacio que separa el vidrio del absorbedor, lo que elimina las pérdidas por convección y acrecentando el factor aislante de este espacio.

Otra fuente de pérdida de calor proviene de la concepción del absorbedor como tal, y de las propiedades de conducción térmica de los tubos o de los conductos que permiten al fluido caloportador (agua y aire) coleccionar el calor.

En los sistemas de colección perfeccionados, se ha tratado de que la radiación solar esté concentrada directamente en los conductos en sí mismos, lo que permite la transferencia y la evacuación más eficaz del calor.

La tecnología empleada para su fabricación es similar a la que se emplea para producir tubos fluorescentes.

a) Colector tubular de Owens-Illinois (Sunpack)

Está constituido por tres tubos de vidrio ubicados uno dentro del otro. El nombre de "tubo al vacío" que a menudo se da a colectores de esta especie, proviene de su característica principal: el vacío creado entre el absorbedor y el tubo exterior. (Fig. 11- VII VIII).

El tubo interior permite la "alimentación" del colector con agua fría por uno de sus extremos. El líquido caloportador recoge el calor solar corriendo en el segundo tubo que constituye el absorbedor.

Este último está recubierto por una capa selectiva a fin de acrecentar la ganancia de calor. El tercer tubo al exterior juega el rol de envoltorio vidriado. El espacio entre el tubo absorbedor y el tubo exterior está bajo vacío, lo que elimina las pérdidas por convección y el problema de la condensación. Como la entrada y la salida del líquido se encuentran del mismo lado, cada tubo está simplemente enanchado por una extremidad sobre una tubería de alimentación.

b) Colector tubular Phillips

También en este caso, un tubo absorbente está ubicado al vacío en el interior de un tubo transparente. Contrariamente al sistema Sunpack que emplea una superficie plana detrás para reflejar una cierta parte de la radiación sobre el absorbedor, este sistema, se sirve de la superficie posterior del tubo exterior como superficie reflejante (Fig. 12 VII VIII).

La cara interna de los tubos de vidrio está metalizada, con el fin de concentrar los rayos reflejados en el tubo absorbedor.- Esto, por una parte, elimina las pérdidas térmicas hacia la parte posterior del absorbedor (situación no resuelta en el caso de los colectores planos), y por otra parte provee temperaturas mucho más elevadas a nivel del tubo absorbedor.

c) Colector tubular Sanyo

Es más simple, comparando con los anteriores y por lo tanto más económico.

También se ha producido vacío en el interior de los tubos de vidrio templado y recuperan el concepto de aleta que ya ha sido visto en los colectores planos. Esta aleta actúa como absorbedor de la energía solar y la transfiere al tubo interior por donde circula el agua. No hay superficies espejadas que lo encarezcan pero sí tiene superficies selectivas sobre la cara expuesta.

Puede colocarse prácticamente en forma horizontal o vertical porque el ángulo necesario se consigue rotando la aleta dentro del tubo, hasta ubicarla en la posición adecuada. No hay que mover el panel sino simplemente rotar cada tubo según la latitud del lugar. Los tubos evacuados se ubican de E. a O. con la aleta orientada al N. El vacío requerido en su interior no es demasiado alto, por lo que se simplifica su tecnología de construcción.

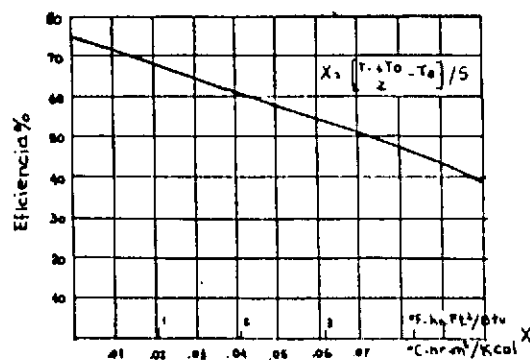
Se obtienen temperaturas de 90°C con un 64% de eficiencia, mientras que en un colector plano las temperaturas oscilan entre $55-60^{\circ}\text{C}$ con 40% de eficiencia.

Esto se logra tanto con el vacío, ya que se disminuyen las pérdidas por convección del aire en movimiento como la eliminación de las pérdidas de conducción por la caja, la aislación, etc. - Las únicas que permanecen son las pérdidas por radiación.

Generalmente se proveen formando paneles (2,83 m. de largo; 0,98 m. de ancho y 0,15 m. de espesor) y pueden usarse con-

COLECTORES SIN CONCENTRACIÓN:

Fig.10-VII VIII: Rendimiento de colectores de placa plana.



COLECTORES PERFECCIONADOS:

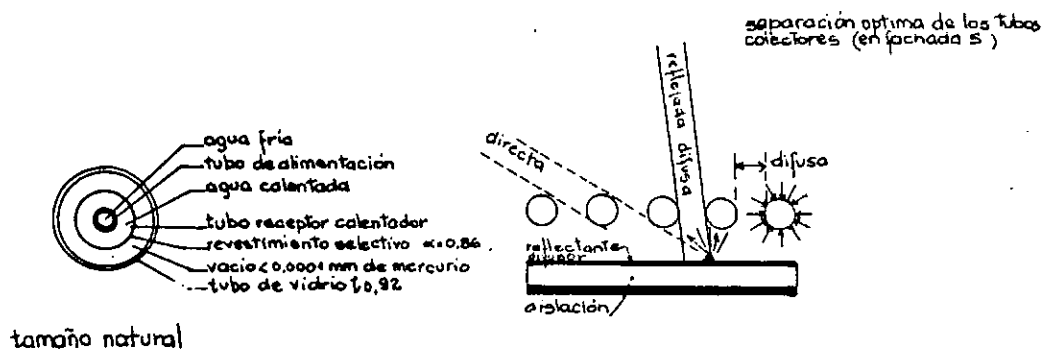


Fig.11-VII VIII: TUBO COLECTOR OWENS-ILLINOIS

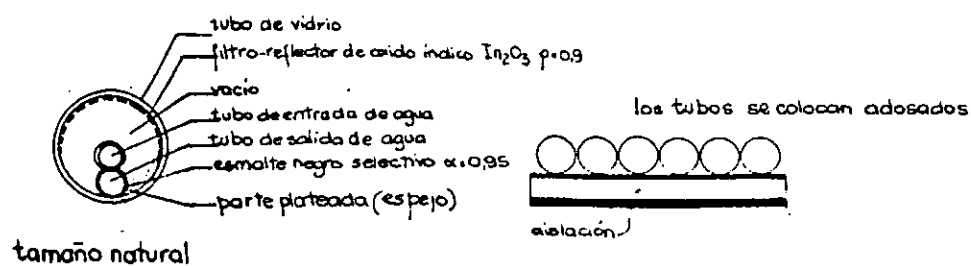


Fig.12-VII VIII: TUBO COLECTOR PHILLIPS

formando pérgolas, palerfas, parasoles, etc. (como en el caso del proyecto de EPEC, mostrado en Módulo IV).

Este sistema de colectores tubulares presenta otra ventaja en relación a los colectores planos.

Los tubos, recibiendo una radiación proveniente de todas direcciones, reducen las pérdidas de calor por reflexión. Además, absorben una mayor parte de la radiación difusa que los colectores planos. Por esta razón, permiten aprovechar mejor el sol al comienzo de la mañana y al fin de la tarde.

1.7.- Colectores de mediana temperatura (Heat Pipe)

Estos colectores permiten unificar los consumos de calefacción y de agua caliente. Por lo general, se requiere 55 a 60°C para provisión de agua caliente y 30 a 35°C para calefacción. Por lo tanto se hace necesario tener colectores distintos para cada uso, acumuladores separados y distribuciones también diferenciadas. Sin embargo, es más simple tener sistemas unificados para lograr esto se utilizan colectores de media o alta temperatura.

El heat pipe es un colector de mediana temperatura que funciona aprovechando los cambios de fase, es decir el calor latente de los fluidos.

Consiste en un tubo aletado por dentro para aumentar la superficie de contacto con el fluido.

El fluido contenido en la zona inferior (llamada zona de vaporización) está en estado líquido y absorbe calor hasta vaporizarse. El vapor asciende a través de una zona fuertemente aislada y al llegar a la zona de condensación, un intercambiador le permite transferir el calor a otro fluido que hace de caloportador. Al perder calor latente el fluido se condensa y desciende en forma líquida (simplemente por gravedad) por dentro de las estrías hacia la zona inferior y así recomenzar el ciclo.

En síntesis es un circuito de cambios de fase, todo contenido en un tubo; donde se aprovechan las diferentes situaciones a los efectos de obtener distintas temperaturas.

Se arma como un colector plano con doble vidrio, muy bien aislado y con los tubos tipo "heat pipe" adentro. Generalmente se usa como cubierta transparente una capa doble de plástico extruido de alta resistencia a los rayos ultravioletas (tipo qualex Policarbonatos).

2.- La acumulación de la energía solar.

La característica intermitente de la Energía Solar, debida a la alternancia día-noche y a la nubosidad, conduce a la necesidad de utilizar un almacenamiento térmico de la energía recibida durante las horas de asoleamiento.- La restitución de esta energía almacenada debe cubrir las necesidades nocturnas de la habitación y, también en la medida de lo posible, las necesidades de las jornadas sin sol.

Los sistemas de almacenamiento posibles son muy diferentes, según se trate de almacenar energías para algunas horas, algunos días, o toda una estación.

Para que una habitación sea calefaccionada únicamente por el sol será necesario prever un almacenamiento estacional, situación ésta sumamente compleja por las pérdidas térmicas que un acumulador tiene para períodos largos y el enorme costo que esto significa. Esto hace pensar en términos prácticos en almacenamientos previstos para no superar las 24 a 48 horas. La casa solar 100% es antieconómica y en la mayoría de los casos se considera suficiente ahorro energético cuando con energía solar se cubre el 60 ó 70% de las necesidades y el resto se obtiene de alguna fuente energética convencional.

Se puede prever el almacenamiento térmico de la Energía Solar bajo la forma de calor sensible, de calor latente o de ambas formas combinadas.

2.1.- Acumulación térmica bajo la forma de calor sensible.

La energía térmica se almacena bajo la forma de calor sensible en algunos materiales (piedra o agua entre los más comunes), y luego puede ser transferida al aire o, como en el caso del agua se la hace circular por cañerías instaladas en los locales a calefaccionar. La temperatura de almacenamiento y de devolución son variables; esto es un inconveniente que obliga en muchos casos a realizar procesos de mezclas, pre-calentamientos, post-calentamientos, etc. El agua tiene un gran calor específico, su valor es de 1 Kcal/Kg°C; siendo perfectamente adaptada al almacenamiento térmico con la ventaja de jugar el rol de fluido caloportador, pero su baja densidad - hace necesario un volumen de almacenamiento importante; sobre todo si se lo compara con los volúmenes necesarios para los materiales que funcionan por calor latente de transformación. La utilización del agua como almacenador térmico es la más frecuente, fundamentalmente debido a su bajo costo y porque permite utilizar los depósitos y circuitos de circulación que son clásicos en los sistemas de calefacción.

En un depósito ordinario, el agua se enfría a través de las paredes, del depósito hacia el aire circundante. El agua más fría baja y la más caliente sube, produciendo una circulación rápida con pérdidas de calor a pesar de la conductividad térmica baja; los depósitos - compartimentados pueden reducir las pérdidas de calor.

Para la utilización práctica del calor almacenado en depósitos de agua, es necesario utilizar una bomba y energía eléctrica.

En climas fríos se corre el riesgo de heladas. Si el fluido calportador es el aire, el modo más apropiado para almacenar la energía será un lecho de piedra o muros de hormigón o albañilería.

En sí los depósitos de piedra tienen muchas ventajas en cuanto a almacenar el calor transportado por una corriente de aire caliente.-

El intercambio rápido de calor queda asegurado por el gran área superficial de las piedras y el difícil camino que ha de recorrer el aire.

La conductividad de un depósito de piedras, con un tercio de su volumen ocupado por aire, es muy baja porque son muy pequeñas las áreas de los puntos de contacto y la circulación del aire es dificultosa.

La capacidad calorífica de la piedra es notablemente inferior a la del agua, pero su densidad es superior, resultando que un volumen determinado de piedra sólida puede almacenar aproximadamente un tercio del calor almacenado en el mismo volumen de agua 320 Kcal por grado centígrado en un m³ de piedra compacta y 1.000 Kcal por grado centígrado en un m³ de agua). (La cifra para depósitos de - piedra con espacio de aire entre ellas es menor).

2.2.- Evaluación del volumen de almacenamiento.

La cantidad de calor almacenado es proporcional a la diferencia de temperatura, a la masa y al calor específico de la sustancia. Cuando el material utilizado es agua, el cálculo aproximado del volumen de almacenamiento necesario, dentro de un depósito supuestamente no estratificado en temperaturas es igual a :

$$m \cdot C_p \cdot \frac{d}{d} \frac{T_s}{\theta} = Q - L - K_S (T_s - T_e)$$

siendo :

m = masa de agua

Cp = capacidad calorífica

Ts = temperatura de almacenamiento supuesta uniforme.

- τ = tiempo
 Q = potencia solar media.
 L = potencia necesaria de calefaccionamiento.
 K = coeficiente de pérdida superficial del depósito.
 S = superficie del depósito.
 T_e = temperatura exterior del ambiente donde se ubique el acumulador.

(Ver Fig. 13 VII VIII)

El presupuesto básico de esta fórmula acarrea ciertos errores, pues la primera situación que se produce dentro de un acumulador es la estratificación de temperaturas internas y las corrientes convectivas que este hecho genera, lo cual redundará en un aumento de las pérdidas totales.

(Ver Fig. 14 VII VIII)

El τ establece el intervalo de tiempo para el cual deberá ser previsto el acumulador.

En ese período de tiempo se deberá tener en cuenta las diferentes temperaturas del acumulador entre el momento inicial y el momento final del cálculo. O sea que para un ejemplo de 30 días la fórmula sería :

$$m. Cp \frac{T_{s2} - T_{s1}}{30} = Q_1 - L_1 - K.S \left[\frac{(T_{s2} - T_{s1})}{2} - T_e \right]$$

donde : Q_1 , L_1 , T_e significan las medidas mensuales jornalizadas de las expresiones de la fórmula anterior.

y T_{s1} , temperatura de almacenamiento al fin del ciclo del mes.

y T_{s2} , temperatura de almacenamiento al comienzo del mes.

Esta ecuación presenta algunas incógnitas, y si el período se extiende más de un mes, el grado de incertidumbre aumenta en forma exponencial. La forma práctica de resolverlas consiste en fijar algunos parámetros, por ejemplo la temperatura mínima útil aceptable dentro del acumulador al final del período, y con este dato verificar la ecuación con otras variables (básicamente m y KS), que se podrán ir cambiando hasta encontrar la fórmula más conveniente.

ALMACENAMIENTO TERMICO BAJO LA FORMA DE CALOR SENSIBLE

Fig.13-VII VIII:Esquema de un acumulador.

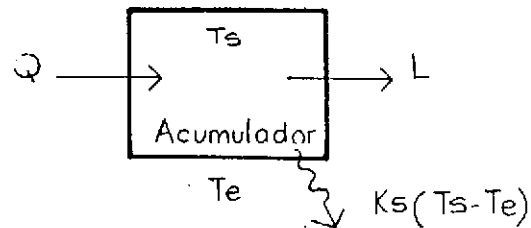


Fig.14-VII VIII:Restitución de la energía acumulada, en un intervalo de tiempo A - B

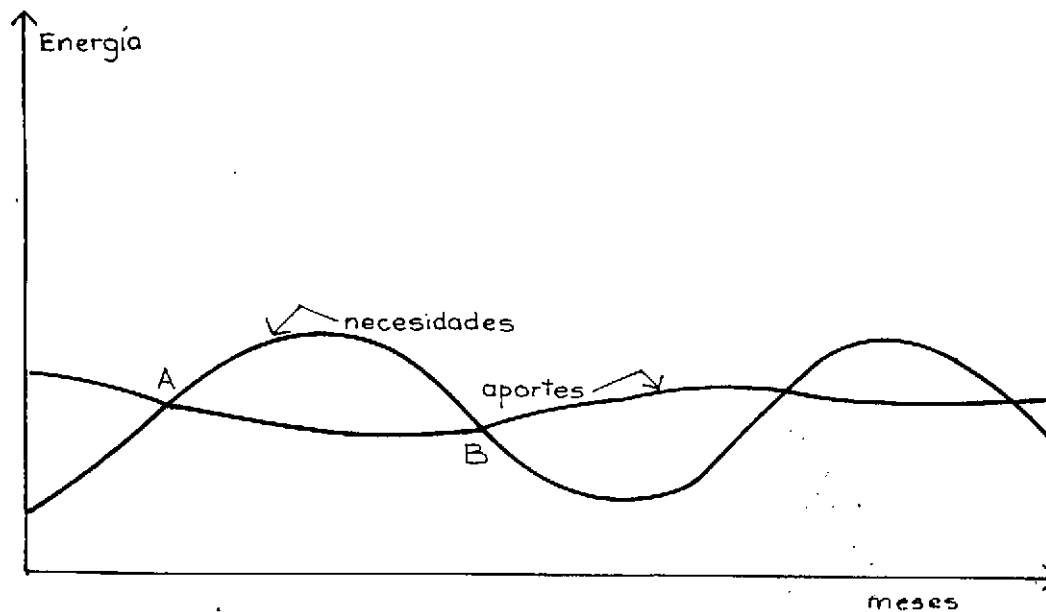
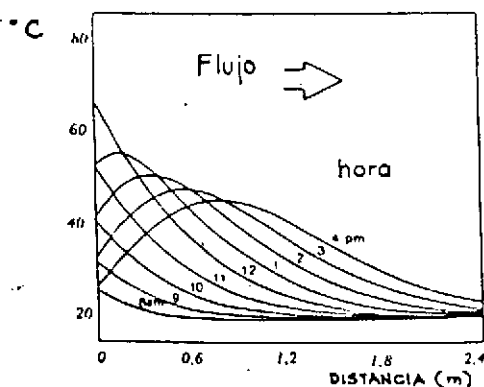
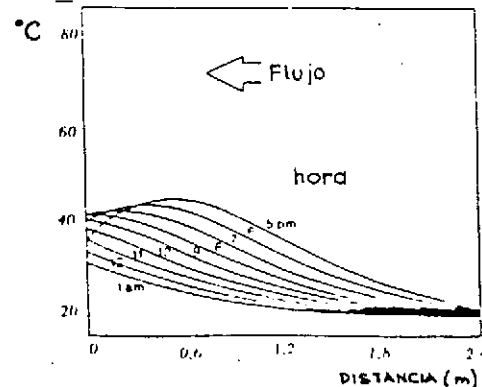


Fig.15-VII VIII:Distribución de temperaturas en un lecho de piedras



Caso a = período de carga



Caso b= período de extracción

Como hemos dicho anteriormente, es conveniente prever el almacenamiento nada más que para cubrir las necesidades de algunos días (se pueden tomar de los datos meteorológicos las series más largas de días sucesivos con baja insolación).

El estudio del almacenamiento calórico en un lecho de piedras es mucho más difícil, ya que el aporte de calor es obtenido por el intercambio convectivo entre el aire que se hace circular y las superficies complejas de intercambio de las piedras. En efecto, el aire caliente circula entre los huecos dejados por los cantos rodados, calentando a éstos. Cuando se desea recuperar el calor, el aire frío se recircula en contracorriente, obteniéndose aire caliente a la salida del lecho. (Fig. 15 VII VIII).

Al igual que en un acumulador de agua, es posible modificar diversos parámetros para obtener también aproximaciones sucesivas. Entre los parámetros que se pueden modificar está la masa total y el tamaño de las piedras utilizadas, el caudal del aire que las atraviesa y la pérdida mayor o menor que sufra el recinto acumulador. Además hay que tener en cuenta que se necesitará algún mecanismo (ventilador) que impulse el aire a través de las piedras y que consume por sí mismo energía.

En cuanto al coeficiente volumétrico de transferencia térmica en un lecho de piedras, hay dos aproximaciones que son las más utilizadas : una es la de Lof y Hawley que establece que :

$$h_v = 650 \left(\frac{G}{D} \right)^{0.7}$$

siendo :

h_v : coeficiente volumétrico de transferencia medido en $W/m^3 \text{ } ^\circ C$

G : velocidad másica por unidad de superficie $Kg/seg.m^2$.

D : diámetro esférico equivalente de las partículas en metros, representada por la ecuación :

$$D = \left[\frac{G}{\pi} \cdot \frac{\text{vol. neto de las partículas}}{\text{número de partículas}} \right]^{1/3}$$

Una aproximación mayor hecha experimentalmente a esta fórmula es la realizada por Mandal y Mahashwari, que dice :

$$h_v = 687 \left(\frac{G}{D} \right)^{0.74}$$

Una de las condiciones de cumplimiento de estas fórmulas experimentales es que la temperatura interna de la piedra sea aproxima-

damente la misma que la de la superficie. Esto establece la conveniencia de utilizar piedras esféricas y con diámetros entre 2 y 5 cms. Para el almacenamiento de calor en gran escala, los depósitos de agua o de piedra se colocan enterrados, ya que la conductividad del suelo es baja (particularmente si está seco) y se puede recuperar parte del calor cedido a la tierra si se pasan agua o aire más fríos a través del depósito.

En depósitos pequeños, la cantidad de calor que absorbe el terreno puede ser demasiado grande.

2.3. Acumulación térmica bajo la forma de calor latente.

Esta forma de acumulación se produce cuando la energía se acumula en materiales que cambian de fase al calentarse. Cuando se realiza esta transformación, los materiales absorben -bajo la forma de calor latente- una importante cantidad de energía que luego se recuperará al enfriarse (junto con el calor sensible de calentamiento) al producirse la transformación inversa.

En aplicaciones de energía solar la transformación más experimentada es la fusión (pues la vaporización necesita volúmenes más importantes) y por lo general se han utilizado diversas sales que funden a temperaturas bajas.

La transformación se hace siempre dentro de los mismos rangos de temperatura; la acumulación y la restitución durante el cambio de fase tienen lugar a temperatura constante. La cantidad de calor acumulada es proporcional a la masa de material y al calor latente de fusión.

La ventaja de usar estos métodos radica en que el volumen de material necesario es pequeño porque el calor latente de fusión es mucho más grande que el calor específico.

(Ver Fig. 16 VII VIII).

Por ejemplo, para el agua :

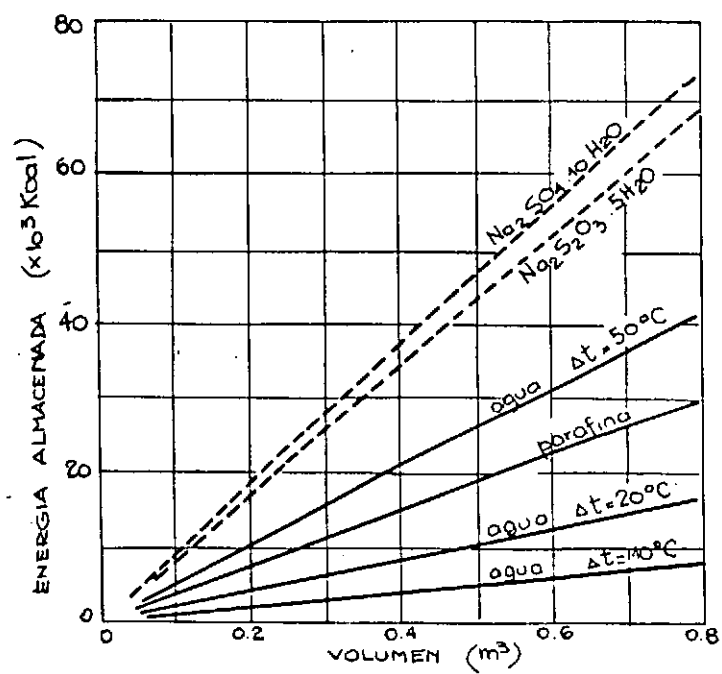
$$\frac{\text{calor latente de fusión}}{\text{calor específico}} = 80$$

Esto significa que la transformación de 1 litro de hielo a 0°C, en agua a la misma temperatura absorbe tanta energía como la que se necesitaría para elevar la misma masa de agua de 0°C a 80°C.

Las sustancias con cambio de fase que se han utilizado más asiduamente ofrecen varias ventajas. En primer lugar la temperatura de almacenaje puede bajar, reduciéndose las pérdidas por conducción de calor, que son proporcionales a la diferencia de temperatura en

ACUMULACION TERMICA BAJO LA FORMA DE CALOR LATENTE

Fig.16-VII VIII: Comparación de los volúmenes requeridos para tres materiales con cambio de fase y para el agua con distintos saltos de temperatura.



tre la sustancia de almacenamiento y la temperatura ambiente. Además, los volúmenes y masas de almacenamiento por unidad de calor almacenado son considerablemente más pequeños que en el caso de almacenaje por acumulación de calor sensible.

La baja temperatura de fusión necesaria con las sustancias que se han experimentado, así como la constancia de la temperatura en la que se produce la transformación, tiene como ventaja adicional la reducción de las superficies de colección, al trabajar los colectores en condiciones de mayor rendimiento.

Por otra parte, entre las desventajas podemos citar que las sustancias con cambio de fase deben estar contenidas en recipientes herméticamente cerrados, especialmente diseñados, que permitan el suficiente transporte de calor y de masa. Por lo general, problemas de transferencia de calor hacen que sean necesarios recipientes - que tengan una gran superficie de contacto entre la sustancia y el medio a calentar.

Como ejemplo, la velocidad de recristalización de la sal de Glauber es lenta y esto limita la velocidad a la cual el calor puede ser extraído. En las parafinas pueden existir problemas de inclusiones de aire durante la solidificación, causando un gran aislamiento térmico que empobrece el transporte de calor; a esto se agrega que las parafinas son conductores pobres.

Otra desventaja importante en muchas sustancias con cambio de fase es la de su elevado costo, más aún considerando que el agua y las piedras son virtualmente gratuitas.

Los materiales se elegirán sirviendo algunos criterios termodinámicos, cinéticos y económicos :

- a) La temperatura de fusión debe estar adaptada al rango de utilización :
 - de 5 a 15°C - acumulación fría (climatización).
 - de 45 a 55°C - para la calefacción por distribución del aire.
 - de 45 a 80°C - para la calefacción por distribución del agua.
 - de 90 a 120°C - para la refrigeración por absorción.

- b) El calor latente de fusión debe ser lo más grande posible, a título comparativo es de 80 Kcal para el agua.

K_g.

Para los otros materiales considerados en este estudio los calores latentes se sitúan entre 40 y 60 Kcal.

K_g.

ACUMULACION TERMICA BAJO LA FORMA DE CALOR LATENTE

Tabla I - VII VIII Propiedades de las sales hidratadas utilizadas para el almacenamiento de calor latente. (Referencia: María Telkes).

NOMBRE	Fórmula Química	Punto de fusión (°C)	Calor de fusión (Kcal/Kg.)	Densidad (Kg/m3)	Calor latente de Reacción (wh/Kg.)
Cloruro cálcico hexahidratado	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	29-39	41,7	1634	48
Carbonato de sodio	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32-36	59,9	1442	74
Fosfato sódico dodecahidratado	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	36	63,4	1522	73
Nitrato cálcico tetrahidratado	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	39-42	33,4	1826	58
Sulfato sódico decahidratado	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	31-32	57	1554	67
Tiosulfato sódico pentahidratado	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	48-49	50	1666	50

- c) La fusión debe ser congruente : a la temperatura de fusión, el compuesto debe estar totalmente fundido, cuando se trata de una fusión no congruente nos encontramos ante la presencia de dos compuestos no miscibles.
- d) No debe haber sobrefusión : el material no debe quedar en la fase líquida por debajo de la temperatura de fusión.
- e) Estabilidad : las propiedades químicas no deben evolucionar durante 10 a 20 años.
- f) Estos materiales no deben reaccionar con el envase que los contenga ni con el fluido caloportador.
- g) Para prevenir las consecuencias derivadas de la ruptura accidental del recipiente o del intercambiador, deben ser antiinflamables, no tóxicos, y no corrosivos.
- h) No deben ser caros. Este último criterio depende de la producción actual y de su posible desarrollo. A partir de estos ocho criterios se han estudiado muchos compuestos dentro de los cinco tipos siguientes :
 - Las sales minerales hidratadas.
 - Los compuestos orgánicos.
 - Las mezclas eutécticas orgánicas.
 - Las sales minerales anhidras.
 - Los metales y aleaciones.
 - Los clatratos y los semi-clatratos hidratados.

2.3.1. Las sales hidratadas

Algunas responden a los tres primeros criterios. Solo las sales hidratadas por fusión congruente, semi-congruente y sus compuestos eutécticos serán tenidos en cuenta, porque ellos se funden a una temperatura fija.

La fusión de las sales hidratadas se hace en dos tiempos : primero se produce la disociación en una sal anhidra más agua y luego la solución de la sal en el agua.

El punto de fusión de estas sales es superior a la del agua, porque la primera reacción es endotérmica. (Ver tabla I - VII VIII).

Ejemplo : sulfato de sodio decahidratado y sus compuestos. Un trabajo intensivo ha sido desarrollado sobre el $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (Sal de Glauber) y sus compuestos a causa de su bajo costo y de su alto calor latente de fusión.

En efecto, los cristales de la sal de Glauber cambian de fase, o sea, comienzan a deshidratarse a $32,3^\circ\text{C}$. Cuando la temperatura es mayor se forma una solución de sal anhidra que absorbe el calor, y al bajar la temperatura de los $32,3^\circ\text{C}$, la sal anhidra reacciona con el agua y produce calor. El calor de reacción (punto de fusión) es de 57 Kcal de sal hidratada.

Las sales pueden ser utilizadas para la acumulación; ya sea para la calefacción de locales o la climatización (combinándolos con otras sales con el fin de bajar su temperatura de fusión).

2.3.2. Compuestos orgánicos y mezclas eutécticas (*)

Entre los numerosos compuestos orgánicos testados la parafina P116 (SUNOCCO) ha sido considerada prometedora para la acumulación solar destinada a la calefacción. (Punto de fusión 47°C).

Se observa que luego de 80 transformaciones aparecen deterioros.- Para la climatización, el compuesto más prometedor es la parafina C 15-C 16 (ENJAY), sub-producto de la fabricación del Kerosene.- (Punto de fusión 50 a 10°C).

2.3.3. Clatratos y semi-clatratos hidratados.

Estos materiales han sido utilizados durante muchos años para la acumulación térmica, tienen la estructura del hielo estabilizado a temperatura ambiente por la inclusión de moléculas orgánicas.

Para la elección de aquéllos que puedan ser utilizados en la acumulación se eliminan los clatratos por fusión no congruente, los de punto de fusión demasiado bajo, los corrosivos, etc.

2.4. Criterios de elección para un acumulador.

Resumiendo, los criterios intervinientes en la elección de un acumulador son :

- el rango de temperatura en el cual debe funcionar. Dependerá de la aplicación concreta.
- su capacidad : dependiente de la máxima duración elegida para

(*) Eutéctico : mezcla química fundible o solidificable a temperatura constante inferior al punto de fusión de cada constituyente.

- ra la restitución (corto, mediano o largo plazo).
- confiabilidad : regulación de la temperatura y del tiempo de - restitución (o no regulación, es decir adaptación de la calefacción del habitat a lo solar y del solar al confort tradicional - "Impuesto".)
- estabilidad : características del material después de muchos ciclos de carga y descarga.
- pérdidas mínimas : Aunque las pérdidas del acumulador son recuperables bajo la forma de aportes no regulados si aquél forma parte integrante del habitat.).
- costo del sistema : que comprende el precio del recipiente y su aislación, del material en sí mismo, del sistema de distribución y del espacio donde está localizado el acumulador.

2.5. Criterios de elección para el material acumulador.

a) Para los materiales más prometedores de calor latente de transformación.

. Los compuestos de sulfato de sodio decahidratados pierden lentamente su capacidad térmica a causa de su fusión no concurrente.

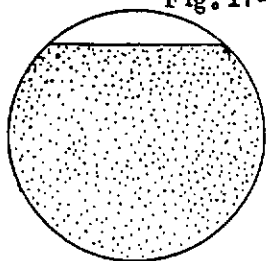
. Las parafinas SUNOCO P 116 y ENJAY C 15 - C 16 son perfectamente adaptadas, respectivamente, a la calefacción y a la climatización. El único inconveniente, que se puede evitar adaptando la geometría del recipiente, es que su volumen disminuye el 10% al enfriarse (como los clatratos y semicladratos, cuyo estudio profundizado no se ha realizado aún). Estas parafinas son interesantes desde el punto de vista económico.

b) Para los materiales a calor sensible.

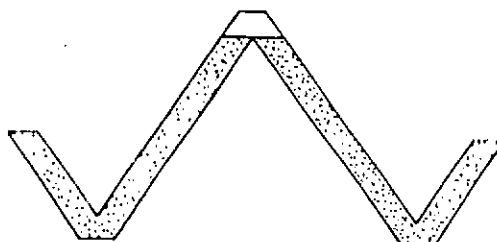
El agua está perfectamente adaptada al acumulador térmico y puede servir de fluido caloportador. Mientras que si el aire es el fluido caloportador la acumulación en un lecho de piedras o en la mampostería es el más indicado. El volumen de acumulación es mucho más importante que para los materiales a calor latente de transformación. (Ver tabla 2 - VII VIII).

ACUMULACION TERMICA

Fig.17-VII VIII: Formas de recipientes para parafinas



CASO A



CASO B

En el caso A, la superficie en contacto con el medio es pequeña en relación al volumen. En el caso B, además de mayor superficie de contacto, disminuye la posibilidad de una mezcla de substancia-aire dentro del recipiente.

Tabla II - VII VIII: comparativa de propiedades para tres materiales usados en la acumulación térmica.

		Agua	Canto rodado	Na ₂ S ₂ O ₃ 5H ₂ O	
				fase sólida	fase líquida
Calor específico $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$		1,02	0,2	0,35	0,6
Tiempo de fusión (°C)		—	—	50	
Calor de fusión $\frac{(\text{cal})}{\text{g}}$		—	—	50	
Densidad $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$		1,0	2,3	1,7	
Para almacenar 10^5 Kcal. Ej. 10 m^3 de gas	Salto de 1 cm °C	10	10	—	
	Peso (ton.)	10	50	2	
	Peso relativo	5	25	1	
	Volumen (+20% conductos) (m ³)	12	25,5	1,5	
	Volumen relativo	8	17	1	

3.- Distribución del calor.

Las temperaturas obtenidas por los sistemas de colección solar y de acumulación de calor varían considerablemente en función del clima y de los rendimientos de la colección y de la acumulación. En el caso de colectores utilizados para la calefacción de viviendas, las temperaturas deberían situarse alrededor de los 20 a 30°C por encima de la temperatura del aire exterior en los días soleados.

Si los colectores están ubicados relativamente próximos a la unidad de acumulación, la mayor parte del calor es transferida al acumulador sin pérdidas importantes, ya que las pérdidas a través de los conductos son recuperadas por los ambientes a calefaccionar en el interior de la casa.

Durante el invierno, y en climas fríos, las temperaturas medias de un acumulador se pueden medir entre 30 y 50°C.

Las temperaturas obtenidas con las calderas clásicas van de 60°C en el caso de sistemas a aire, a 80°C para los sistemas a agua con radiadores.-

Los 30 a 50°C de los sistemas de calefacción solar imponen problemas particulares a los métodos de distribución de calor, los que deberán ser tenidos en cuenta al proyectar la vivienda y la instalación solar.

3.1. Distribución por aire forzado.

Este sistema es el que ha sido más utilizado en sistemas de calefacción solar.

Con el fin de transportar eficazmente el aire a baja temperatura, se utilizan conductos de dimensiones más grandes que en el caso de una calefacción clásica con combustibles, y cuanto más baja sea la temperatura del aire a distribuir, más anchos deberán ser los conductos de distribución.

La distribución por aire caliente es el método más práctico de distribución para sistemas de colección y acumulación a aire y a veces se lo ha utilizado en los sistemas a agua. En este último caso, el agua caliente proveniente del acumulador circula en una serpentina, en tanto que el aire es impulsado por un ventilador a través de la serpentina, para obtener la transferencia de calor. Cuando se distribuye aire a baja temperatura en el interior de una vivienda, su consumo debe ser lento y regular.-

A una temperatura de 35°C, el aire proveniente de las rejillas de distribución parece a menudo más frío que lo que es en la realidad. Por esta razón las rejillas de distribución de un sistema de calefacción solar a aire deberían estar ubicadas allí donde el movimiento del aire es menos perceptible por los ocupantes, en particular cuando están sentados.

En la mayor parte de las casas, las rejillas de alimentación del aire caliente están situadas contra los muros exteriores y muy a menudo por debajo de las ventanas de donde proviene el aire frío. Este modo de calefaccionar, distribuyendo calor "desde abajo", será eficaz a condición de que la temperatura del aire sea por lo menos de 35°C (Fig. 18 a-VII VIII).

Otro método de distribución de calor en un sistema de aire forzado consiste en llevar el calor "por arriba". El aire frío que desciende a lo largo de los muros exteriores se recupera por las rejillas de retorno de aire ubicadas abajo de las ventanas (Fig. 18 b - VII VIII).

Fig. 18-VII VIII : DISTRIBUCION DEL CALOR
SISTEMA A AIRE FORZADO

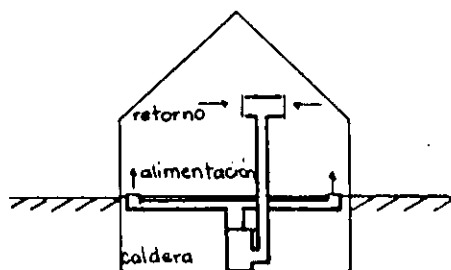


Fig. 18 a -VII VIII

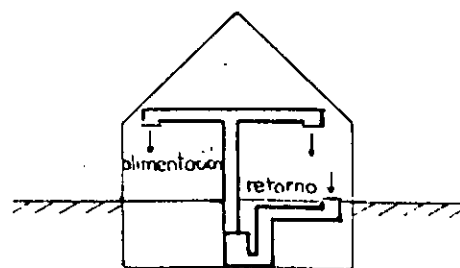


Fig. 18 b -VII VIII

Este método es interesante en la medida que no se oponga a la termocirculación natural del aire que se produce en los espacios abiertos en dos niveles o en las cajas de escaleras. La casa debe también estar aislada térmicamente y exenta de corrientes de aire frío, lo que se observa por arriba de los sótanos sin aislar y cerca de las entradas.

Con la instalación de un sistema de conductos de distribución con "alimentación alta y retorno bajo" la temperatura del aire abastecida por el acumulador puede ser de 30°C solamente, lo que permite disminuir la cantidad de calor almacenado en el sistema de acumulación solar.

3.2.- Distribución por radiadores a agua caliente.

Los sistemas de calefacción por radiadores a agua caliente que son instalados corrientemente en las casas no son eficaces con temperaturas de agua inferiores a 55°C . Esto se debe al hecho de que

las aletas de los radiadores están concebidas para funcionar a temperaturas superiores a un cierto límite.

Ya que las temperaturas medias provenientes de un acumulador de calor solar son más bajas que este límite, este método de distribución de calor no es generalmente recomendado para un sistema solar.

Sin embargo, visto el número de casas provistas de un sistema de calefacción por radiadores a agua caliente habría que poder utilizar colectores perfeccionados (capaces de mantener la temperatura de acumulación por arriba de 55°C), a fin de poder adaptar estas casas al uso de la calefacción solar sin modificar el sistema de distribución del calor.

Otra solución sería desarrollar radiadores dotados de grandes superficies radiantes, lo que constituiría un método de distribución de calor adaptado a los sistemas solares clásicos de colección y acumulación de agua.

3.3.- Distribución por pisos y techos radiantes.

Es un modo muy eficaz de distribuir calor a baja temperatura, por lo tanto puede ser empleado para la calefacción solar.

El sistema de piso radiante a agua caliente está constituido por una red de pequeños tubos contenidos en el hormigón del piso.

Por medio de bombeo se puede hacer circular agua a $30/40^{\circ}\text{C}$ de temperatura, y ella transferirá su calor a toda la superficie del piso.

En lugar de agua se puede hacer circular aire caliente, en conductos de hormigón ubicados debajo de un piso, o a través de un lecho de piedras recubierto por una losa de hormigón. En este caso aún con temperaturas de aire de 30°C , la temperatura del piso será conveniente.-

El calor recuperado en un invernadero o en una fachada vidriada orientada al norte de una casa, permite obtener temperaturas de aire superiores a 30°C , que a su vez podrán alimentar un sistema radiante.

También podrán ser efectivas cañerías para la circulación de agua, incorporadas a un cielorraso.

El defecto de la calefacción radiante comparada con otros sistemas de distribución consiste en la lentitud para calentar o enfriar la masa del piso o del techo, antes de calefaccionar o climatizar el ambiente previsto.-

Este defecto puede atenuarse con un sistema de control eficaz y con la evaluación exacta del volumen de cañería requerido.

Los sistemas de colección, de acumulación y de distribución ya vistos podrán estar combinados entre sí para adaptarse a condiciones específicas.-

4.- Sistemas activos.

Podremos encarar mejor el estudio de los sistemas activos si los dividimos en tres tipos fundamentales de utilización de la energía solar.

a) Sistemas de calefacción solar activos con colectores, sistema de acumulación y sistema de distribución integrados a la arquitectura.

b) Sistemas activos que alimentan un equipamiento de calefacción o climatización convencional.

En esta tipología el sistema activo utiliza la energía térmica solar como fuente de calor para hacer funcionar aparatos de calefacción o refrigeración mecánicos. En general se utiliza una bomba de calor que eleva la temperatura de un acumulador térmico a un nivel mucho más alto que lo que se obtiene con métodos tradicionales de distribución de calor. Esta tipología incluye también a los sistemas solares que utilizan la energía solar para hacer funcionar aparatos de refrigeración. - En este caso lo más difundido es el empleo de los equipos llamados de absorción.

c) Pilas solares fotovoltaicas para la conversión en electricidad.

Esta tipología, a diferencia de las dos anteriores, no es una aplicación solar térmica.

Utiliza pilas solares que convierten a la radiación en electricidad. Esto se denomina conversión fotovoltaica. La energía eléctrica obtenida puede ser convertida de corriente continua a corriente alternada, y también puede acumularse en baterías para ser utilizadas en iluminación o calefacción eléctrica. Esta última función es asegurada por radiadores eléctricos distribuidos convenientemente en una vivienda, o por una resistencia eléctrica insertada en un sistema de distribución de aire inyectado. Dado el alto costo que aún tienen los paneles (aprox. u\$s. 7 el watio pico en origen) es impensable el uso de la electricidad fotovoltaica en calefacción de viviendas. Por el momento sólo es rentable el empleo de paneles fotovoltaicos en situaciones de aislamiento y lejanía o en situaciones de inaccesibilidad que nada tienen que ver con edificios. (Radio-enlace, boyas, faros, etc.).

4.1. Sistemas de calefacción solar activos.

Los sistemas solares fototérmicos de calefacción pueden clasificarse en las siguientes tipologías.

a) Sistema de recuperación del calor doméstico, mediante acumuladores.-

El calor proveniente de la utilización de aparatos de cocina, de la chimenea, de las tuberías de la caldera, de las ventanas orientadas al sur, etc.

tadas hacia el sol, etc. puede servir para mantener un acumulador de piedras, por ejemplo, a temperaturas utilizables. También puede aprovecharse el sobrecalentamiento producido en locales ampliamente vidriados y bien orientados (invernaderos, por ejemplo). El aire sobrecalentado obtenido de esta manera puede ser conducido a un acumulador de piedra para su posterior aprovechamiento.

b) Sistema de colección y acumulación por aire caliente.

Ya hemos visto como funcionan estos sistemas en las páginas anteriores.

c) Sistema de colección y acumulación de agua.

c.1. Calentamiento de agua para uso doméstico.

La utilización de colectores solares para abastecer de agua caliente suele ser, hoy en día, la aplicación activa de la energía solar más económica y más expandida. Ella no necesita más que una pequeña superficie de colección y un acumulador.

En los sistemas por termosifón, el tanque deberá estar situado por encima del colector, y el agua fría del fondo del depósito se canalizará hacia la parte inferior del colector. A medida que se calienta el agua ascenderá a causa de su menor densidad, a través del colector, y pasará nuevamente al depósito por la parte superior.

La parte inferior del depósito deberá estar por lo menos medio metro por encima del colector para evitar que por la noche, cuando el agua del colector pueda estar más fría que la del depósito, se invierta el ciclo.-

En los casos donde sea imposible colocar el depósito encima del colector, habrá que utilizar una bomba para hacer circular el agua (sistemas de circulación forzada).

Cuando se espere que el agua pueda congelarse durante las noches (sea por la temperatura ambiente o como consecuencia de la radiación desde la superficie del colector hacia la bóveda celeste) deberá utilizarse un circuito cerrado para transferir el calor del colector al depósito de almacenamiento. En este circuito deberá colocarse un anticongelante.

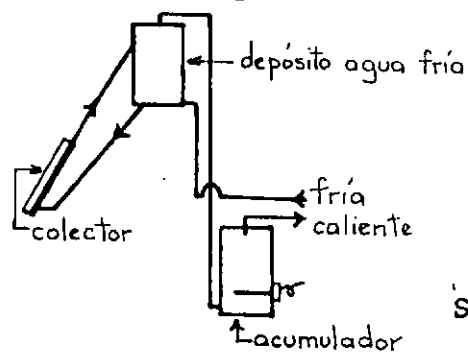
Los sistemas completos de calentamiento de agua solar son comercializados por muchos fabricantes.

La figura 19 - VII VIII ilustra algunos ejemplos corrientes de calefones solares.

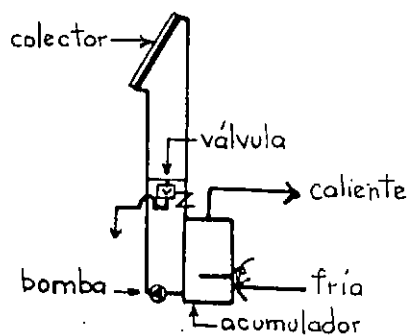
SISTEMAS ACTIVOS

Calentadores de agua solares

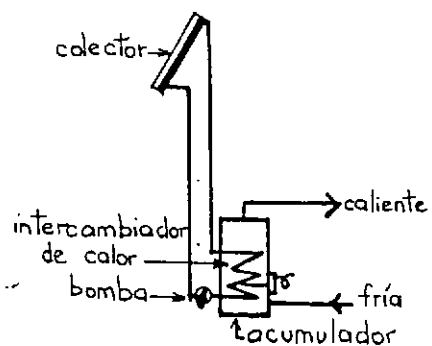
Fig.19-VII VIII: Esquemas funcionales



Sistema a termosifón



Sistema con circulación forzada



Sistema con intercambiador en el depósito (el fluido es un anti-congelante) y circulación forzada.

En la mayoría de los diseños de calentadores solares de agua no es económico ni viable intentar abastecer la demanda de agua caliente de todo el invierno con calor solar. Generalmente convendrá incorporar algún tipo de calentador auxiliar (eléctrico o a fuel oil) conectado a un termostato de modo tal que funcione automáticamente cuando la temperatura descienda por debajo de una temperatura prefijada.-

c.2. Sistemas de calefacción por agua.

Ya hemos visto cómo funcionan estos sistemas en las páginas anteriores.-

4.2. Sistemas activos que alimentan equipos mecánicos convencionales.

En lugar de conseguir un sistema completo de distribución del calor de una casa, destinado a funcionar a temperaturas relativamente bajas, producidas por colectores solares, se puede servir de la energía solar para hacer funcionar equipos mecánicos de calefacción y/o de refrigeración convencionales. El más corriente de estos equipos es la bomba de calor.

En este caso, los colectores solares precalientan el agua o el aire, para alimentar a la bomba de calor.

En otros casos los colectores solares pueden también ser utilizados para hacer funcionar un sistema de enfriamiento por absorción.

4.2.1. Sistemas solares asistidos por bombas de calor.

La bomba de calor es un sistema donde por compresión y por absorción se puede elevar la temperatura del aire o del agua. En sí, la bomba de calor es un aparato de refrigeración tradicional que funciona a la inversa (basado en los cambios de fase de un fluido frigorífico) (Fig. 20 - VII VIII).

Al pasar por el compresor el fluido refrigerante en estado gaseoso se comprime, eleva su temperatura y pasa al estado líquido (1). Para que esto ocurra el compresor aporta energía eléctrica y produce mecánicamente el cambio de fase.

El líquido en el condensador (3) libera calor y lo cede al ambiente - cuando está en contacto con la fuente caliente (aportada por el sol).-

Luego, al pasar por la sopapa de descompresión (2) el fluido se evapora rápidamente y absorbe calor de la fuente fría exterior. Esto se produce en el evaporador (4) donde recomienza el ciclo.

Una bomba de calor puede bajar la temperatura de un medio frío de 10°C a 5°C , y hacer subir la temperatura de un medio caliente (el local a calefaccionar) de 15°C a 20°C .

Las bombas de calor son utilizadas, desde hace muchos años para la

SISTEMAS ACTIVOS

Sistemas asistidos por equipos especiales

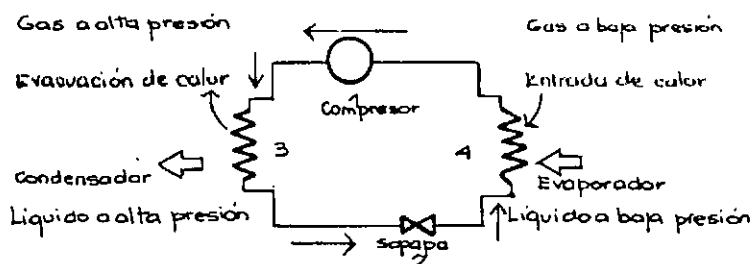


Fig. 20-VII VIII: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor

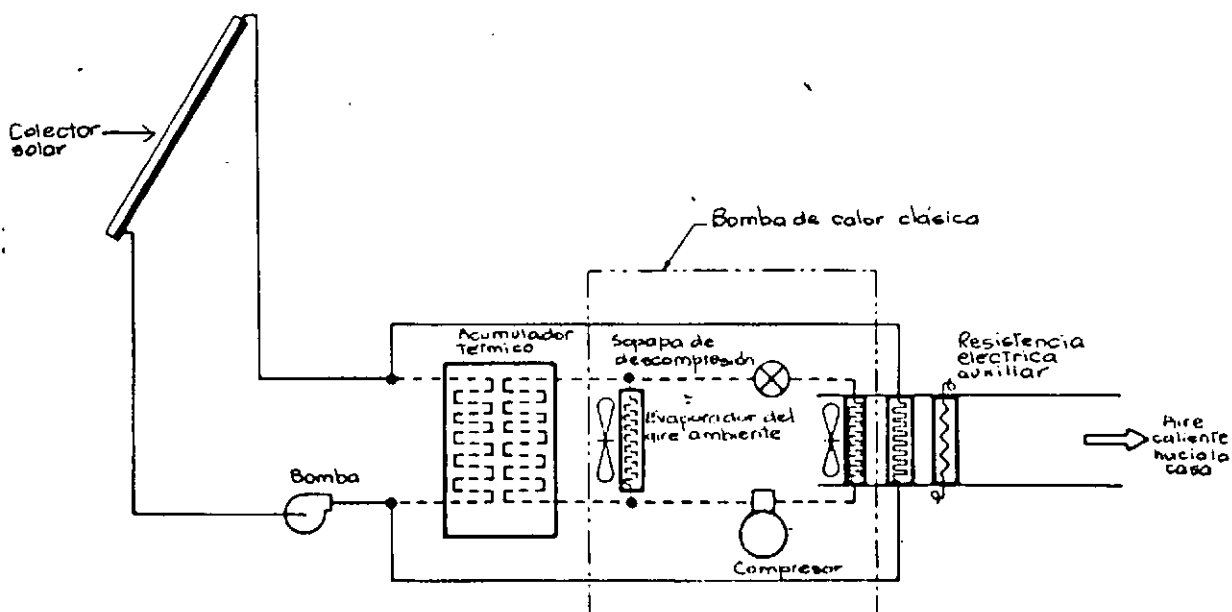


Fig. 21-VII VIII: Sistema de calefacción auxiliado con una bomba de calor.

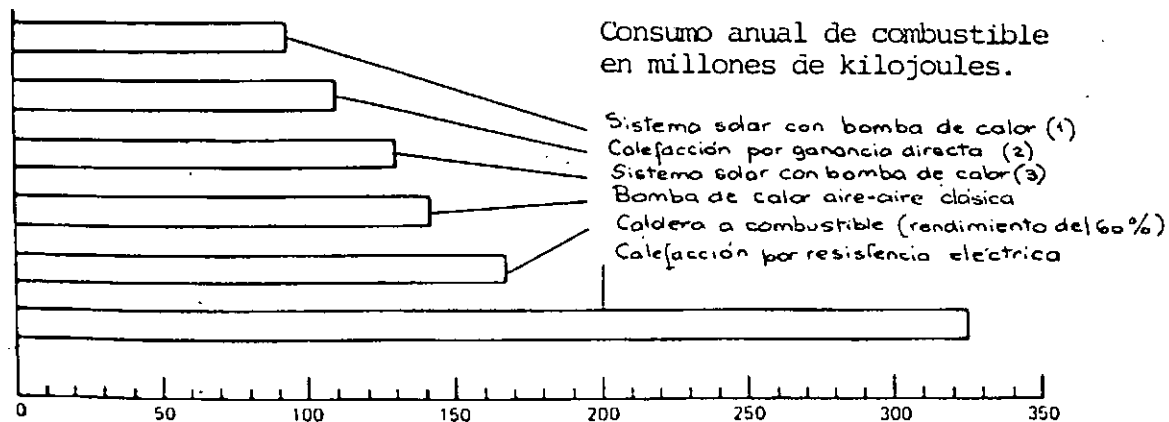


Fig. 22-VII VIII: Necesidades normales de energía de un sistema con bomba de calor comparado con otros cinco sistemas de calefacción.

refrigeración del aire, retirando el calor del interior de un edificio. (Llamados acondicionadores de aire).

Para que una bomba de calor pueda funcionar como medio de calefacción debe tener :

- a) - Un medio de donde extraer calor, llamado fuente fría.
- b) - Un fluido a temperatura suficiente llamado fuente caliente, para liberar en el local a calefaccionar el calor recuperado en el medio frío. (Ver fig. 21 - VII VIII).

Los colectores solares pueden ser utilizados para calentar el agua o aire que actúan de fuente caliente. Una bomba de calor utiliza la energía eléctrica de manera más eficaz que cualquier otro aparato de calefacción o de ventilación. Sobre todo si la diferencia de temperatura del aire entre la entrada y la salida sobrepasa los 20°C. Las leyes físicas establecen la equivalencia entre la energía de entrada y la energía de salida :

$$\begin{array}{c} \downarrow \\ Q = W + q \leftarrow \\ \leftarrow \end{array}$$

se ve entonces que el calor recuperado y utilizado por el calefactor (Q) es superior a la cantidad de energía convencional abastecida al compresor (W).

En ese incremento de energía producida reside el interés económico de la bomba de calor.

El coeficiente de performance de la bomba es la relación entre la energía liberada en el condensador y la entregada al compresor =

$$\left(\frac{\text{energía producida}}{\text{energía consumida}} \right)$$

Una buena bomba de calor debería producir cinco veces más energía que la que consume (en el mercado argentino hay algunas que sólo producen 1,2 - 1,5 veces la energía que consumen).

En Francia por ejemplo hay sistemas de bombas de calor especialmente concebidos para ser utilizados conjuntamente con colectores solares para la calefacción de edificios.

Se puede afirmar que la bomba de calor permite reducir considerablemente las temperaturas de trabajo de los colectores, y también pueden recuperar calor aun a temperaturas tan bajas como -7°C.

4.2.2. Refrigeración del aire por energía solar.-

También pueden utilizarse colectores solares para abastecer de calor a máquinas que funcionan según el procedimiento llamado de absorción. Estas máquinas, si están diseñadas especialmente, pueden funcionar con agua calentada por el sol a temperaturas que no pa-

san de 90°C . Estos sistemas convierten la energía térmica en energía mecánica, haciendo pasar alternativamente un fluido del estado líquido al estado gaseoso (Fig. 23 - VII VIII).

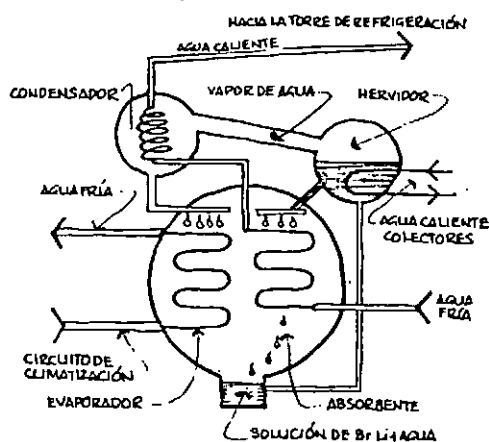


Fig. 23-VII VIII

Esta utilización de la energía solar puede ser viable con interesantes resultados porque las necesidades de enfriamiento suceden, justamente, a lo largo de los días donde hay más energía solar. El principio de la refrigeración está basado en el intercambio de calor. En un sistema de refrigeración por absorción (Fig. 23 - VII VIII) hay cuatro superficies de intercambio de calor : el evaporador, el absorbedor, el generador y el condensador. En el refrigerador por absorción el fluido refrigerante es el agua. Como en todo sistema de refrigeración, se utiliza la evaporación y la condensación para evacuar el calor. Para efectuar convenientemente la evaporación y la condensación, el sistema está constituido por dos circuitos que funcionan a presiones diferentes : $1/10$ de presión atmosférica en el circuito generador - condensador (vacío relativo) y $1/100$ de presión atmosférica en el circuito evaporador-absorbedor (vacío mayor).

Una de las sustancias que se usa como absorbente es el bromuro de litio. Se utiliza bromuro de litio porque se disocia a $85-90^{\circ}\text{C}$ en presencia de $1/10$ de presión atmosférica.

Los procesos que se producen en una máquina de absorción son los siguientes :

a) Generador (o hervidor).

La solución diluida de bromuro de litio y agua, lleva al generador y es calentada por una serpentina con agua a $85-90^{\circ}\text{C}$ proveniente de los colectores solares o del acumulador.

A $1/10$ de atmósfera, el agua de la solución hierve y se evapora pasando al Condensador. En el generador queda una mezcla

de bromuro de litio y agua más concentrada que la original y que es enviada al Absorbedor.

b) Condensador

El vapor de agua proveniente del Generador, ante la presencia de una serpentina de agua fría que llega de la torre de enfriamiento, se vuelve a condensar en el Condensador (también bajo una presión de $1/10$ de atmósfera) para luego pasar al Evaporador.

c) Evaporador

El agua nuevamente en estado líquido, pasa al Evaporador donde se la hace caer como fina lluvia sobre una serpentina que contiene el fluido del circuito de climatización. A $1/100$ de presión, esa agua pulverizada se evapora, para lo cual toma calor del fluido de climatización, que baja entonces su temperatura.

d) Absorbedor

El vapor de agua proveniente del Evaporador pasa al Absorbedor, siendo absorbido por la solución de bromuro de litio concentrado que proviene del Generador.

En efecto a $1/100$ de presión atmosférica y al hacer caer la solución de bromuro de litio en forma de lluvia sobre una serpentina de agua fría proveniente de la torre de enfriamiento, esa solución concentrada que se ha pulverizado se convierte en el equivalente de cientos de pequeñas esponjas que absorben el vapor de agua proveniente del Evaporador.

Es decir que la función del bromuro de litio es capturar el agua en estado de vapor. La mezcla, ahora llamada solución diluida, pasa al fondo del Absorbedor. De allí es bombeada hacia el Generador. Pero antes de llegar pasa por un intercambiador donde es precalentada por la solución caliente y concentrada proveniente del Generador. Esto mejora el rendimiento del ciclo, disminuyendo la cantidad de vapor o de agua necesaria para calentar la solución diluida en el Generador. Luego de este proceso, recomienza el ciclo.

Sintetizando, es importante recordar que : en un solo lugar del circuito entra el agua caliente (a $85-90^{\circ}\text{C}$) de los colectores solares (en el Generador); a un solo lugar, también, llega el fluido a enfriar (Evaporador) y por último, que únicamente con altos vacíos se pueden conservar los cambios de estado que se necesitan para el funcionamiento.

4.2.3. Conclusiones de estos sistemas

A pesar de que un colector plano es eficaz para la calefacción, no permite con una buena eficiencia obtener el nivel de temperatura - suficiente para el enfriamiento. Esto requeriría grandes áreas de colección y costos de instalación sumamente elevados. En el caso de la climatización, la ganancia de energía será máxima con una inclinación de colectores cercana a la horizontal, con el fin de captar mejor el sol de verano; pero ocurre que los colectores solares que son orientados de esa forma no tienen un buen rendimiento para la calefacción cuando de latitudes medias se trata.

Se deduce entonces que los colectores de alta performance encontrarán un mercado en las instalaciones que combinan la calefacción y la refrigeración. Actualmente, el crecimiento de la utilización de la refrigeración solar depende todavía de investigaciones técnicas y de estudios de mercado. Estos podrían conducir a la realización de más económicos equipamientos integrados de calefacción y refrigeración, que se designa a menudo bajo el nombre de "sistema solar de control ambiental".

En el caso de EPEC mencionada en el modulo IV, se pensó en utilizar un sistema de absorción de origen japonés (Sanyo) alimentado por el agua caliente que proporcionan los colectores al vacío que a manera de pérgola productora de sombras, se ubican sobre el techo-plaza seca de las oficinas.

En este proyecto se estima que el costo del sistema solar completo (calefacción-refrigeración) alcanzará el valor equivalente al 50/70% del costo del edificio.

4.3. Pilas solares fotovoltaicas para la conversión eléctrica.

En lugar de convertir la radiación solar en energía térmica, como hemos visto hasta aquí, las pilas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad.

El costo actual de estas pilas es prohibitivo para usos convencionales. Además, es necesario proveer los convertidores y las baterías acumuladoras para que la electricidad obtenida sea utilizable en una casa. A pesar de estas dificultades, las pilas solares (que han sido utilizadas desde los años 50 como fuente de energía para los satélites) están siendo objeto de investigaciones intensivas, cuyo objetivo es el reducir los costos de producción, en vistas de las aplicaciones domésticas.

4.3.1. Pilas solares fotovoltaicas.

Una pila solar está constituida por una pastilla delgada, de un material semiconductor - el más utilizado es el silicio- capaz de --

crear un campo eléctrico cuando es expuesta a la luz. En efecto, los fotones de la luz solar transmiten su energía directamente a los electrones, sin un paso térmico intermedio.

La composición de la pastilla crea el movimiento de los electrones cuando la luz toca su superficie. La cara interior de la pastilla está recubierta de una hoja metálica que recibe la corriente eléctrica para conducirla a la pila siguiente.

Las pilas montadas en serie y en paralelo forman una red que produce una corriente eléctrica.

El método de fabricación corriente de pilas solares (por unidad) consiste en obtener cristales de silicio a los que se le agrega impurezas (para mejorar sus propiedades semiconductoras), bajo la forma de lingotes cilíndricos de alrededor de 8 cm. de diámetro. Estos lingotes son endurecidos, después cortados en láminas delgadas que luego del pulido tienen un espesor de alrededor de 0,3 mm.- Se trata luego la superficie de las pastillas para agregar otra impureza bajo su cara exterior, de tal modo que las dos superficies presentan propiedades eléctricas diferentes. Finalmente se ubican contactos metálicos sobre la cara exterior, una capa protectora, en metal, en la cara interior y otra capa protectora, en plástico, en la cara superior.

Este método de fabricación es lento y costoso y el procedimiento de corte del silicio lleva a pérdidas y defectos. En 1975, los laboratorios Tyco, en Massachusetts, pusieron a punto un nuevo método de producción de cintas delgadas, en silicio y actualmente en Japón se están produciendo láminas fotovoltaicas aunque todavía no están en el mercado.

Las pérdidas de la fabricación son así eliminadas y es posible disminuir notablemente los costos. En este sentido, un valor de u\$s. 0,50 por watio-pico podría ser alcanzado en los próximos cinco años (\sim 1990).

Las pilas solares de sulfuro de cadmio y de cobre funcionan según el mismo principio fotovoltaico. El dopado de una delgada capa de sulfuro de cadmio sobre sulfuro de cobre permite crear un campo eléctrico.

Este tipo de pila tiene tendencia a degradarse a altas temperaturas, y es necesario refrescarlas evacuando el calor por atrás de las placas colectoras. Esta última característica condujo a la idea de combinar la utilización de pilas fotovoltaicas con un sistema de calefacción solar clásico.

Las pilas solares funcionan con un rendimiento que varía de 5 a 16%. Estos resultados son relativamente bajos, teniendo en cuenta su costo de producción. Se puede mejorar el rendimiento sirviéndose de concentradores para concentrar la radiación solar sobre una superficie colectora de pequeñas dimensiones.-

5.- Las viviendas autónomas

La posibilidad de utilizar energía solar conjuntamente con energía eólica, - biomasa, captación y acumulación del agua de lluvia, etc. llevó a algunos diseñadores y científicos a elaborar proyectos destinados a conseguir edificios autosuficientes.

Son varios los ejemplos que existen al respecto, y se han dado con mayor frecuencia en latitudes altas (ver Ejemplo Síntesis). Una característica de estos proyectos es la de no plantear soluciones definitivas sino que cada propuesta de sistema es relativa y hasta posible de ser cambiada cuando las circunstancias así lo aconsejan. Tenemos en este sentido, proyectos - que utilizan la energía eólica para producir electricidad, pero que prevén la incorporación futura de paneles fotovoltaicos con ese mismo objetivo.- También puede darse el caso de viviendas que, teniendo un acumulador en agua, prevén transformarlo con el tiempo en un acumulador por cambio de fase. En otros lugares, la vivienda forma parte de un sistema más amplio que incluye el sustento familiar mediante una granja concebida para la autosuficiencia.-

En estos casos, parte de la casa puede servir para calefaccionar un estanque o para proveer resguardo a ciertos cultivos. Es interesante en este sentido el ejemplo de la granja autónoma de Xochicali (México) que no desarrollamos por escapar del marco de este trabajo.

Queremos destacar, como cierre, que la autonomía energética de la vivienda y su integración con un sistema ecológico más amplio constituye, a - nuestro criterio, un cambio de rumbo que modifica substancialmente las pautas ideológicas en las que se ha desarrollado la arquitectura de este siglo.

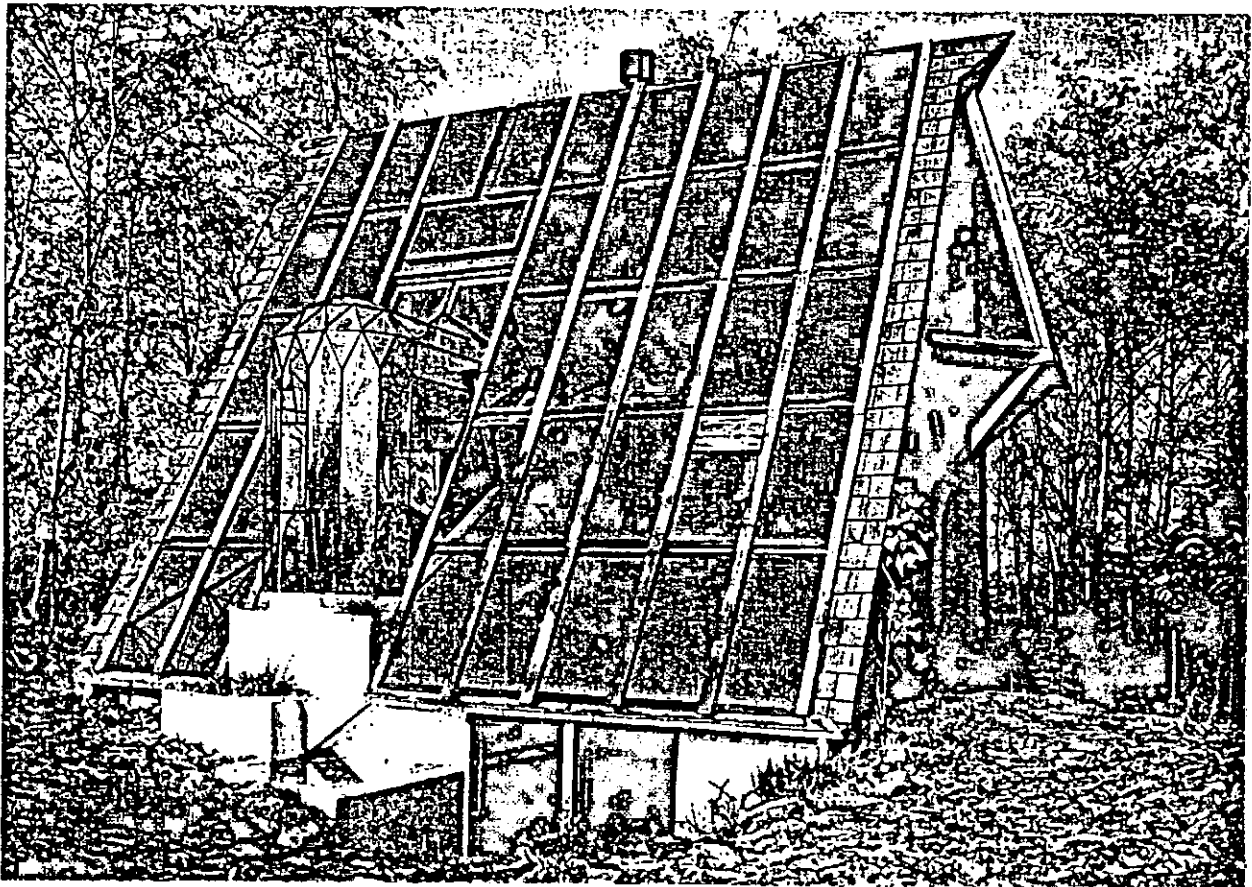
A la figura de la vivienda aislada y conectada a las redes de servicios que vimos como imagen ideal en el Módulo I (fig. 4 - I) le podemos anteponer la arquitectura regional integrada al sitio y que en forma autónoma puede contribuir a mantener y mejorar la situación del medio ambiente que la rodea. Esa imagen no la mostramos porque no está tanto en nosotros sino en el pensamiento y la sensibilidad de los destinatarios de este trabajo.

Ejemplo Síntesis

Casa Orejona, cerca de Bruselas (Bélgica).

La casa Orejona es un ejemplo de arquitectura solar que se destaca por su refinado nivel de diseño.

Ubicada en un bosque a 20 km. de Bruselas y en la latitud 51°N , es una vivienda autosuficiente que cuenta con un sistema activo de calefacción solar y un sistema eólico para producir electricidad.

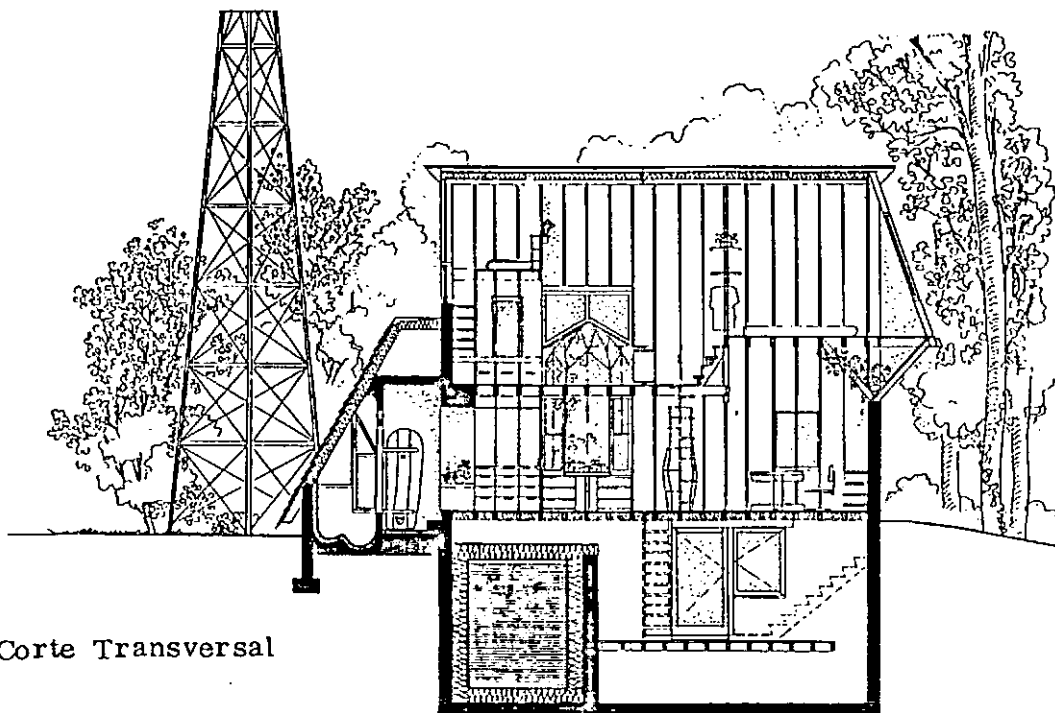


El sistema activo complementa al cuidadoso manejo de la conservación de energía y captación directa de la energía solar que esta vivienda tiene. La captación directa tiene lugar sobre todo por unos volúmenes vidriados que además de su función energética, ofrecen el aspecto de caleidoscopios de interesante valor estético.

El colector solar que está integrado a la cubierta e inclinado $61,5^{\circ}$, alcanza los 40 m². de superficie.

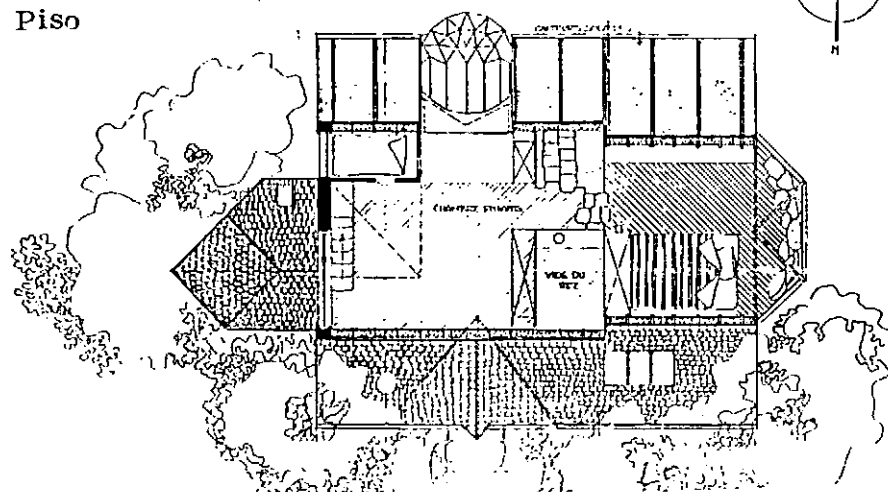
Es del tipo Rollbond, construido en aluminio y por problemas de congelamiento, se utiliza como caloportador un fluido del tipo glicol.

El acumulador, ubicado en el sótano, tiene una capacidad de 25.000 lts. y está aislado con un espesor de 20 cm. de poliestireno expandido. Se preve -

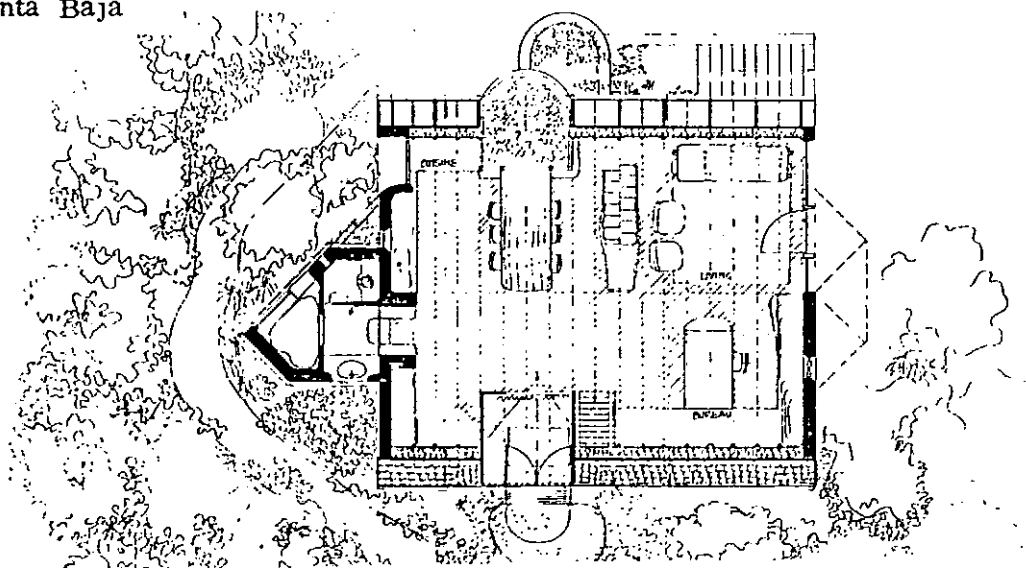


Corte Transversal

Primer Piso



Planta Baja



REFERENCIA BIBLIOGRAFICA - SINTESIS

- 1 - Actas 50 Reunión de ASADES - 1979 - Córdoba.
- 2 - Revista Nuestra Arquitectura Nº 515. (art. :¿ CPC, está? de E.R. Yarke).
- 3 - La Tercera Ola - Alvin Toffler.
- 4 - Avances y premisas - Alvin Toffler.
- 5 - Arquitectura sin Arquitectos - B. Rudolfsky.
- 6 - Arquitectura bioclimática - J.L. Izard y A. Guyot.
- 7 - Arquitecturas de Adobe - P. Bardou y V. Arzoumanian.
- 8 - Sol y Arquitectura - P. Bardou y V. Arzoumanian.
- 9 - Le livre des Maisons Solaires - D. Watson.
- 10 - Manual of Tropical Housing and Building - O.H. Koenigsberger.
- 11 - Passive Solar Energy - E. Mazria.
- 12 - The Solar Home Book - B. Anderson - M. Riordan.
- 13 - Man, Climate and Architecture - B. Givoni.
- 14 - Solar Control and Shading devices - Olgyay and Olgyay.
- 15 - Design with climate - V. Olgyay.
- 16 - Asoleamiento en Arquitectura - R. Rivero. Fac. Arquitectura de Montevideo.
- 17 - Electricidad Solar - W. Palz - UNESCO.
- 18 - Solar Energy Technology Handbook - part A and B. Dickinson - Cheremisinoff - New York.
- 19 - Natural Solar Architecture - a passive primer. D. Wright.
- 20 - Cartas de Radiación Solar de la República Argentina. Meteorológica. A. Crivelli. Vol. II, Nº 7 - 1973.

- 21 - Performance Analysis of Passive Solar Heated Buildings by the Solar Local Ratio Method - Journal of Passive Solar Energy - J.D. Balcom. 1982.
- 22 - Actas de la III Reunión Latinoamericana y V Reunión Nacional de Energía Solar - México. 1981.
(Artículo : Integración de Sistemas de Calefacción Solar con Sistemas Industrializados de Vivienda en la Provincia de Buenos Aires - Fabris, Fujol, Vinocur, y Yarke).
- 23 - Revista Energía y Habitat - Nº 6 - Emegé. (artículo : Aprovechamiento Solar en una escuela).
- 24 - Revista Summa - Set/83.
- 25 - Revista Dos Puntos Nº 5 (Artículos : Cuestiones de Arquitectura Solar. E. Yarke, y Un caso de aplicación de ideas de arquitectura solar).-
- 26 - Revista Investigación y Ciencia Nº 19.
- 27 - Revista : Process Nº 6 - Solar Architecture.
- 28 - Revista Nuestra Arquitectura Nº 507. (Artículo Investigaciones, proyectos y realizaciones donde se utiliza energía solar en Argentina - E. Yarke - M. Fujol y E. Vinocur.
- 29 - Revista Vivienda - Nº 252 - (Art. Acondicionamiento térmico Hospitalario - Yarke, Vinocur, Fabris y Rodriguez Moretín).
- 30 - "El aprovechamiento de la Energía Solar en sistemas industriales para la construcción de viviendas", Tomos I y II - Fujol, Vinocur, Fabris y Yarke.
- 31 - Cuadernos Summa - Nueva Visión Nº 35 - Arquitectura Vernácula.