

UNIDADES TERMICAS  
POR RADIACION SOLAR

ESCUELA DE ARQUITECTURA

Seminario de Edificación

S  
697.7  
P 437~~40~~

UNIDADES TERMICAS POR RADIACION  
SOLAR



Profesor Guía: Sr. FRANCISCO AEDO

Ayudante : Sra. RAQUEL VIDAL DE P.

Alumno : JAIME PERELMAN IDE

INDICECAPITULO I).

|  |      |      |
|--|------|------|
| <u>GENERALIDADES</u> .....                   | Pág. | 1.-  |
| 1.- INTRODUCCION. ARQUITECTURA Y TECNICA.... | Pág. | 1.-  |
| 2.- ENERGIA SOLAR EN LA VIVIENDA.            |      |      |
| <u>PRINCIPIO GENERAL</u> .....               | Pág. | 6.-  |
| La energía solar .....                       | Pág. | 6.-  |
| Aplicaciones de la energía solar.....        | Pág. | 8.-  |
| En la vivienda.....                          | Pág. | 8.-  |
| Colectores de energía solar.....             | Pág. | 9.-  |
| Almacenamiento de energía solar.....         | Pág. | 10.- |
| Agua caliente por radiación solar.....       | Pág. | 13.- |
| Calefacción por radiación solar.....         | Pág. | 13.- |
| Refrigeración por radiación solar.....       | Pág. | 14.- |
| Almacenamiento de "frío".....                | Pág. | 18.- |
| Refrigeración de alimentos por radiación     |      |      |
| solar.....                                   | Pág. | 19.- |
| Cocinas solares.....                         | Pág. | 19.- |
| Bombas calóricas.....                        | Pág. | 20.- |
| Electricidad por radiación solar.....        | Pág. | 21.- |
| Otras aplicaciones de la energía solar       |      |      |
| (no domésticas).....                         | Pág. | 22.- |
| 3.- ANTECEDENTES .....                       | Pág. | 25.- |
| Antecedentes y experiencias en el            |      |      |
| extranjero.....                              | Pág. | 25.- |
| Antecedentes sobre casas solares.....        | Pág. | 33.- |
| Antecedentes y experiencias en Chile....     | Pág. | 36.- |
| Posibilidades y justificación.....           | Pág. | 39.- |

El alumno agradece al Sr. Director, al Personal Docente y al Personal de Taller del Instituto de Edificación Experimental, por la cooperación prestada en la construcción del Calentador Solar Experimental de Agua Caliente incluido en el presente Seminario.

INSTITUTO DE EDIFICACIÓN EXPERIMENTAL

SEMINARIO DE EDIFICACIÓN

Prof. Sr. Francisco Aedo  
Ayudante. Sra. Raquel Vidal de P.

Alumno: Jaime Perelman

PROGRAMA

TEMA: UNIDADES TÉRMICAS POR RADIACIÓN SOLAR.-

I) GENERALIDADES.-

- Introducción.- Arquitectura y Técnica.-
- Energía solar en la vivienda. (Principio General).-
  - Agua caliente
  - Calefacción
  - Refrigeración
  - Otras aplicaciones
- Antecedentes.- En el extranjero y en Chile; experiencias y posibilidades; Justificación.-

II) AGUA CALIENTE POR RADIACIÓN SOLAR.-

- Antecedentes teóricos.-
  - a) Definición y aclaración de conceptos. (Calorimetría, radiación, transmisión del calor, etc).
  - b) El sistema.- Fenómeno físico de radiación solar como fuente productora de calor.
    - Explicación teórica de la transformación en agua caliente.
- Colectores solares de agua caliente y su aplicación en la vivienda.-
  - Estudios para un sistema en Chile. (Clima, zonas mas adecuadas, consumos de agua caliente, etc.).
- Cálculo y determinación teórica de los colectores.-
- Construcción de un aparato.-
  - Proyecto
  - Posibles Standards
  - Elección materiales; técnica constructiva
  - Construcción

III) INTEGRACIÓN CON LA ARQUITECTURA.-

- Aprovechamiento del sistema como elemento plástico integrado a la Arquitectura. También como elemento constructivo.-
- Ejemplos y proposiciones.-

Santiago, 14 de Abril de 1960 .-

C U A D R O B I B L I O G R A F I C O

- "PROCEEDINGS".....World Symposium on Applied Solar Energy.
- "LIVING WITH THE SUN".....The Association for Applied Solar Energy.
- "SOLAR ENERGY FOR WATER AND SPACE-HEATING".....H. Heywood
- "MATERIALS AND METHODS IN ARCHITECTURE".....Selected from Progressive Architecture. Edit. by Burton H. Holmes.
- "ARCHITECTURAL ENGINEERING".....An Architectural Record Book published by F.W. Dodge Corporation.
- "LUMIERE ET RAYONS INFRAROUGES".....E. et H. Biancani.
- "HEATING VENTILATING AIR CONDITIONING GUIDE 1947".....American Society of Heating and Ventilation Engineers.
- "APLICACIONES OF GERMICIDAL, ERYTHEMAL AND INFRARED ENERGY".....Matthew Luckiesh, D.Sc., D.E.
- "INSTALACIONES DE AGUA POTABLE EN EDIFICIOS ELEVADOS".....F. Roche Seminario de Edificación.
- "ESTUDIO DEL AIRE ACONDICIONADO Y SU APLICACION EN LA ARQUITECTURA".....R. Baechler y A. Lira. Sem. Edif.
- "ALCANCES DE LA ARQUITECTURA INTEGRAL".....Walter Gropius.
- "CURSO DE FISICA".....W. Watson
- "REVISTA N° 1-2".....Centro Universitario Zona Norte.
- "BASES PARA UTILIZAR LA RADIACION SOLAR EN EL DESIERTO DE ATACAMA".....Universidad del Norte. "Centro de Investigaciones de Energía Solar Aplicada".

C A P I T U L O   I I ) .

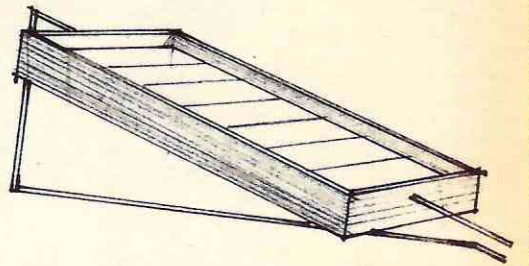
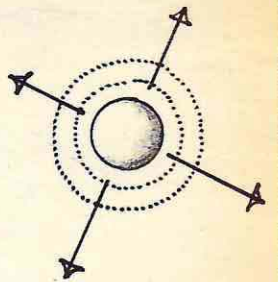
|  |      |      |
|--|------|------|
| <u>AGUA CALIENTE POR RADIACION SOLAR</u> .....                                     | Pág. | 44.- |
| 1.- ANTECEDENTES TEORICOS.....   | Pág. | 44.- |
| Definición y aclaración de conceptos.....  | Pág. | 44.- |
| El sistema. Radiación solar como fuente<br>productora de calor.....                | Pág. | 53.- |
| Transformación en calor.(agua caliente)....  | Pág. | 56.- |
| 2.- CALENTADORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE<br>Y SU APLICACION EN LA VIVIENDA..... | Pág. | 61.- |
| Estudios para un sistema en Chile.....   | Pág. | 61.- |
| 3.- CALCULO Y DETERMINACION TEORICA DE LOS<br>COLECTORES.....                      | Pág. | 68.- |
| 4.- CONSTRUCCION DE UN APARATO.....  | Pág. | 77.- |

C A P I T U L O   I I I ) .

|   |      |      |
|---|------|------|
| <u>INTEGRACION CON LA ARQUITECTURA.....</u> | Pág. | 82.- |
|---|------|------|

CAPITULO I :  
GENERALIDADES

TECNICA  
SOLAR  
APLICADA



CAPITULO I).GENERALIDADES1.- INTRODUCCION. ARQUITECTURA Y TECNICA (1)

el arquitecto y  
su función

Sabemos que en el pasado, en aquellos grandes ciclos de la Historia, el Arquitecto ocupaba una posición preponderante dentro de todo el proceso de producción de su tiempo: Era el gran "maestro de las artesanías" o "maestro constructor". Pero el impacto del industrialismo, con el desplazamiento de las artes manuales hacia sus actividades, hizo que el Arquitecto perdiera esa posición rectora.

Es así como hoy en día se ha producido una situación bastante desafortunada para este profesional: El Arquitecto aun no está plenamente consciente del colosal impacto de la industrialización. A pesar de los serios esfuerzos que se han hecho por ir hacia una franca transformación o evolución de la profesión (en muchas partes ya lograda, a partir del "Bauhaus"), el método de trabajo de nuestros Arquitectos continúa siendo, hasta cierto punto, arcaico y académico, sin estar al día ni participar en el desarrollo tecnológico que la industria y la ciencia acarrearón.

(1) Gran parte de los conceptos aquí vertidos están inspirados en la obra de Walter Gropius: "Alcances de la Arquitectura Integral". Gropius, Arquitecto alemán nacido en 1883, creador del Bauhaus, es junto con Le Corbusier uno de los reformadores de la Arquitectura contemporánea; su magisterio cubre todo el campo de la Arquitectura y penetra largamente en el terreno del diseño industrial.

El Arquitecto (y lo comprobamos en nuestro medio) está en constante peligro de perder terreno ante otros profesionales como el Ingeniero, el hombre de ciencia, el técnico, el Constructor, etc. Y esto tiene que suceder a menos que cambie su actitud, que modifique sus objetivos.

Hay un hecho bastante significativo: El proyecto y ejecución de un edificio están actualmente separados, contrariamente a lo que sucedía en los grandes períodos del pasado. La concepción y realización de un edificio eran una sola cosa; en cambio hoy en día: No se limita el Arquitecto, en la mayoría de los casos, sólo a "proyectar" una obra y luego prácticamente se "desentiende" dejando su ejecución en manos de terceros?

No se pretende decir que el Arquitecto deba ser el "super-genio" que lo abarque todo y sea el único partícipe y responsable en una obra arquitectónica; pero para que proyecto y construcción sean una "unidad", el Arquitecto debe establecer una cooperación, un equipo, con el Constructor, el Ingeniero, el hombre de ciencia, etc, y así llegar a esa "fusión de arte, ciencia, técnica", a esa "Arquitectura Integral" que tanto le preocupa. Y no es indudable que para esto, entre otras cosas, pero en forma harto preponderante, debe conocer, debe participar de los avances y progresos de la técnica, de la ciencia, de la industria? Dicho de otro modo, debemos "reencontrar el dominio del saber técnico en cuanto a edificación". Entre otras definiciones, se dice que el Arquitecto es el creador, el constructor del ambiente físico del hombre. El "objetivo" de su profesión será entonces el de coordinar las numerosas actividades referentes a la construcción, y así llegar a ser, nuevamente, el gran "Maestro Constructor".

importancia de la  
técnica en la  
arquitectura

No hay que olvidar que "la Arquitectura debe comenzar en el plano psicológico de la existencia humana"; el hombre debe ser punto de partida, factor dominante para determinar una Arquitectura, antes que la ciencia, la técnica y otras disciplinas; pero el conocimiento de éstas, su uso, su aplicación, serán imprescindibles para la concepción y realización arquitectónica.

Antaño la Arquitectura era, como arte, un fin estético en sí mismo; pero en nuestros tiempos "la nueva filosofía arquitectónica reconoce el predominio de las exigencias humanas y sociales, y, acepta la máquina (TECNICA-INDUSTRIA) como vehículo moderno de la forma para satisfacer esas mismas exigencias".

El concepto moderno de Arquitecto Integral implica que este profesional esté al tanto y participe en el proceso de industrialización y avance tecnológico de nuestra época.

importancia  
socio-económica

El impacto de este progreso va dirigido, en todo orden de cosas, a la humanidad entera. En nuestro caso tiene sus raíces en razones socio-económicas; es decir, por primera vez se produce el hecho de abocarse en forma definitiva, franca, a solucionar el inmenso problema tan agudo en nuestro siglo: la escasez de viviendas. El origen es de sobra conocido: la misma desmesurada industrialización con la atracción de grandes masas trabajadoras, el crecimiento vegetativo de la población, el crecimiento desmesurado de las ciudades, etc. Se buscan nuevos sistemas, se estudia la prefabricación, la construcción en serie, económica; en fin, "todo un caudal de nuevas concepciones técnicas dirigidas a solucionar el problema de la vivienda.

profesión liberal

Observemos de paso que el rancio sistema del Arquitec

to como "profesional liberal" no puede subsistir si quiere participar en este proceso; y ya anotamos que es imprescindible que lo haga si desea recuperar el terreno y el campo perdidos para ser verdaderamente rector en su especialidad.

creación  
tecnológica

Como por "vocación" y preparación es el Arquitecto el más adecuado para entender y solucionar problemas de la vivienda, está clara su participación en el estudio y proyecto mismo de nuevas posibilidades técnicas. En este sentido podemos entonces concebir al Arquitecto como especialista y participante de un proceso de "CREACION TECNOLOGICA". No podemos seguir aceptando elementos "creados" por otros especialistas para "nuestro" beneficio; esto es, elementos para la Arquitectura sin participación de Arquitectos en la creación de los mismos. Siendo el Arquitecto el más capacitado para entender y conocer las necesidades de una obra, su participación en el proceso de creación de elementos para la construcción es obvia. El ejemplo ya lo dió el "Bauhaus", que estudió y recreó hasta los más mínimos elementos de uso doméstico y dió pauta para que la industria cambiara sus standards haciéndolos más racionales.

aprovechamiento  
del desarrollo  
tecnológico e  
industrial

Aun cuando el Arquitecto participe sólo en la planificación de una obra, deberá "estar al día" en todos los adelantos y desarrollo industrial-tecnológico, para así mejor solucionar el problema social y económico de la vivienda, para llegar a una arquitectura más racional; en suma, para ser capaz de "aplicar" estos adelantos. Sería éste un proceso de "AFROVECHAMIENTO DEL DESARROLLO TECNOLOGICO E INDUSTRIAL".

industrializa-  
ción

No podemos ignorar el proceso de la "industrialización de la construcción". "Una tras otra, las partes componentes de un edificio son retiradas de las manos del artesano y entregadas a la máquina". Cada vez más, innumerables elementos constructivos están "industrializados". La prefabricación, en ciertos países, ha llegado al extremo de crear "fábricas de edificios", reduciéndose el trabajo en el terreno a un simple "montaje".

Pero reconozcamos que el Arquitecto poco ha participado en influir o realizar este gran cambio.

conclusión

"El Arquitecto debe incorporarse a la industria de la construcción y tener participación en la creación y desarrollo de todos los elementos componentes de la misma; debe también ser capaz de usar y aplicar en forma adecuada estos elementos y así producir una arquitectura hermosa y perfecta".

Con lo expuesto creemos haber justificado el presente trabajo, en que no puede ser más clara la aplicación de un conocimiento y estudio técnico en la arquitectura. Tratará de presentarse aquí desde la creación netamente técnica, hasta la aplicación e integración en la arquitectura de un elemento que aprovecha la energía solar para usos domésticos en la vivienda.

2.- ENERGIA SOLAR EN LA VIVIENDAPRINCIPIO GENERAL (1)LA ENERGIA SOLAR.-

Es inconcebible la vida sin el sol. El sol es fuente vital de energía. Su importancia ya fué intuída por los antiguos que lo adoraron como dios. Al hombre moderno le corresponde canalizar esa energía en beneficio social, a través de la ciencia y la tecnología.

A través de los siglos el hombre ha tratado de aprovechar alguna parte de la enorme cantidad de energía que en potencia representa el sol. Pero las experiencias e inventos fueron aislados y sin aplicación práctica.

Recién hoy en día se hacen serias investigaciones y estudios sobre la energía solar, pero en una etapa incipiente y experimental; es por esto que no podemos augurar aún grandes rendimientos. Pero las posibilidades futuras son ilimitadas.

energía solar y  
energía convencional

No existe ni existirá motivo de inquietud para los productores de energía convencional (petróleo, electricidad, agua, gas, etc), por los avances que experimenten las aplicaciones de la energía solar. Por el contrario, la energía solar, así como la atómica, suplementarán (y no reemplazarán) a las máquinas actuales productores de energía.

Al contrario de la energía atómica, se pueden crear unidades pequeñas de energía solar; he aquí una de las grandes ventajas que ésta posee. Además no tiene

(1) En este capítulo aparecen varios conceptos y valores técnicos cuya explicación puede verse en el cap. de "Antecedentes Teóricos".

riesgos para la salud; cualquiera puede operar alguna "máquina solar" con los rayos del sol (que son gratis!).

#### interés actual

Hasta ahora la humanidad contó siempre con la energía producida por el carbón, petróleo, gas, etc. Los países se industrializaron porque contaron con abundante combustible para producir energía. Pero actualmente se sabe que las fuentes naturales de energía no durarán eternamente, y que incluso se agotarán "antes de lo previsto". En varios países se advierte el alto grado de disminución de las reservas de carbón; la población del mundo aumenta rápidamente, con el consiguiente aumento de demanda de energía; las grandes ciudades no pueden subsistir sin energía; el campo se mecaniza y se industrializa. Todo esto nos hace pensar en nuevas fuentes productoras de energía, y la posibilidad de obtenerla del sol es un hecho innegable.

#### disponibilidad de energía solar

El total de energía solar recibido por la tierra es mucho más que lo necesario para la vida y la humanidad; el sol es una continua fuente de energía .

"El consumo per-cápita de energía en el mundo, es del orden de las 24.300 kilo calorías por día; en cambio la energía del sol que llega al mundo es del orden de las 270.000.000 de kilo calorías por día como promedio. Este avalúo teórico excede ampliamente a las necesidades". (1)

(1) Farrington Daniels. Dep. of Chemistry. U. of Wisconsin.

Texto: "Proceedings". World Symposium on Applied Solar Energy.

Pero hasta el presente este enorme cúmulo de energía no se había utilizado, debido a que se presenta en forma de "calor de baja temperatura", difícil de convertir en trabajo, difícil de almacenar y difícil de transportar. Esto se comprueba con el hecho que la radiación solar produce una pequeña cantidad de calorías/min/cm<sup>2</sup>.

Más adelante veremos que esta disponibilidad de energía solar, cuantiosa pero poco concentrada, es posible aprovecharla de diversas maneras.

#### APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR.-

(El presente trabajo no pretende estudiar a fondo todas las aplicaciones de la energía solar ; sólo se enumerarán y analizarán someramente; se profundizará algo más en los usos residenciales de la energía solar; se estudiará en detalle específicamente el problema de las unidades solares de agua caliente para la vivienda).

#### EN LA VIVIENDA.-

Una de las posibilidades más evidentes y económicas de la utilización de la energía solar se encuentra en reemplazar algunos consumos de energía convencional en la vivienda.

Se puede utilizar para calefacción, agua caliente, aire acondicionado y refrigeración, cocinas, etc.

En orden de importancia, el agua caliente y la calefacción solares ocuparían el primer lugar.

Para aprovechar la radiación solar como fuente de energía para usos residenciales, es necesario realizar dos operaciones bien definidas:

1°, captar o atrapar la energía solar; para esto se usan aparatos que llamaremos "colectores de energía solar".

2°, almacenar el calor o energía para librarlo cuando sea necesario.

Para nuestro estudio, analizaremos en primer lugar estas

dos operaciones básicas, para luego estudiar cada una de las aplicaciones de la energía solar:

#### COLECTORES DE ENERGÍA SOLAR.-

Decíamos que la utilización directa de la energía solar es casi técnicamente imposible debido a la baja densidad de radiación que llega a la tierra. Debe entonces recurrirse a una concentración de radiación solar; sin ello, no hay esperanzas de convertir la energía radiante en trabajo útil. Los receptores o colectores de energía solar se dividen en dos clases:

Aquellos con concentración óptica de los rayos solares y aquellos sin concentración óptica, llamados comúnmente "trampas solares". Estos últimos se utilizan cuando no es necesario obtener temperaturas demasiado altas. Los primeros serán analizados más adelante.

colector solar  
plano

Es un aparato destinado a interceptar y absorber la energía solar, cuya función es "atrapar" calor, para ser aprovechado en los trabajos a que sea requerido.

Consiste, someramente, en una caja aislada cubierta de vidrio que en el fondo tiene una lámina metálica pintada de negro destinada a absorber la energía térmica solar. "La radiación de ondas cortas del sol pasa sin dificultad a través de la o las láminas de vidrio, pero la radiación térmica que se refleja de la lámina metálica es de ondas largas, y no pasa por los vidrios. En esta forma se consigue que el calor quede retenido en la caja aislada". (1)

(1) R.J. Pelletier. Inst. Tecnológico Mass. E.I.E.U.U.

El principio básico de estos colectores incide en que el vidrio es transparente a la radiación solar, pero opaco a la re-radiación (radiación reflejada) de la placa absorbente. Aunque en el paso a través del vidrio se pierde algo de radiación, la que logra penetrar queda prácticamente atrapada dentro de la caja, debido a este cambio de longitudes de onda. En la fig. N° 1 se presentan algunos esquemas de este tipo de colectores solares. Se observa que el medio (aire o agua) destinado a aprovechar este calor, debe hacerse circular a través del aparato. La placa absorbente no debe ser necesariamente metálica, pues para el caso de calentar aire, puede usarse vidrio o paño pintado de negro.

Para formarse una idea general de estos colectores, haremos una enumeración de sus elementos constitutivos:

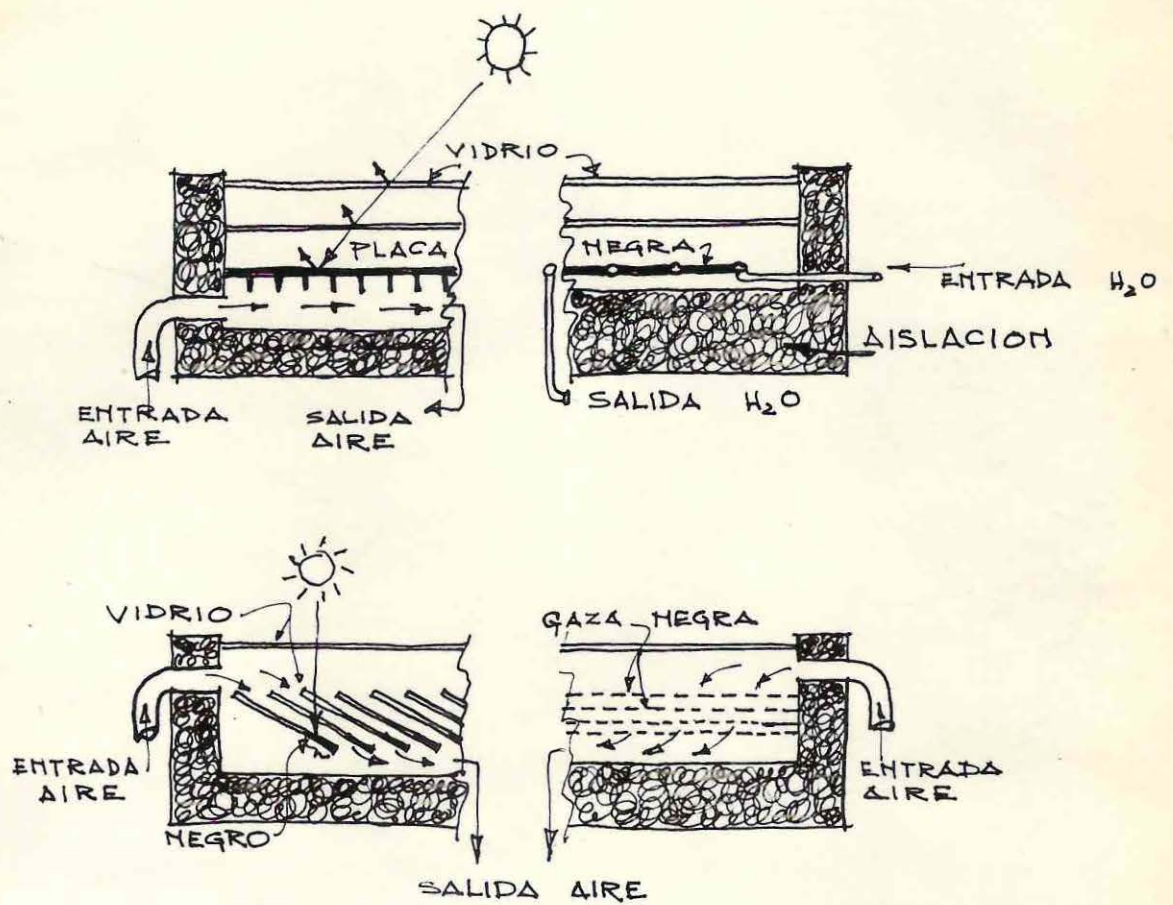
#### descripción

La cara orientada hacia el sol presenta uno o más vidrios, dejando capas de aire intermedias; en el interior se encuentra una placa absorbente (generalmente metálica) pintada de negro, en contacto con la cual circulan los fluidos que desean calentarse; la caja debe ser hermética, y térmicamente aislada, especialmente en la parte posterior de la placa absorbente.

#### ALMACENAMIENTO DE ENERGIA SOLAR.-

Dado que la radiación solar no es continua, por las interrupciones lógicas en la noche y en los días de mal tiempo, es necesario almacenar la energía solar para que pueda ser usada durante estos periodos.

Este almacenamiento, por medios simples y económicos,



CUATRO TIPOS DE  
COLECTORES SOLARES

Fig. N° 1.- Texto: "Proceedings" / W.S.A.S.E..

es uno de los principales problemas que se presentan en el aprovechamiento de la energía solar; según los casos, su solución es más o menos complicada.

En casi todas las aplicaciones de la energía solar para usos residenciales, es necesario contemplar algún sistema de almacenamiento de calor. Pero donde cobra mayor importancia y es fundamental, es en el caso de la calefacción solar.

Los métodos más recomendables de almacenamiento de calor solar serían: En depósitos o termos de agua; en depósitos de piedra; aprovechamiento del calor de transformación de ciertas sales; etc.

almacenamiento en depósitos de agua

Este tipo de almacenamiento se usa cuando el fluido "transportador" de calor solar es el agua. Se usa principalmente cuando la energía solar se aprovecha para suministrar agua caliente para usos domésticos.

Para ello el agua caliente se guarda en depósitos aislados adecuadamente, esto es, en cualquier tipo de termos. La capacidad dependerá del consumo de agua caliente y del clima de la región en que se instale el sistema (días sin colección de radiación solar). Lo más adecuado debe ser un depósito que contenga abastecimiento para un máximo de dos días; si se hace más grande, el incremento de las pérdidas de calor puede anular las ventajas de una acumulación mayor.

almacenamiento de calor en depósitos de piedras

Es un sistema que se usa cuando el aire es el medio que extrae calor del colector solar.

Consiste en un depósito aislado, generalmente bajo tierra que contiene piedras (gravas) sueltas.

Este equipo se usa principalmente para calefacción y sirve tres propósitos: Intercambiador calórico para la transferencia de calor de aire calentado por el sol a calor almacenado; unidad de almacenamiento de calor; intercambiador calórico para la transferencia de calor desde el almacenamiento hacia las estancias de la vivienda, mediante circulación de aire.

El funcionamiento de este sistema es bastante simple. Se basa en la circulación de aire caliente a través del lecho de piedras (de 2 a 5 cm), para producir el calentamiento de éstas. Para calefaccionar la vivienda basta hacer circular aire a través de este lecho y hacia las habitaciones a ser calefaccionadas. Para producir estas circulaciones son necesarios algunos ventiladores.

Fig. N<sup>o</sup> 2.

almacenamiento de calor mediante compuestos químicos

Esta forma de almacenar calor se basa en el aprovechamiento del calor latente de transformación de ciertas sales químicas. "Se puede aprovechar el calor latente de transformación del sulfato de sodio cristalizado con 10 moléculas de agua, en la sal anhidrida, a la temp de 32° C". (1)

Este sistema consiste en calentar estos compuestos aprovechando la energía solar (siempre mediante un fluido que circula por el colector). En la temperatura de transición el calor es absorbido como calor de fusión. El calor almacenado puede recobrase haciendo circular aire o agua a través del depósito de almacenamiento de calor.

(1) Maria Telkes. Research Div. Col. of Engineering, N.Y. University.

Texto: "Proceedings" W.S.A.S.E.

AGUA CALIENTE POR RADIACION SOLAR.-

Decíamos que se puede calentar agua haciéndola circular a través de un colector solar. El agua pasa a través de la "cámara calórica", se calienta, se acumula en un termo y de ahí se extrae para los diferentes usos de tipo doméstico.

El circuito puede funcionar por termo-sifón, es decir, el agua circula por sí misma cuando alcanza cierta temperatura; con un termostato destinado a cortar la circulación cuando baja la temperatura; o con un sistema manual (llave) que permita la circulación sólo cuando existe radiación solar.

El almacenamiento del agua caliente es indispensable para los periodos de no radiación.

Este problema será profundizado en capítulos posteriores.

CALEFACCION POR RADIACION SOLAR.-

Entre las aplicaciones con más posibilidades y más positivas de la energía solar se encuentra la calefacción solar.

También se recurre a colectores solares planos pues se puede trabajar con baja temperatura de colección. El solo inconveniente se encuentra en la necesidad de grandes superficies colectoras, con las consiguientes dificultades arquitectónicas y económicas que esto acarrea.

El proceso de calefacción solar se realiza calentando agua o aire en los colectores, almacenando calor que se hace circular por la vivienda para calefaccionarla cuando sea necesario.

La competencia de la calefacción solar contra los medios convencionales de producción de energía es difícil, pero no imposible.

operaciones  
básicas

Generalmente la calefacción solar debe incluir un equipo auxiliar de calefacción a base de combustible convencional, para suplir períodos demasiado largos de no radiación.

"En general, cualquier equipo de calefacción solar debe tener cuatro operaciones básicas:

- Transferencia de calor desde el colector solar al fluido que circula por él.
  - Calefaccionamiento de la casa por medio del fluido caliente suministrado directamente del colector solar.
  - Calefaccionamiento de la casa por medio del fluido caliente suministrado desde la unidad de almacenamiento.
  - Calefaccionamiento de la casa por medio de un calentador auxiliar cuando es insuficiente el calor del colector solar o del almacenamiento." (1)
- La circulación del fluido (agua o aire) hacia los locales a calefaccionar, generalmente es muy difícil por convección natural. Es por esto que, habiendo alguna otra fuente de energía (convencional), debe acoplarse una bomba o un ventilador para que realice esta circulación; el gasto de este equipo auxiliar sería ínfimo en comparación con el ahorro que significa producir calefacción aprovechando la energía solar.

REFRIGERACION POR RADIACION SOLAR.-

La aplicación de la energía solar para produ-

(1) George Lof. Consulting Chemical Engineer. Denver Col. E.E.U.U.

Texto "Proceedings". W.S.A.S.E.

cir aire acondicionado (refrigeración ambiental), tiene grandes posibilidades.

Desgraciadamente los estudios e investigaciones han avanzado muy poco, debido primordialmente a los tremendos problemas económicos y técnicos que el sistema acarrea.

Una de las principales razones que inducen a acondicionar el aire aprovechando la energía solar, se encuentra en la posibilidad de obtener la máxima radiación solar (energía) cuando el aire acondicionado es más necesario, vale decir, en el verano.

Los dos sistemas más factibles para la refrigeración de viviendas aprovechando la energía solar son:

"Refrigeración por absorción" y "Deshumidificación por absorción".

El sistema de refrigeración por absorción puede ser el mismo que los acondicionadores de aire convencionales, con algunas lógicas modificaciones; sólo que el suministro de calor se obtiene de un colector solar.

Pero si el aire acondicionado producido por medios convencionales de energía no tiene aun gran aplicación en la vivienda, menos puede pensarse en producirlo mediante la energía solar, por lo menos en el futuro próximo.

refrigeración por absorción

Los sistemas más comunes emplean amoníaco como refrigerante y agua como absorbente, debiendo estar las relaciones entre temperatura y presión en tal disposición, que suministren calor desde el vapor a baja presión y refrigeración a temperaturas bajo el punto de congelación del agua.

A grandes rasgos, el principio general es el siguiente:

Comúnmente el calor del vapor de condensación se transmite a una solución de amoníaco en agua, evaporando el amoníaco y dejando un residuo de solución débil de amoníaco. Después de un proceso que elimina casi todo el vapor de agua, el amoníaco pasa a un generador, generalmente enfriado por agua, donde se licuefaccióna. Luego el amoníaco líquido se expande, por baja de presión y se evapora en una bobina de evaporación, refrigerando el espacio envolvente. Este vapor de amoníaco pasa a un absorbente donde se encuentra la solución débil de amoníaco y es reabsorbido (por enfriamiento de agua.). Luego se repite el ciclo.

La energía solar se aprovecha en la forma de calor para el generador; esto es, el fluido (aire o agua) se calienta mediante un colector solar. El generador mismo podría diseñarse como un colector solar plano convenientemente expuesto a la radiación solar.

La temperatura más baja que se usa en un sistema de refrigeración por absorción para producir un enfriamiento ambiental confortable, es del orden de los  $65^{\circ}$  C en el generador. Pensando que es necesario aumentar en algo esta temperatura debido a los intercambios de calor, los colectores solares planos desarrollados hasta ahora, en muchos casos no serían lo bastante eficientes. Sin embargo podrían usarse equipos con capacidad de enfriamiento más reducida, para que funcionaran a más baja temperatura en el generador.

La transmisión de calor al sistema puede hacerse mediante agua calentada en el colector solar, bombeándola desde éste hasta el generador; luego debe volver al colector y recalentarse. También puede hacerse usando aire caliente proporcionado por el colector; este aire caliente es el que proporciona

calor al generador; el aire caliente se hace circular a través de un intercambiador de calor (mediante un ventilador) en el que se genera vapor.

Fig. N° 3. (Los conceptos técnicos de este sistema fueron principalmente extraídos de la exposición de George O.G. Löf en el Symposium sobre Aplicaciones de la Energía Solar).

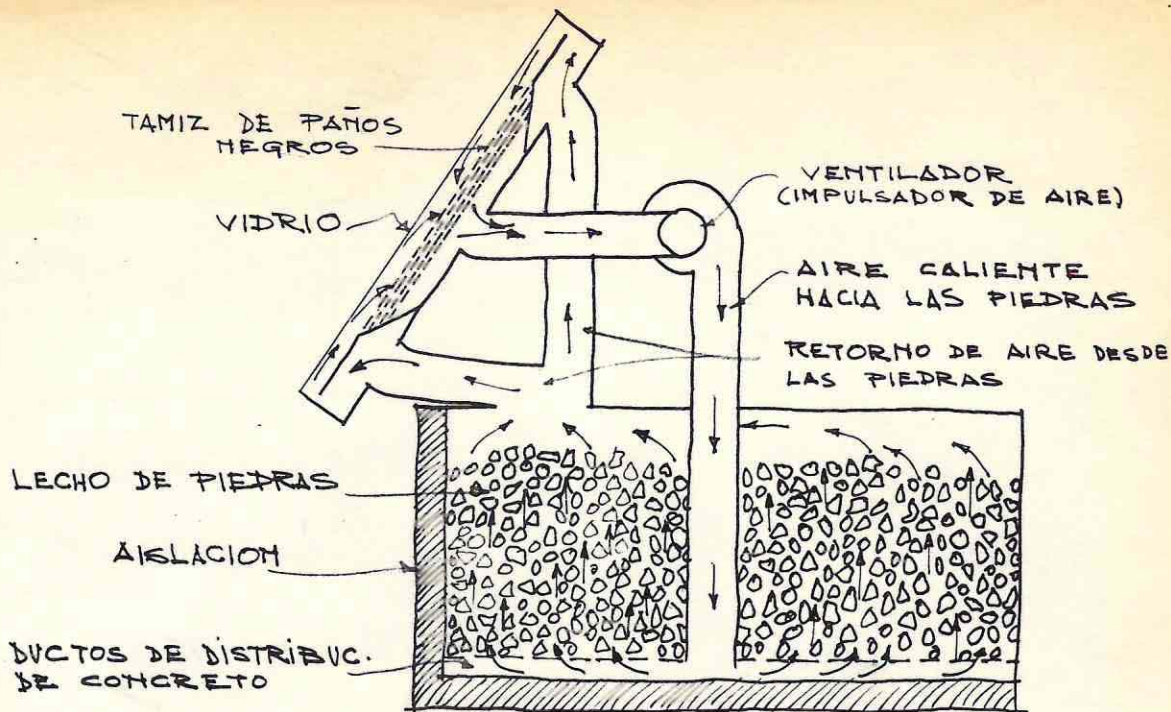
#### deshumidificación por absorción

En regiones donde más necesario es el uso de aire acondicionado, la deshumidificación del aire suele ser el principal tratamiento climático (climas húmedos). Esto es suficiente para hacer confortable el ambiente, sin necesidad de bajar la temperatura.

El sistema de deshumidificación por absorción se basa, en general, en la propiedad absorbente de algunas sustancias que en contacto con la humedad del aire se combinan químicamente con ella, hidratándose.

De acuerdo a resultados experimentales, los sistemas que utilizan soluciones hidroscópicas son los más adecuados para trabajar con energía solar.

Para deshumidificar un ambiente, el aire se hace pasar a través de una cámara donde cae una lluvia de la sustancia química absorbente. La solución (lluvia) absorbe la humedad del aire, gracias a un "calor de absorción" suministrado por la circulación de agua caliente a través de una bobina ubicada en la cámara de lluvia. El aire seco se lleva a las zonas deseadas (si es necesario, previamente se hace pasar por un enfriador como los descritos anteriormente). Otro proceso permite extraer la humedad de la solución, y expulsarla fuera de la vivienda o local acondicionado.



ALMACENAMIENTO DE CALOR EN  
LECHO DE PIEDRAS O GRAVAS.

Fig. N° 2.- Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E.

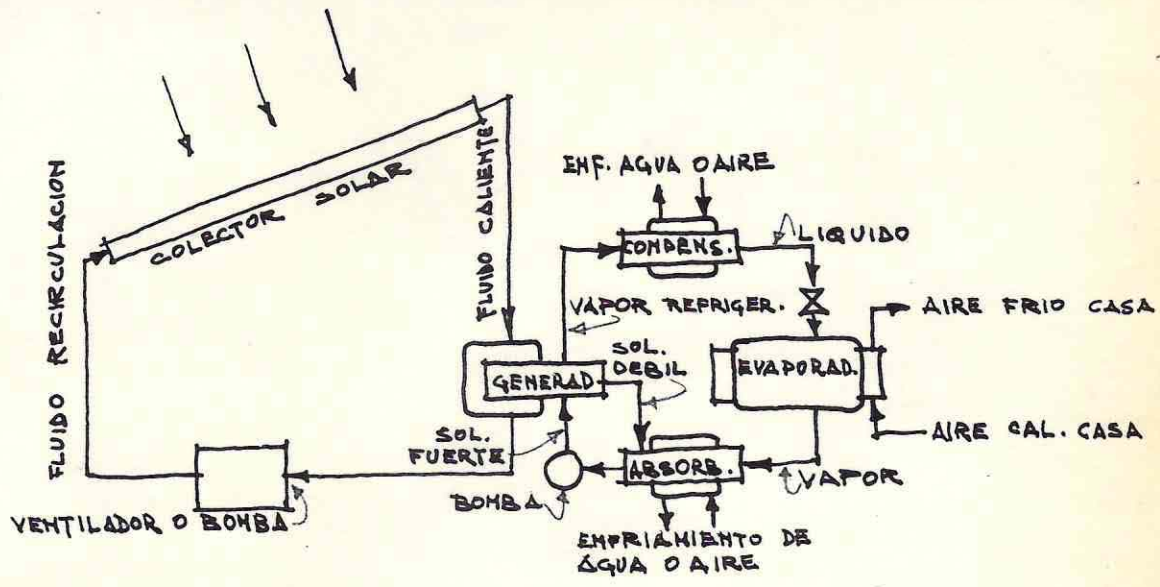


DIAGRAMA DE SISTEMA DE REFRIGERACION POR ABSORCION  
OPERADO CON ENERGIA SOLAR

Fig. N° 3.- Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E. Autor: G. Löf.  
Ing. Químico, Denver EEUU.

La circulación de los fluidos se realiza mediante bombas y extractores de aire (ventiladores).

La aplicación de la energía solar en este sistema se realiza suministrando calor a la cámara de extracción mediante un fluido calentado por un colector solar (aire - agua).

#### ALMACENAMIENTO DE "FRIO".-

Este sistema se refiere a la producción de refrigeración ambiental sin emplear energía solar (ni de otro tipo). Eso sí que aprovecha las unidades de almacenamiento de calor solar para "almacenar frío".

Si una casa solar está provista únicamente de un sistema de calefacción y agua caliente, sin incluir sistemas de aire acondicionado como los anteriormente expuestos, la unidad de almacenamiento calórico no tendrá uso durante el verano. Por lo tanto esta unidad podrá servir para almacenar frío con el objeto de producir una refrigeración ambiental.

Esto es únicamente factible en regiones donde la diferencia de temperatura entre el día y la noche sea apreciable (mucho calor en el día y mucho frío en la noche). Esto sucede en regiones áridas o semi-áridas (norte de Chile), donde esta diferencia de temperatura puede alcanzar hasta 30°/

Si la unidad de almacenamiento de calor solar (por ejemplo, del tipo de depósito de piedra) recibe o guarda frío durante la noche, éste puede usarse en el día caluroso siguiente para refrigerar el ambiente; esto puede realizarse haciendo circular un fluido (aire) por el depósito y por la casa. Se puede llegar más lejos, ya que el fluido que circula en el día caluroso nuevamente transmite calor a la fuente de almacenamiento, el que a la vez servirá para temperar la noche siguiente.

El frío se recibe en la noche a través del mismo colector solar. La circulación a través de la casa se produce por los mismos ductos empleados en la calefacción invernal.

#### REFRIGERACION DE ALIMENTOS POR RADIACION SOLAR.-

En este caso se trata de producir hielo aprovechando la energía solar. Se han hecho pocas investigaciones en este sentido, pero se ha demostrado que sería necesario usar colectores solares con concentración de radiación, debido a que se requieren altas temperaturas.

La refrigeración por absorción en este caso también sería el sistema más conveniente.

Las investigaciones más avanzadas para desarrollar un refrigerador de alimentos por absorción, se han realizado en la U.R.S.S. Diseñaron un sistema que empleaba un reflector parabólico para concentrar la radiación solar; el calor producido suministraba el vapor necesario para el generador de refrigeración; La operación del refrigerador mismo era igual a los aparatos convencionales productores de hielo a base de amoníaco.

#### COCINAS SOLARES.-

Las cocinas solares son aparatos que aprovechan la radiación solar para cocinar alimentos. Funcionan exclusivamente a base de energía solar (sin fuentes auxiliares de energía).

Desgraciadamente los avances han sido escasos en el desarrollo de este tipo de cocinas. Casi todas son de tipo directo, vale decir, el alimento se cocina por exposición directa a la radiación solar.

El tipo indirecto es aquel en que se cocina en un lugar separado del colector o receptor de radiación solar.

Los inconvenientes de las "cocinas directas" son obvios: Dificultades producidas por el viento; problemas en climas excesivamente cálidos (donde más se justifican las cocinas solares) donde tendría que cocinarse y vigilar en pleno sol y calor; y tantos otros problemas que derivan del hecho de tener que cocinar a la intemperie.

Las cocinas solares directas son aparatos cuya función es atrapar o coleccionar la energía solar, produciendo el cocimiento de los alimentos ubicados dentro de él. De acuerdo a la manera de coleccionar la radiación solar, pueden ser de dos tipos: con concentración óptica (reflectores) o sin concentración óptica de los rayos solares (colectores planos).

A modo de ejemplo describiremos un tipo de cocina solar construido por el IDIEM:

Consiste en una caja, inclinada con respecto al sol de acuerdo a la latitud del lugar, con dos láminas superpuestas de vidrio en la parte superior; en los cuatro bordes de esta especie de ventana convergen cuatro láminas de aluminio para aumentar la irradiación solar que llega al interior de la cocina; en el fondo de la caja hay una plancha metálica que almacena el calor. Se llegó a rendimientos de hasta 155° C, en el Norte de Chile.

#### BOMBAS CALORICAS.-

Una bomba de calor es una máquina térmica destinada a extraer calor.

Hemos descrito hasta ahora sistemas de calefacción o aire acondicionado solares que utilizan la energía proveniente del sol en forma directa; pero es difícil que estos sistemas sean competitivos con los convencionales, debido a la complejidad de sus instalaciones y funcionamiento.

El sistema llamado "bomba calórica" ofrece mejores y más atractivas posibilidades, debido que para su funcionamiento tiene la ventaja de trabajar con más baja temperatura de colección. Con esto el sistema disminuye las pérdidas de temperatura por transmisión, y el período de colección de energía solar se amplía desde muy temprano hasta muy tarde en el día.

El ciclo de trabajo de la bomba calórica es idéntico a los ciclos de refrigeración convencionales.

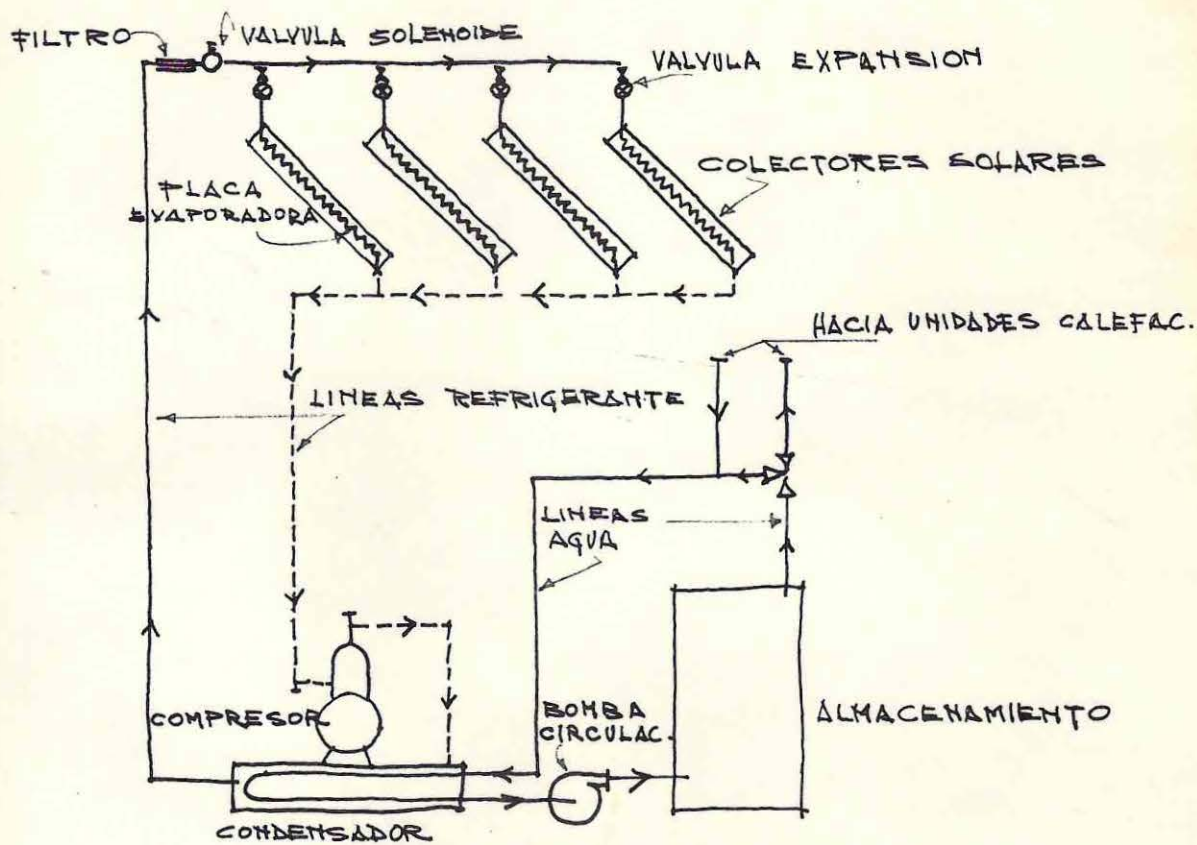
A grandes rasgos el sistema es el siguiente:

La energía solar se obtiene mediante colectores planos corrientes. Existe un compresor que hace circular el refrigerante entre los colectores absorbentes de calor solar (llamados evaporadores en este caso) y un condensador. El refrigerante cambia de líquido a gas en los evaporadores (colectores), obteniendo el calor de vaporización necesario de las radiaciones solares. Para completar el ciclo el refrigerante cambia de gas a líquido en el condensador, entregando el calor latente de vaporización al agua que circula a través de él. El agua así calentada se entrega a un estanque de almacenamiento para su uso en el sistema de calefacción (en este caso). Como accesorio se necesita una bomba de circulación. Fig. N° 4.

#### ELECTRICIDAD POR RADIACION SOLAR.-

La obtención de electricidad directamente de la energía solar es una realidad que se remonta al siglo pasado.

Someramente, los tres sistemas más exitosos para convertir la radiación solar directamente en energía eléctrica, son los siguientes:



ESQUEMA BOMBA CALÓRICA

Fig. N° 4.- Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E. Autores: F. Sporn y E. R. Ambrose. N.Y. EEUU.

El primero se refiere a la "pila térmica", basado en el principio de que en un circuito que contenga dos materiales conductores diferentes, se produce electricidad cuando éstos se unen a diferentes temperaturas. Por lo tanto, en el caso de un convertidor de energía solar, es el calor generado por la radiación el que produce la liberación de la electricidad.

El segundo se refiere a la "célula o pila foto-galvánica. Se compone de dos electrodos sumergidos en un electrolito (substancia electrolítica), y la electricidad se produce cuando cae luz en sólo uno de los dos electrodos.

El tercer sistema es aquel de "células foto-voltaicas", de más desarrollo y mejor resultados en la actualidad. Se basa en la transformación de energía luminosa en energía eléctrica, mediante ciertos compuestos químicos como los cristales de silicio. Es decir, la luz solar genera corriente eléctrica por la diferencia de potencial que produce al aplicarse, bajo ciertas condiciones, sobre algunas sales de silicio.

Como dato ilustrativo digamos que ya se han producido y aplicado industrialmente en E.E.U.U. un tipo de "baterías solares"; fueron creadas en los "Bell Telephone Laboratories, N.Y."

#### OTRAS APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR (NO DOMESTICAS).-

hornos o fundidores  
solares

Son máquinas que para trabajar necesitan altas temperaturas. Esta se extrae del sol concentrando los rayos solares mediante sistemas de reflectores, lentes o espejos. Se usan para propósitos tales como fundición de materiales, reacciones químicas especiales y en general cualquier aplicación en que sean necesarias altas temperaturas.



El rendimiento de estos aparatos depende de la forma en que se concentren los rayos solares.

El colector, en base a lentes o espejos cóncavos o parabólicos, debe poder cumplir esta función y además moverse para siempre seguir la dirección de los rayos solares.

#### destiladores solares

Una gran aplicación de la energía solar se encuentra en los destiladores solares o alambiques. Se usan para el suministro de agua potable o para regadío en regiones áridas o semi-áridas. Contra los impracticables métodos de desmineralización de agua salada hasta ahora ideados, los destiladores solares parecen presentar la más barata y mejor solución. Los destiladores pueden ser de dos clases: los de alta temperatura con concentración de radiación solar y los de baja temperatura, sin concentración. En el primer caso, el agua destilada es el vapor condensado obtenido por la máquina. En el segundo caso se trata del mismo sistema de colectores solares sin concentración ya descritos; poseen un fondo absorbente de radiación por donde pasa libremente el agua salada, un vidrio inclinado donde se condensa el agua evaporada, y un dispositivo para recibir esta agua.

#### foto-química y foto-electricidad

Los campos más prometedores de la utilización directa de la energía solar se encuentran en la foto-química y la foto-electricidad. (La foto-química es la ciencia que estudia las reacciones químicas que produce la luz, visible o invisible. La foto-electricidad es la producción de electricidad por acción de la luz). En el primer caso, se trata de convertir la energía solar en energía

química; las formas usuales de energía química incluyen combustibles, explosivos y elementos electrolíticos. El segundo caso lo vimos cuando tratamos la electricidad. La foto-química, aunque en una fase muy elemental de investigación y desarrollo, promete ser un inmenso campo de aplicaciones de la energía solar. La realidad de la foto-síntesis (propiedad de las plantas de coloración verde, que gracias a la energía solar, transforman  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , tomados del aire y de la tierra respectivamente, en almidones y azúcar) y su completa comprensión por parte de los investigadores, será la puerta de acceso en los problemas foto-químicos en relación con la energía solar.

cultivo de algas

También se realizan importantísimas investigaciones sobre ciertas algas que se utilizan como medio de conversión de energía. Se realizan dos clases de operaciones: la acumulación de carbono, nitrógeno y sales inorgánicas; y la conversión de la energía cinética de la luz en energía química potencial.

3.-

ANTECEDENTES

asociación para la  
energía solar  
aplicada

El paso más importante y serio en las investigaciones sobre las aplicaciones de la energía solar se ha dado en los últimos años con la creación de "The Association for Applied Solar Energy", con sede en Phoenix, Ariz., E.E.U.U., en Marzo de 1954. Es una institución que reúne o coordina todos los esfuerzos que se hacen a través del mundo en las investigaciones sobre la energía solar.

El propósito principal de su creación fue el de brindar las mayores fuentes de investigación en el mundo, en el campo de la energía solar, antes que el suministro de energía convencional llegue a ser un problema crítico.

La asociación, como foco de información e interés, espera realzar la efectividad de las investigaciones en este campo, y estimular los crecientes esfuerzos científicos y técnicos para las prontas aplicaciones de la radiación solar en usos prácticos en la casa y en la industria.

La primera y más importante actuación de esta asociación fue la organización y realización de un Symposium (congreso) sobre las aplicaciones de la energía solar, cuyos trabajos y conclusiones han sido la principal fuente de información para este Seminario.

ANTECEDENTES Y EXPERIENCIAS EN EL EXTRANJERO.-

historia

En el siglo XVII, un óptico llamado Villette de Lyons (Francia), construyó hornos solares de alta temperatura para fundición en Francia, Dinamarca, Persia y otros países; tuvo resultados altamente

exitosos usando espejos de acero pulido; llegó a fundir acero, cobre, y otros metales, en sólo 40 segundos; las medidas de los espejos eran: 80 cm de diámetro, con distancia focal de 97 cm. A mediados del siglo XVIII, exactamente en 1745, Buffon construyó un "espejo concentrador" que constaba de 128 pequeños espejos planos giratorios que reflejaban la luz solar. "En los jardines del Palacio Real (París), encendió madera a 60 metros de distancia, para demostrar que era factible la hazaña técnica atribuida a Arquímedes, de haber incendiado la flota enemiga en Siracusa, con espejos" (1)

Buffon pudo fundir metales a distancias de 8 a 13 metros desde los espejos.

Casine, frente a Luis XIV fundió fierro y plata con un reflector de 1 metro de diámetro, en unos 2 segundos.

Lavoisier, entre 1772 y 1774, utilizando 2 lentes, el mayor de 1,3 m de diámetro, obtuvo temperaturas del orden de los 1.500° C.

John Ericsson, en Norte America pasó 20 años estudiando el desarrollo de una máquina para la transformación de energía solar en energía mecánica. En 1883 construyó una planta notable, porque, aprovechando la energía solar, hacía funcionar motores con energía de vapor o aire caliente. Pero él mismo declaraba: "aunque el calor se obtiene de nada, el aparato concentrador es tan caro, costoso y complejo, que el vapor solar es muchas

(1) Ing. Prof. German Frick. Centro Universitario Zona Norte.

Texto: Volumen 1 de las publicaciones de este Centro.

veces más costoso que el vapor producido por combustión de carbón".

resultados en el pasado

Por la enumeración anterior podemos inferir que los primeros intentos para utilizar la energía solar se hicieron en el campo de su transformación en energía mecánica. El número de inventores fascinados por la potencialidad del poder solar fué una legión, pero en su mayoría hasta los años recientes, fueron más sensacionales que prácticos.

Los antiguos idearon sistemas para concentrar los rayos solares, los que les significaron numerosos problemas: para hacer converger en una misma superficie los rayos solares que aparecen paralelos, es necesario reflejarlos o refractarlos; en general se usó la reflexión (como en el presente), pues la refracción era muy complicada.

progreso actual

"Pasaron muchos años de lamentable desinterés para continuar progresando en estas materias, hasta que Straubel, en 1921, dió un gran paso hacia adelante al alcanzar  $3.000^{\circ}$  con reflectores Zeiss de 1,7 a 2,0 m de diámetro. Desde entonces hasta el presente el esfuerzo del progreso no ha decaído, y los resultados son cada día más halagadores. Mencionemos a Willi Conn, que fundió óxido de Zirconio en 1927 ( $2.700^{\circ}$ ) y que llegó a temperaturas de hasta  $3.500^{\circ}$ . Felix Trombe, en 1949 instaló en los Pirineos un espejo de 10 m de diámetro, que le permitía concentrar una potencia calorífica de 75 Kw". (G. Frick) En la Fig. N<sup>o</sup> 5 se aprecia un espejo concentrador instalado en Algeria para un horno solar.

**motores y calderas  
solares**

Algunas realizaciones en el campo de la energía solar se refieren a los motores solares. Pero su desarrollo ha sido muy escaso debido a la alta competencia de los motores a combustión.

Como dato ilustrativo describiremos cómo opera un motor solar patentado por una firma italiana en 1951. Este motor recibía la energía de un colector solar plano; la eficiencia total del colector y del motor era del orden del 6%.

El motor funcionaba de la siguiente manera:

Se calienta agua a través del colector solar plano y se hace fluir a una vasija o recipiente; sumergido en el agua caliente acumulada existe un recipiente cilíndrico fijado a un brazo de una balanza; en el otro brazo hay un recipiente idéntico que se encuentra fuera del agua caliente, en la posición inicial. Ambos cilindros contienen un líquido de vapor de baja presión (cuya naturaleza es secreto de fábrica). El vapor producido en el cilindro sumergido (bajo) está en condiciones de pasar de un recipiente al otro. Al comienzo de la operación hay más líquido en el cilindro bajo que en el elevado; el líquido del cilindro bajo se evapora parcialmente debido al calor del agua, pasando al elevado, cuya superficie exterior está húmeda; debido a la evaporación en la superficie externa, el vapor dentro del cilindro (de líquido secreto) se enfría y condensa; debido al aumento de peso, el cilindro baja, sumergiéndose en el agua caliente y provocando la elevación del otro cilindro. Este proceso se repite en forma continuada."

En todo caso las mayores posibilidades de los motores solares parecen encontrarse en el desarrollo de motores que funcionen con aire caliente, siempre

que se construyan bajo bases científicas y técnicas con respecto a las transferencias de calor, propiedades de los materiales, resistencia al escurrimiento de los fluidos, etc. En Holanda, últimamente se han logrado resultados auspiciosos en la construcción de motores de aire caliente, que funcionan con energía solar.

Encontramos otra experiencia interesante en el "Pasadena Ostrich Farm Solar Engine" construido en California. Se compone de un colector de energía solar de tipo concentrador, usado para desarrollar 4 1/4 caballos de fuerza empleados en bombear agua. Fig. N° 6

En 1940, en la U.R.S.S. se construyeron colectores parabólicos destinados a generar vapor, para usos en irrigación, abastecimiento de agua para ganado, refrigeración y calefacción. Se instalaron en Kashkent, Uzbekistán.

#### cocinas solares

Poco progreso ha habido desde que se comenzó con la idea de aprovechar la energía solar para cocinar alimentos.

"A fines del siglo XVIII aparecían los primeros <sup>sist</sup> sistemas. Saussure en Suiza, John Hershel en Inglaterra, Mouchot en Francia, Adams en Bombay, etc, construían los primeros aparatos, que sólo fueron usados por sus inventores. En la exposición mundial de París de 1878, Mouchot presentó una cocina solar; trabajaba concentrando las radiaciones solares mediante un reflector de alrededor de 6,20 m<sup>2</sup> de superficie, y cocinaba 0,5 kilos de carne en 22 minutos o hervía 6,75 l de agua fría en media hora" (G. Frick).

Actualmente se desarrollan muchos tipos de cocinas solares, debido a las magníficas posibilidades

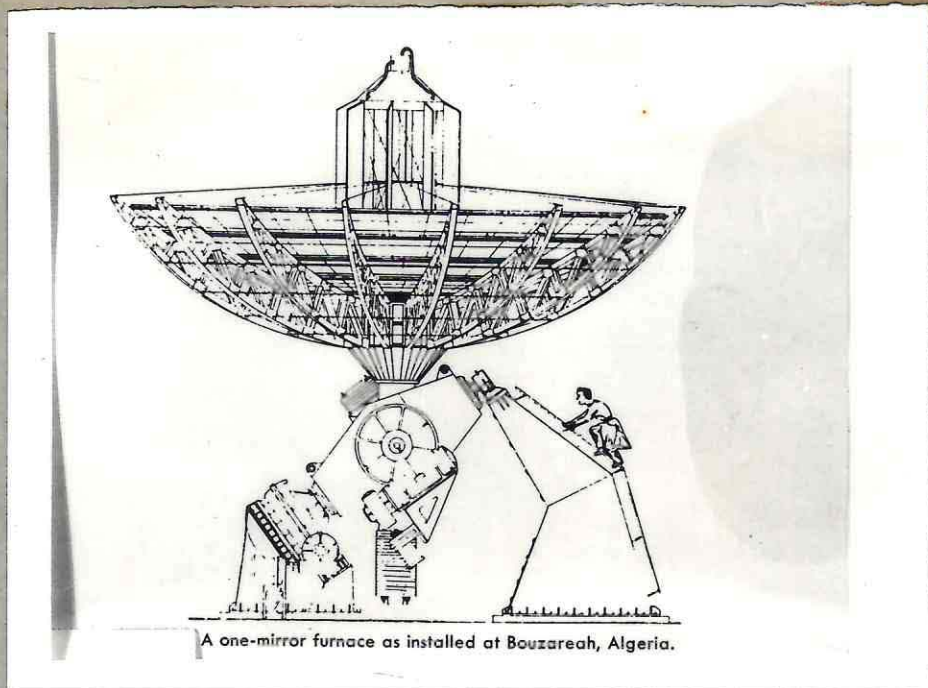


Fig. N<sup>o</sup> 5.- Horno Solar construido en Algeria. (Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E.).

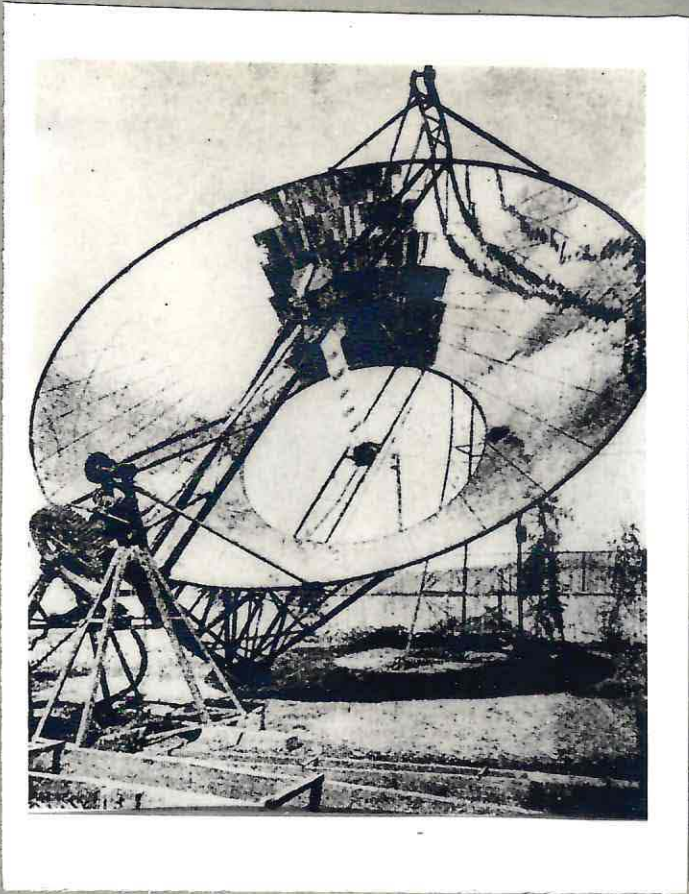


Fig. N<sup>o</sup> 6.- Motor Solar. (Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E.).



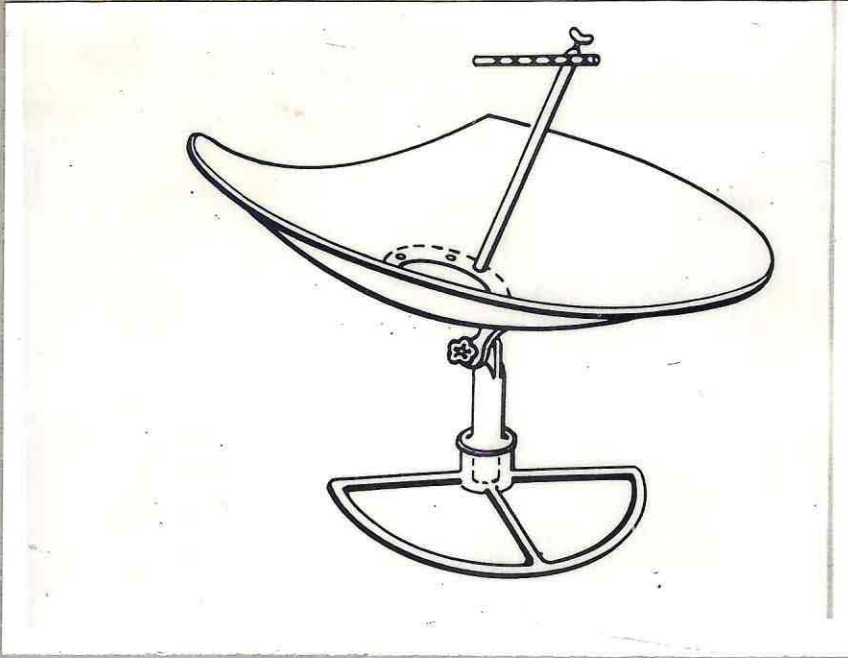


Fig. N<sup>o</sup> 7.- Cocina Solar desarrollada en la India.  
(Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E.)



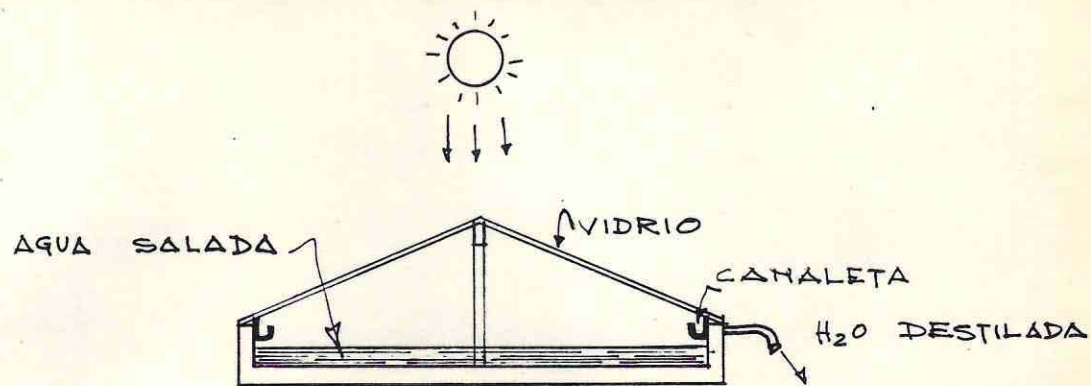
Fig. N<sup>o</sup> 8.- Destilador Solar construido en Las Salinas,  
Chile, en 1872

"Un recipiente plano está hermeticamente cerrado por vidrios inclinados, conteniendo el agua salada que va a destilarse. El calor solar evapora el agua y la saturación de vapor se condensa en la superficie interior de los vidrios gracias a la diferencia de temperatura entre el interior (más alta) y el exterior (más baja). Estando limpia la superficie interna del vidrio, el agua de condensación corre por el vidrio inclinado (adhesión agua-vidrio). En la parte inferior de los vidrios hay una canaleta donde el agua se acumula y de ahí se extrae para su aprovechamiento. El área total de exposición era de más o menos 5.000 m<sup>2</sup>; producía 22.500 litros diarios de agua destilada (4,5 litros de agua diarios por m<sup>2</sup>." (1)

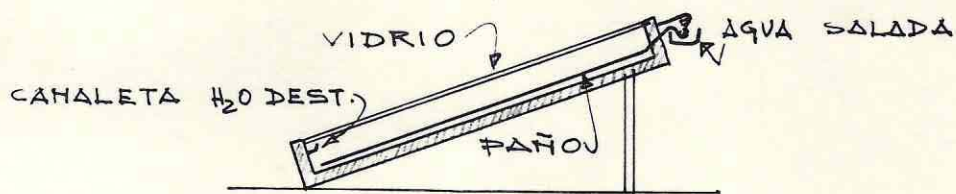
Se han construido destiladores solares de alta temperatura mediante sistemas concentradores de radiación solar (calderas). Investigadores de E.E.U.U. llamados Libling, Thomas y Landry han ideado estos sistemas, pero con resultados anti-económicos.

Los sistemas más exitosos no emplean la concentración de la radiación solar. Maria Telkes, de N.T. University (E.E.U.U.), construyó destiladores similares al descrito anteriormente. En Australia, Italia, Nor-Africa, Israel, etc, se ha avanzado mucho en la experimentación de este tipo de destiladores. Fig. N<sup>o</sup> 9.

(1) Descripción de Nathan Robinson, Inst. de Tecn. de Israel, Haifa  
Texto: "Proceedings" W.S.A.S.E.



DESTILADOR SOLAR COMO EL CONSTRUIDO  
 EN CHILE EN 1872.



DESTILADOR DE PAÑO NEGRO

DOS TIPOS DE DESTILADORES  
 SOLARES

electricidad

El avance más importante logrado en la obtención de la electricidad aprovechando los rayos solares, es el trabajo realizado en 1954 por G.L. Pearson, D.M. Chapin, S.S. Fuller, de "Bell Telephone Laboratories Inc.", en Murray Hill N.Y. (mencionado en capítulos anteriores). Ellos inventaron el sistema más adecuado de baterías solares para convertir la energía solar en electricidad.

otros antecedentes

Los estudios más recientes que actualmente se realizan en el campo de las aplicaciones de la energía solar, aun en etapa de absoluta investigación y experimentación, se refieren a:

- Aplicación de la energía solar para usos biológicos en la directa producción de alimentos partiendo de materia prima inorgánica.
- Estudio de ciertas algas, tanto como fuente en potencia de alimentos para seres humanos y animales, como para su aprovechamiento en convertidores de energía (transformación de la energía cinética de la luz en energía química potencial). Cabe destacar el impulso dado en este sentido por el Dr. Vannevar Bush de la "Carnegie Institution", en E.E.U.U.; por Hiroshi Tamiya, investigador del "Tokugawa Institute for Biological Research" de Tokio, Japón, quien ha realizado grandes experimentos desde el año 1952 para encontrar un método factible de cultivo masivo de algas unicelulares.
- Estudios sobre la conversión de energía solar en energía química, por el M.I.T. (Mass. Inst. of Technology), de Cambridge, E.E.U.U.; el M.I.T. descubrió un camino para utilizar la luz del sol en descomponer agua en los gases H y O<sub>2</sub>; con esto se logra almacenar la energía del sol como energía química en los gases .

antecedentes en  
la U.R.S.S.

En la ciudad de Krzhizhanoz, en el Helio-laboratorio del Instituto de Energía (dependiente de la Academia de Ciencias de la URSS), se han realizado serios experimentos e investigaciones en la materia que nos preocupa. Se han estudiado colectores solares planos (trampas de calor), destinados principalmente al suministro de agua caliente para usos domésticos y a la destilación de agua salada. También se ha experimentado en instalaciones con concentradores de energía solar para usos tales como: cocinas, calderas, refrigeración, calefacción (debido al clima, los colectores planos son insuficientes para calefacción). Finalmente es necesario destacar los estudios realizados en grandes plantas solares, para convertir energía solar en térmica; así como los realizados en foto-electricidad y foto-química.

#### ANTECEDENTES SOBRE CASAS SOLARES.-

estudios del M.I.T.

En la experimentación de "casas solares", es decir, viviendas con instalaciones destinadas a aprovechar la energía solar en usos domésticos, el M.I.T. construyó una serie de casas experimentales:

primera casa

La primera fué construída en 1939. Era prácticamente un "laboratorio de experimentación", que se componía de dos piezas. Fué usada para desarrollar métodos de cálculo de rendimiento de los colectores solares. Se proyectó para estudiar el aire acondicionado y la calefacción solares. Se proveyó de un estanque de almacenamiento de agua lo suficientemente grande como para coleccionar calor en verano y almacenarlo para ser usado en invierno. El experimento demostró la importancia del almacenamiento de calor, y se concluyó que un almacenamiento para un período tan grande, resultaba anti-económico.

- segunda casa            La segunda casa solar no fué más que una serie de cubículos paralelos en los que se realizaban diferentes experimentos sobre almacenamiento de calor simultáneamente. Como la primera, también fué una construcción deshabitada.
- tercera casa            Fué construída en 1948, diseñada para una familia con un niño, y ha estado continuamente ocupada hasta el presente. Fig. N<sup>o</sup> 10. Consta de un paño entero de techo para la colección solar, con el ángulo de inclinación más conveniente y una superficie de 36 m<sup>2</sup>; tenía un estanque de almacenamiento de agua de 1.200 gal. Fué proyectada incluyendo una fuente de calor auxiliar convencional. El rendimiento y las consideraciones económicas mejoraron substancialmente con respecto a la primera casa. El colector suministraba las 3/4 partes del calor necesario para los usos domésticos (calefacción, agua caliente, aire acondicionado).
- case de Dover            En 1948 se construyó otra casa calefaccionada por el sol en Dover, Mass. (E.E.U.U.), diseñada por M. Telkes, Raymond y Peabody. "El principal objetivo fué probar la factibilidad de un calefaccionamiento solar completo en el área de Boston, para tres, cuatro y aún cinco días sin colección de radiación solar, así como para demostrar los méritos del uso del calor de fusión de las "sales de Glauber" como medio de almacenamiento de calor". (Maria Telkes).
- case de Boulder            Otro experimento de casa solar fué realizado por el Dr. George Löf, en su propia casa en Boulder, Colorado (EEUU). Fig. N<sup>o</sup> 11. La instalación estaba destinada a suministrar calefacción solar, pero como complemento o auxiliar de la calefacción convencional. El almacenamiento calórico se efectuaba

en un depósito de piedras ( ya descrito ); tenía capacidad para suministrar calor después de un día de colección, durante la noche y el día siguiente. Los propósitos principales de la "casa de Boulder" fueron:

- "Determinar con qué éxito un sistema de calefacción solar de este tipo podía instalarse y usarse en una casa existente calefaccionada por medios convencionales.

- Averiguar y eliminar los problemas de operabilidad de un sistema de calor solar en una casa típica (existente), y en particular en combinación con un sistema standard de calefacción.

- Determinación, con la mayor acuciosidad posible, de los ahorros de combustible mediante el uso de calefacción solar". (G. Löf).

El sistema probó ser satisfactorio . No se requirieron grandes modificaciones en el sistema de calefacción convencional existente. Los únicos problemas constructivos se presentaron en algunos cortes que hubo que hacer en el techo para instalar los colectores, así como la colocación de algunos ductos de aire adicionales. El almacenamiento se colocó en una fosa (bajo tierra) cavada fuera de la casa. Se usó aire como fluido que circulara por los colectores. Es natural que a no todas las casas existentes se les pueda adaptar un sistema de calefacción solar (insuficiente techo para exposición de colectores, insuficiente espacio para ductos de aire y almacenamiento, etc).

casa de Denver

En Denver, Colorado (EEUU), se construyó otra casa solar cuya importancia radica en que fué integralmente diseñada para funcionar aprovechando la energía solar. Fué el intento más importante para estudiar una vivienda de una familia media, en que los

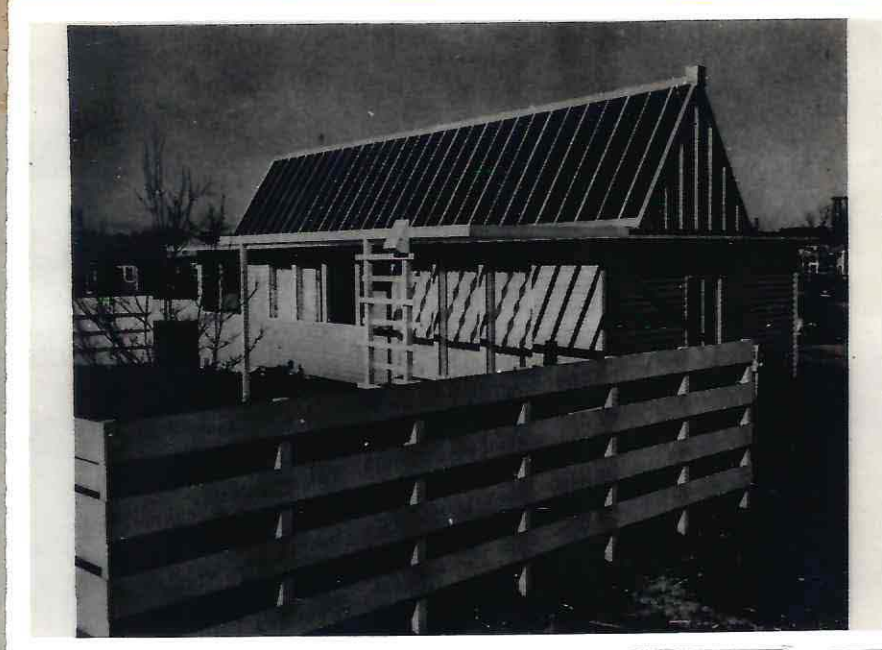


Fig. Nº 10.- Casa Solar desarrollada por el M.I.T.  
(Texto: "Proceedings". W.S.A.S.E.)

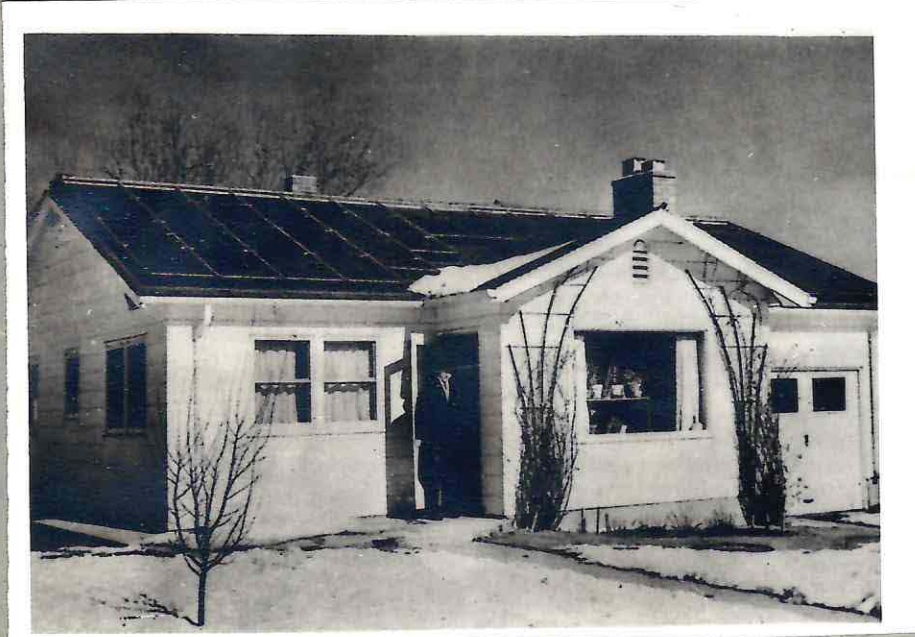


Fig. Nº 11.- Casa Solar de Boulder. (Texto:  
"Proceedings" W.S.A.S.E.)

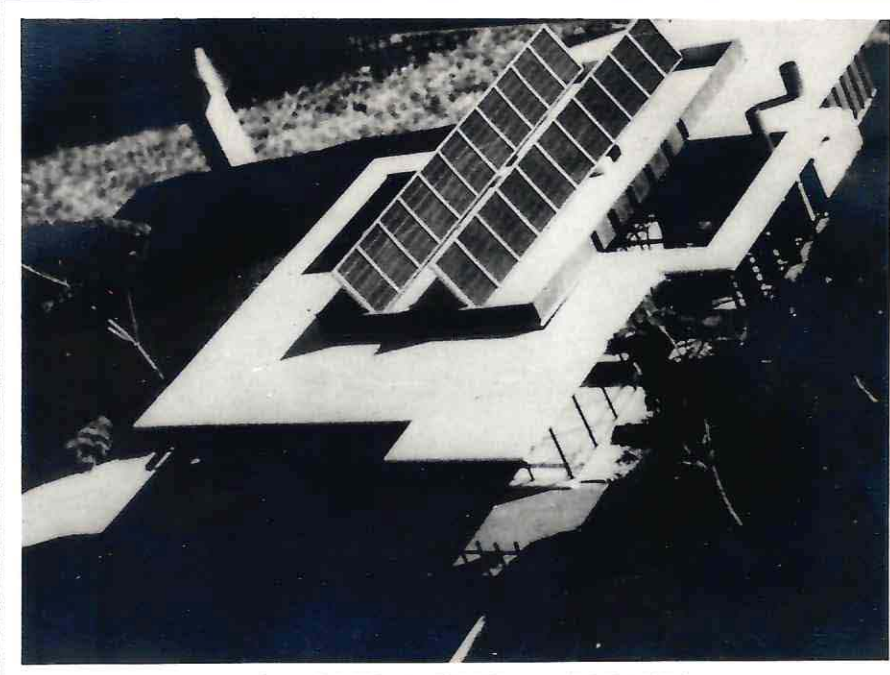


Fig. Nº 12.- Casa Solar de Denver. (Texto:  
"Proceedings". W.S.A.S.E.)

sistemas de calefacción solar, agua caliente, aire acondicionado, estaban "integrados" a la arquitectura. (ejemplos extraídos del texto "Proceedings")

Fig. N° 12.

concurso

Finalmente es necesario destacar el esfuerzo realizado por la "Association for Applied Solar Energy" al llamar a un concurso internacional de Arquitectos, para el proyecto de una típica "casa solar", algunos de los cuales se incluyen en el último capítulo de este Seminario.

#### ANTECEDENTES Y EXPERIENCIAS EN CHILE.-

El primer antecedente que existe en Chile acerca de aplicaciones de energía solar, lo tenemos en el destilador solar construido en el siglo pasado en "Las Salinas", descrito anteriormente.

En la actualidad, varias instituciones han comenzado a interesarse en el problema de la energía solar:

destiladores  
solares del IDIEM

Las primeras experiencias del IDIEM con respecto a la energía solar se refieren a destiladores solares:

"El primero que construyeron constaba esencialmente de un paño negro, por el que escurre agua, que se calienta a través de un vidrio, dentro de una caja de fierro galvanizado. Al calentarse el paño con los rayos solares, se evapora agua que se condensa en el vidrio (la mayor parte) y en las paredes de la caja. En una canaleta superior se mantiene agua a nivel constante (por medio de un frasco de Mariotte), de donde es extraída por capilaridad por el paño. El agua, enriquecida en sales que llega a la parte inferior del paño, sale por una canaleta al exterior (agua de drenaje o agua salada). El agua destilada sale por un tubo del fondo de la caja." (G. Frick)

El IDIEM construyó varios destiladores más, todos a base de paño, con modificaciones que tendían a mejorarlos; el único tipo diferente consistía esencialmente en una bandeja con agua colocada dentro de un recinto cerrado tapado con un vidrio inclinado (del tipo de "Las Salinas").

cocina solar del  
IDIEM

En 1955 el IDIEM construyó su primera cocina solar, del tipo de "cajón aislado", es decir, una caja cerrada por un vidrio con una plancha metálica de fondo, orientada hacia el sol, dentro de la cual se cocinan los alimentos; una cocina de este tipo fué descrita en detalle en capítulos anteriores. En 1957 construyó otra cocina, similar a la primera, pero con mejoras técnicas. Se llegó a temperaturas de 155° C.

Finalmente en Diciembre de 1957, el IDIEM inició la construcción de espejos parabólicos, sea para usarlos como cocinas solares o como hornos solares de alta temperatura.

investigaciones  
del C.U.Z.N.

Otra institución que está muy abocada al estudio de la energía solar es el "Centro Universitario Zona Norte", de la U. de Chile. Este instituto, a través del Departamento de Investigaciones Científicas de Antofagasta, se ha preocupado, de la construcción de cocinas solares, y del estudio y desarrollo de destiladores solares.

Se ha preocupado también de hacer mediciones de irradiación solar. Para eso contrató a los científicos franceses Srs. Henri Dormont (físico) y Francois Devignes (ingeniero). Con ellos se instalaron solarígrafos y se determinó la radiación solar media anual para la zona norte. (se dedujo que la energía total recibida en un año fué de 2.630 ± 50 kWh/m<sup>2</sup> año

para la Oficina Alemania, y  $2.600 \pm 50$  kWh/m<sup>2</sup> año para Baquedano).

U. Técnica  
Sta. María

La Universidad Sta. María también se ha interesado en la energía solar. Se ha dedicado principalmente a efectuar experiencias sobre el aprovechamiento del motor a aire caliente "Phillips", al que proyecta alimentar con aire calentado por el sol.

investigaciones  
del CIESA

Otro organismo que realiza investigaciones en Chile es el "Centro de Investigaciones de Energía Solar Aplicada" de la Universidad del Norte. Hasta ahora se ha preocupado principalmente del estudio de calentadores solares de agua caliente, adecuados a la zona norte. Han construido la primera unidad experimental, con cuya observación y control esperan poder diseñar un aparato ideal.

experiencias  
particulares

Se sabe de varias instalaciones realizadas en Santiago de colectores solares para agua caliente. Podemos nombrar al Ing. Sr. Renato Salazar, quien instaló un calentador solar de agua en su casa habitación; Así mismo el Arq. Sr. S. Perelman instaló un equipo en la obra que construyó para el Sr. I. Silberman, cuyos resultados han sido altamente auspiciosos.

Para terminar digamos que la Universidad de Chile propuso reunir todos los organismos y personas interesados en la cuestión, lo que se concretó con la creación del "Comité Nacional de Energía Solar", presidido por el Sr. Luciano Cruz Coke (Director del Centro Universitario Zona Norte), y que agrupa a las diferentes Universidades chilenas como también a los principales organismos del Estado: Endesa, Corfo, representantes de Usinas salitreras, etc.

POSIBILIDADES Y JUSTIFICACION.-

"Tanto en la energía solar como en la energía nuclear podemos distinguir dos aspectos bien diferenciados: producción de energía para transformarla a los tipos de energía convencionales (energía eléctrica, mecánica, térmica); y utilización cualitativa (isótopos utilizados para análisis, en física nuclear; foto-síntesis en energía solar).

En cuanto a producción de energía, la energía nuclear ha tenido un desarrollo explosivo los últimos años, debido a que el efecto básico para su utilización que es la "fisión" fué descubierto en 1939 a comienzos de una guerra mundial entre potencias de gran desarrollo industrial que la aprovecharon como medio bélico; terminada la guerra se enfrentan actualmente los países con un déficit de energía para mantener su ritmo de crecimiento industrial, y encuentran en la energía nuclear un medio rápido de instalar grandes centrales eléctricas en cualquier parte.

La energía solar, tal vez por ser conocida desde que el hombre existe, ha sido menospreciada en cuanto a sus posibilidades de satisfacer las demandas crecientes de energía. Si se hubieran invertido en investigaciones para el desarrollo de la energía solar las cuantiosas sumas que han invertido los grandes países en energía nuclear, es muy probable que en ningún momento hubiera sobrepasado la energía nuclear a la energía solar en el monto de inversiones. Piensese solamente en la infinidad de pequeñas aplicaciones, repartidas por toda la Tierra hasta en los más modestos hogares, o en las faenas más primitivas, para cocinar, secar, calefaccionar, generar corriente eléctrica, destilar agua u otros

líquidos, cristalizar , transformar substancias por foto-síntesis, modificar la producción agrícola, o bien, la crianza de peces o de algas." (1)

posibilidades  
más reales

La energía solar tiene las mayores posibilidades de aplicación en los siguientes campos:

- Dotación de luz eléctrica para casas y pueblos apartados o primitivos.
- Refrigeración para la conservación de alimentos en zonas tropicales.
- Calefacción, agua caliente, cocinas; son posibilidades definitivas, bastando que los sistemas resulten económicos.
- La destilación solar de agua de mar, la calefacción y refrigeración de viviendas, etc, abren grandes campos para la emigración a zonas despobladas y áridas, solucionando entre otras cosas, el problema de la superpoblación de muchas ciudades o países.

desventajas

Pero debemos reconocer que no se puede tener un entusiasmo ilimitado. Son muchos los lugares del mundo en que existen largos inviernos, climas nubosos, donde el sol no podría ser utilizado. No puede pensarse tampoco en la aplicación desmesurada de la energía solar en las ciudades; en éstas la población se abigarra en departamentos, en altos edificios, sin dejar lugares suficientes o libres para el gran número de m<sup>2</sup> necesarios para coleccionar la energía

(1) Ing. Prof. Germán Frick. Centro Universitario Zona Norte. (Revista publicada por este Centro).

solar; además otro grave inconveniente se presenta debido al "smog", que prácticamente impide la recepción de radiación solar.

resumen

A manera de resumen incluimos una clasificación de las posibilidades de utilización de la energía solar:

a) "Proceso térmico. La energía solar se convierte directamente en calor. De acuerdo a las temperaturas alcanzadas, se divide en tres subgrupos:

- Obtención de calor de baja temperatura por medio de colectores solares planos, útil para calefacción y agua caliente, sistemas de destilación, etc.
- Temperaturas sobre los 100° C, por medio de colectores con concentradores, aplicables para generadores de vapor, hornos de baja temperatura, algunos tipos de cocinas, etc.
- Temperaturas ultra-altas, entre 1.000 y 3.500° C, para usos principalmente industriales, en hornos o fundidores especiales con concentradores parabólicos.

b) Procesos eléctricos. La energía solar se convierte directamente en electricidad usando variados materiales foto-voltáicos.

c) Procesos químicos. Incluye conversiones químicas, bioquímicas y biológicas; intentos para separar el O y el H del agua; cultivo práctico de algas, que capturan y convierten la energía solar en forma mucho más eficiente que muchas plantas conocidas (fotosíntesis)." (1)

①) J. E. Hobson. Dire. del "Stanford Research Inst", Merlo Park, California (EEUU). Texto: "Proceedings" W.S.A.S.E.

en Chile

Puede considerarse que para la zona central de Chile el aprovechamiento de la energía solar tiene una importancia inmensa, especialmente para agua caliente y calefacción; esto se debe a la corriente fría de Humboldt, que hace que la temperatura media en todo el país sea bastante más baja que la correspondiente a otros países con igual irradiación solar (igual latitud); es por esto que "se puede decir que en Chile el sol calienta más que en la gran mayoría de los demás países" (G. Frick)

En Chile, las perspectivas de aplicación de la energía solar son interesantes, si pensamos que nuestros desiertos de las provincias del Norte Grande, que ven brillar el sol casi 360 días al año, tienen buenas probabilidades de ver energizadas sus industrias por los rayos solares, cuando llegue el momento oportuno.

En cuanto al problema que profundizará este Seminario, los calentadores solares para agua caliente, sus posibilidades estarían justificadas en lo que podríamos llamar "confiabilidad". "Si decimos que una máquina es altamente confiable cuando realiza el trabajo de acuerdo a lo que de ella se espera, el calentador solar puede calificarse como la máquina térmica más confiable para usos domésticos, sobre todo si se instala un buen termo acumulador, capaz de suprimir el efecto de los días nublados. En efecto, si se hace una encuesta acerca de los deterioros, accidentes, fallas del suministro del combustible, etc, se comprende que no existe un sistema absolutamente confiable, sobre todo en poblaciones aisladas y en ciudades de pocos habitantes

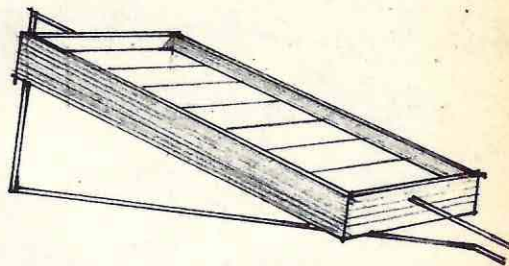
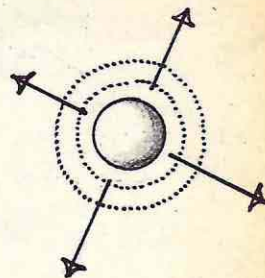
La cocina a parafina, la de gas, la eléctrica, la de carbón, leña y otras empleadas universalmente, trabajan a varios cientos de grados C; el calentador solar trabaja a sólo 130° como máximo, y a menos de 100 por lo general. En consecuencia, el calentador solar plano elimina una posible fuente de incendio y elimina también la oxidación y desgaste de piezas vitales del sistema. Pero lo más grato es que entrega agua caliente instantaneamente a cualquier hora del día o de la noche" (1)

Destaquemos finalmente, que aunque los gastos de fabricación e instalación resulten superiores a los sistemas convencionales, el gasto estaría justificado desde el momento que no habría ningún gasto posterior de mantención o de combustible (el sol es gratis!).

(1) Publicación del CIESA (Centro de Investigaciones de Energía Solar Aplicada).

CAPITULO II :  
AGUA CALIENTE POR  
RADIACION SOLAR

EFICIENCIA  
SOLAR  
APLICADA



CAPITULO II).AGUA CALIENTE POR  
RADIACION SOLAR

1.-

ANTECEDENTES TEORICOSDEFINICION Y ACLARACION DE CONCEPTOS.-

A continuación se incluye una lista destinada a aclarar y definir los conceptos técnicos o especializados que aparezcan en el presente trabajo:

energía

"Puede definirse como la capacidad de producir trabajo, entendiéndose por trabajo la producción de un cambio en el estado de la materia venciendo una resistencia que se opone a dicho cambio". (1)

calor

Energía que se manifiesta elevando la temperatura y dilatando los cuerpos, y que llega a fundir los sólidos y a evaporar los líquidos, comunicándose de unos a otros hasta nivelar su temperatura. Se dice que el calor es simplemente una forma de energía producida por una serie de vibraciones de la materia, superiores en número a las necesarias para el sonido, pero inferiores a las de la luz.

temperatura

"La principal característica de dos cuerpos que no están a la misma temperatura y que se ponen en contacto, es que pasa calor del uno al otro hasta que sus temperaturas se igualan. El cuerpo que pierde calor

(1) W. Watson. Texto: "Curso de Física".

durante el proceso de igualación, se dice que está a más alta temperatura". (Watson).

Las escalas de temperatura más usadas son la Celsius y la Fahrenheit.

Para transformar grados F a C se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Grados C} = \frac{5 \times (\text{grados F} - 32)}{9}$$

Para transformar grados C a F se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Grados F} = \frac{9 \times (\text{grados C})}{5} + 32$$

unidades:  
caloría

"Se llama caloría al:

Calor nec. para elevar de 0 a 1° C 1 gr de agua.

Calor nec. para elevar de 3,5 a 4,5° C 1 gr de agua.

Calor nec. para elevar de 14,5 a 15,5° 1 gr de agua.

Cualquiera de estas unidades se llama caloría, y como difieren muy poco, solamente en trabajos de precisión es necesario especificar las temperaturas que se usaron". (Watson)

En general se dice que la caloría es una unidad de medida térmica equivalente al calor necesario para elevar en 1° C la temperatura de un gramo de agua. Se llama caloría pequeña o gramo caloría, a la cantidad de calor necesario para elevar en 1° C la temperatura de 1 gr de agua que se encuentra a 15° C. Se llama gran caloría o kilo-caloría, a la cantidad de calor necesario para elevar en un grado la temperatura de un kilo de agua que se encuentra a 15° C.

langley

Es una unidad que sirve para medir el calor radiante recibido por el sol. 1 langley corresponde a 1 caloría por minuto por cm<sup>2</sup>.

*emitido?*

Btu

(British Thermal Unity). Es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1 libra de agua en 1° F.

Se usa también para medir la radiación solar, en relación con los pie<sup>2</sup>. Para convertir langleys en Btu se usa un factor de 3,69.

Relaciones entre calorías (y langleys) y Btu:

1 Btu = 0,252 kilo-calorías

1 K.cal = 3,968 Btu

1 Btu = 252 cal

1 Btu/pie<sup>2</sup> = 2,71 K.cal/m<sup>2</sup>

*1 Kcal/cm<sup>2</sup>*

1 Kcal/cm<sup>2</sup> = 3,69 Btu/pie<sup>2</sup>

roof

Unidad de radiación solar sugerida en el "Symposium" sobre energía solar (ya mencionado), para reemplazar al langley o Btu por ser éstos muy pequeños.

El "roof" (techo) corresponde a 1.000.000 cal/min.

*1000 Kcal/min/100m<sup>2</sup>  
10 Kcal/min/m<sup>2</sup>  
60.000 Kcal/hora/m<sup>2</sup>*

"Es la radiación solar recibida por 100m<sup>2</sup> de superficie plana a razón de 1.000 K.cal/min, o

*"1 roof-day" ocurre en 8,33 horas.*

60.000 K.cal/hora. Un "roof-day" (techo-día) de 500.000 K.cal es equivalente aproximadamente a

dina (f = m.a.)

2.000.000 de Btu". (1) *La fuerza necesaria para imprimir a la masa de 1 gramo la aceleración de 1 cm/seg<sup>2</sup>*

erg = levantar 1 dina a h = 1 cm

Unidad de trabajo que corresponde ~~aproximadamente~~ *desplazar dina en 1 cm* al trabajo efectuado al ~~levantar 1 miligramo a la altura de 1 cm.~~ *con d.h fuerza en el sentido contrario* Como el ergio es una unidad excesivamente pequeña, se usa en su lugar el

Ejemplo del imán.

*"joule"*

*10<sup>7</sup> erg  
= levantar 1 newton a h = 1 m.*

Corresponde a 10.000.000 de ergios

*1 newton = 10<sup>5</sup> dinas*

(1) Farrington Daniels. Depto. Química U. de Wisconsin.

- watt Es una unidad de potencia que equivale a 1 joule (julio) por segundo.  
Kilowatt: Es una unidad de potencia equivalente a 1.000 watt.  
Kw hora: Unidad de energía equivalente a 1.000 w hora. El watt-hora es una unidad práctica de energía equivalente a la energía consumida en 1 hora cuando la potencia es de 1 watt.
- calorimetría Se llama calorimetría a la medición del calor (específico, de evaporización, combustión, etc.)
- calor específico "Se llama calor específico de una substancia a cierta temperatura, la cantidad de calor necesario para elevar en 1° la temperatura de 1 gramo de dicha substancia a aquella temperatura. El calor específico del agua (a la misma temperatura que se ha definido la caloría) es igual a la unidad (el del cobre es 0,1)." (Watson)
- calor latente de fusión Se llama calor latente al que, sin aumentar la temperatura de los cuerpos que lo contienen, produce en ellos una alteración molecular tal como la de los cuerpos sólidos cuando pasan al estado líquido, y la de los líquidos al convertirse en gases o vapores. "Calentando una mezcla de agua y de hielo y agitando bien entre tanto, se observa que la temperatura se sostiene a 0° mientras queda algo de hielo. Esta aparente anomalía, de no calentarse la mezcla a pesar de comunicarle calor, se explica admitiendo que se necesita calor para convertir el hielo a 0° en agua a la misma temperatura. Este calor, que no eleva la temperatura del cuerpo y se invierte solamente en el cambio de estado, se llama calor latente. Inversamente, al pasar el agua a 0° a hielo a 0° se

desprende calor, y debe substraerse. Se llama calor latente de fusión de un cuerpo la cantidad de calor necesario para fundir la unidad de masa del mismo, estando sólido, o la que tiene que substraérsele para solidificarlo, si se encuentra en estado líquido. Según la teoría molecular de la constitución de la materia, las moléculas de los sólidos están más estrechamente unidas que las de los líquidos, por lo que el calor latente representa probablemente el trabajo que debe comunicarse para aflojar los enlaces entre las moléculas del sólido al convertirse en líquido." (Watson)

transmisión  
del calor

"Es el paso del calor de un cuerpo a otro. Puede pasar calor de una porción a otra de materia sin que intervenga materia, o sea por el proceso llamado radiación (se definirá en el proximo párrafo); así llegan el calor y la luz del sol. Se puede propagar el calor por una transferencia visible de materia, llamándose en este caso convección. También se puede propagar por la materia, pero sin movimiento visible de ésta, constituyendo la llamada conducción (las moléculas mas calientes transmiten calor a las vecinas, éstas a las siguientes, y así sucesivamente; por ejemplo, una barra de metal calentada en un extremo transmite el calor a través de ella)". (Watson)

radiación

Se dice en general de los elementos constitutivos de una onda que se transmite en un espacio. En nuestro caso nos referimos a la radiación solar o rayos luminosos (del sol), que se componen en un 40% de "radiaciones luminosas" o rayos perceptibles por el ojo humano; en un 57% de rayos infrarrojos; y en un 1% de rayos ultravioleta. Las radiaciones citadas son de naturaleza electromagnética, tienen la velocidad

uniforme de 300.000 Km/seg y se diferencian entre sí por la longitud de onda. Conviene destacar que el infrarrojo (parte del cual es el que se aprovecha en los colectores solares) comprende longitudes de onda entre  $348\mu$  y  $0,8\mu$  ( $\mu = 10^{-4}$  cm).

radiación  
térmica

Es aquella que los cuerpos emiten a expensas exclusivamente de su energía térmica (intercambio de radiaciones hasta alcanzar el equilibrio térmico entre cuerpos a diferentes temperaturas sin estar en contacto mutuo).

convección

Propagación del calor en los líquidos y gases mediante corrientes originadas por la diferencia de temperatura de sus capas.

reflexión

En general se entiende por reflexión al hecho de hacer retroceder o cambiar de dirección la luz, el calor, el sonido, o poniéndoles una superficie lisa. En nuestro caso nos referimos a los rayos caloríficos o luminosos (no hay diferencia pues ambos son simplemente movimiento ondulatorio del éter). Se distinguen dos tipos de reflexión: la difusa, es decir, la reflexión de la luz en todas direcciones al ser recibida por un cuerpo; y la reflexión regular, o reflexión de la luz en una sola dirección (espejos). La reflexión regular se rige por varias leyes, pero no es el caso recordarlas aquí.

refracción

Cambio de dirección del rayo de luz que pasa oblicuamente de un medio a otro de diferente densidad.

Cosmografía

A continuación presentamos algunas aclaraciones referentes a cosmografía:

solsticio

*Solsticio hiemal*  
 " *vernal*

Se llama solsticio a la época en que el sol es perpendicular a alguno de los dos trópicos (Cáncer o Capricornio), es decir, a  $23^{\circ} 27'$  de latitud Norte o Sur. Corresponde al 21 de Junio para el de Cáncer y al 21 de Diciembre para el de Capricornio.

Se llama solsticio Boreal al que se produce en el hemisferio Norte (Boreal); es el día más largo del año y la noche más corta; el sol es perpendicular al trópico del Cáncer. En el hemisferio Sur es todo lo contrario. En el hemisferio Norte es verano y en el Sur es invierno.

Se llama solsticio Austral al que se produce en el hemisferio Sur (Austral); es el día más largo y la noche más corta del año; el sol es perpendicular al trópico de Capricornio. En el hemisferio Norte sucede todo lo contrario. En el hemisferio Sur es verano y en el Norte es invierno.

equinoccio

Se llama equinoccio a la época en que el sol es perpendicular al Ecuador. El día es igual a la noche en toda la tierra. Se produce el 21 de Marzo y el 21 de Septiembre, llamándose de Otoño y de Primavera respectivamente en el hemisferio Sur.

relaciones importantes de cosmografía

La posición de un punto sobre la tierra en relación al sol es constantemente variable debido a los dos movimientos principales de la tierra: la rotación alrededor de su eje, y la traslación alrededor del sol. Fig. N° 13.

El eje de rotación de la tierra (L) está inclinado <sup>aproximadamente</sup>  $23,5^\circ$  respecto al plano de su órbita alrededor del sol (L').

La fig. N° 13 muestra a la tierra a las 12 Meridiano del 21 de Diciembre (solsticio de verano en el hemisferio Sur). En este tiempo los rayos solares son perpendiculares a la tierra en el trópico de Capricornio. El círculo polar Artico está las 24 horas del día en completa obscuridad, ocurriendo lo contrario en el círculo polar Antártico.

Lo contrario sucede en el solsticio de invierno (21 de Junio), en que los rayos solares son perpendiculares a la tierra en el trópico de Cáncer. En la época de equinoccios, los rayos solares son perpendiculares al Ecuador (21 de Mayo y 21 de Septiembre).

Un observador sobre la tierra, suponiéndola fija, verá que el sol recorre en su movimiento un arco de horizonte a horizonte, teniendo como centro la tierra, Fig. N° 14.

La figura muestra el movimiento del sol respecto a un observador en la tierra.

Se definen dos ángulos muy importantes en el cálculo de la radiación solar:

Angulo  $\beta$  : Llamado de altura que es aquel formado por la recta que une al sol con el punto de observación y su proyección sobre el plano horizontal.

Angulo  $\mu$  : Llamado Azimet . Es el ángulo medido en el plano horizontal desde el Norte hasta la proyección sobre este plano horizontal de los rayos del sol .

Esta ángulo varía continuamente desde la salida a la puesta del sol, pero es simétrico con respecto a la línea Norte-Sur.

La posición relativa del sol al lugar de observación

Depende de la altitud y Azimut principalmente, y en forma menos marcada a la distancia tierra-sol. La altitud y Azimut se calculan en cada hora conociendo la declinación y ascensión recta (coordenadas ecuatoriales del sol. La hora local angular es expresada en grados, siendo  $0^\circ$  las 12 M;  $150^\circ$  las 11 A.M. y 1 P.M.;  $30^\circ$  las 10 A.M. y 2 P.M.; y así sucesivamente.

La órbita de la tierra es ligeramente elíptica, teniendo al sol en uno de sus focos; por esta causa la tierra está más o menos en un 3,5% más cerca del sol el 1<sup>o</sup> de Enero que el 1<sup>o</sup> de Julio. Como consecuencia de esto, hay alrededor de 7% más radiación fuera de la atmósfera el 1<sup>o</sup> de Enero que el 1<sup>o</sup> de Julio, lo que aparentemente es un factor de contribución a los más rigurosos inviernos en el hemisferio Sur que en el Hemisferio Norte.

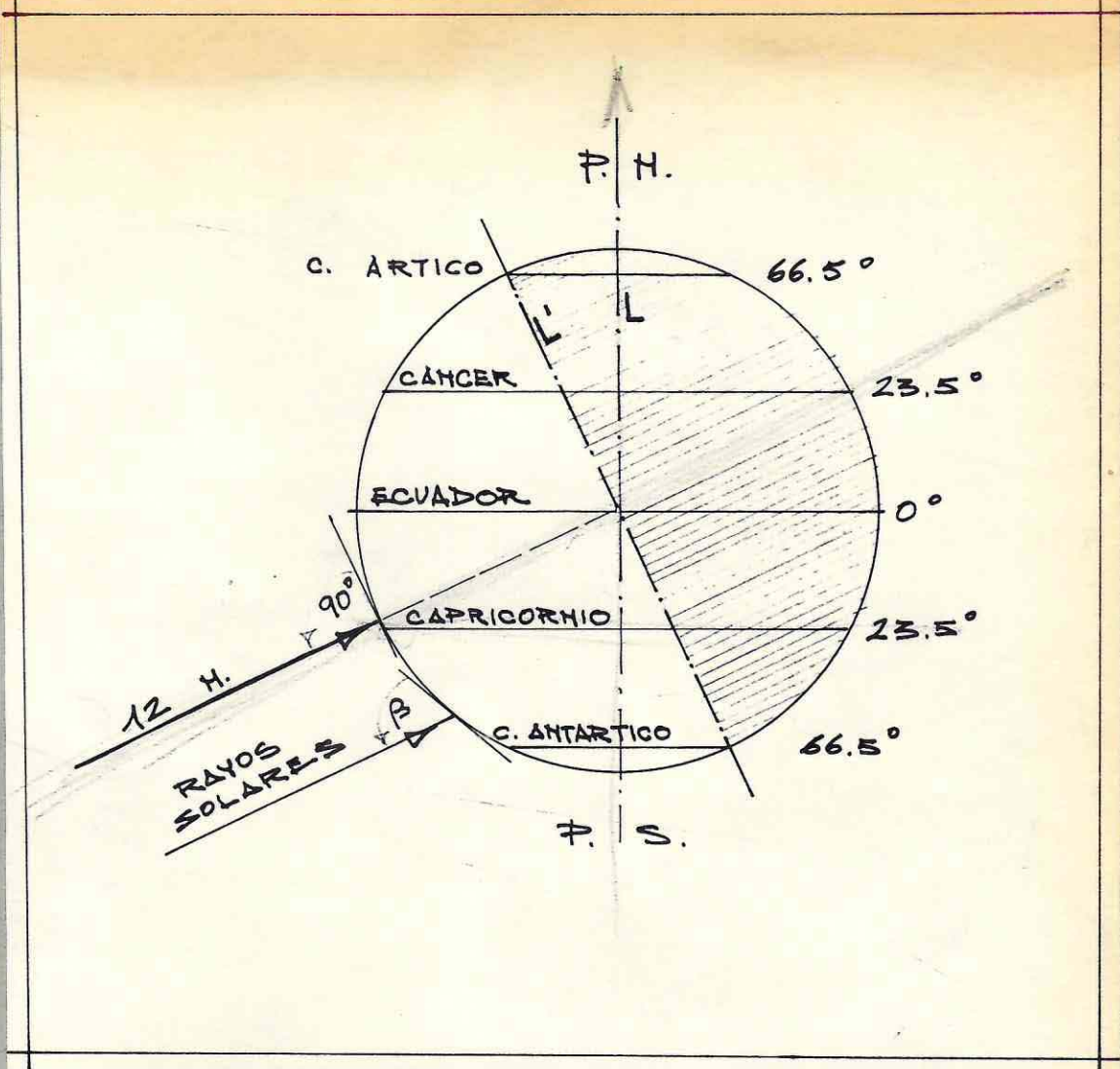


Fig. Nº 13.- La Tierra en el Solsticio de Verano. Hemisferio Sur.

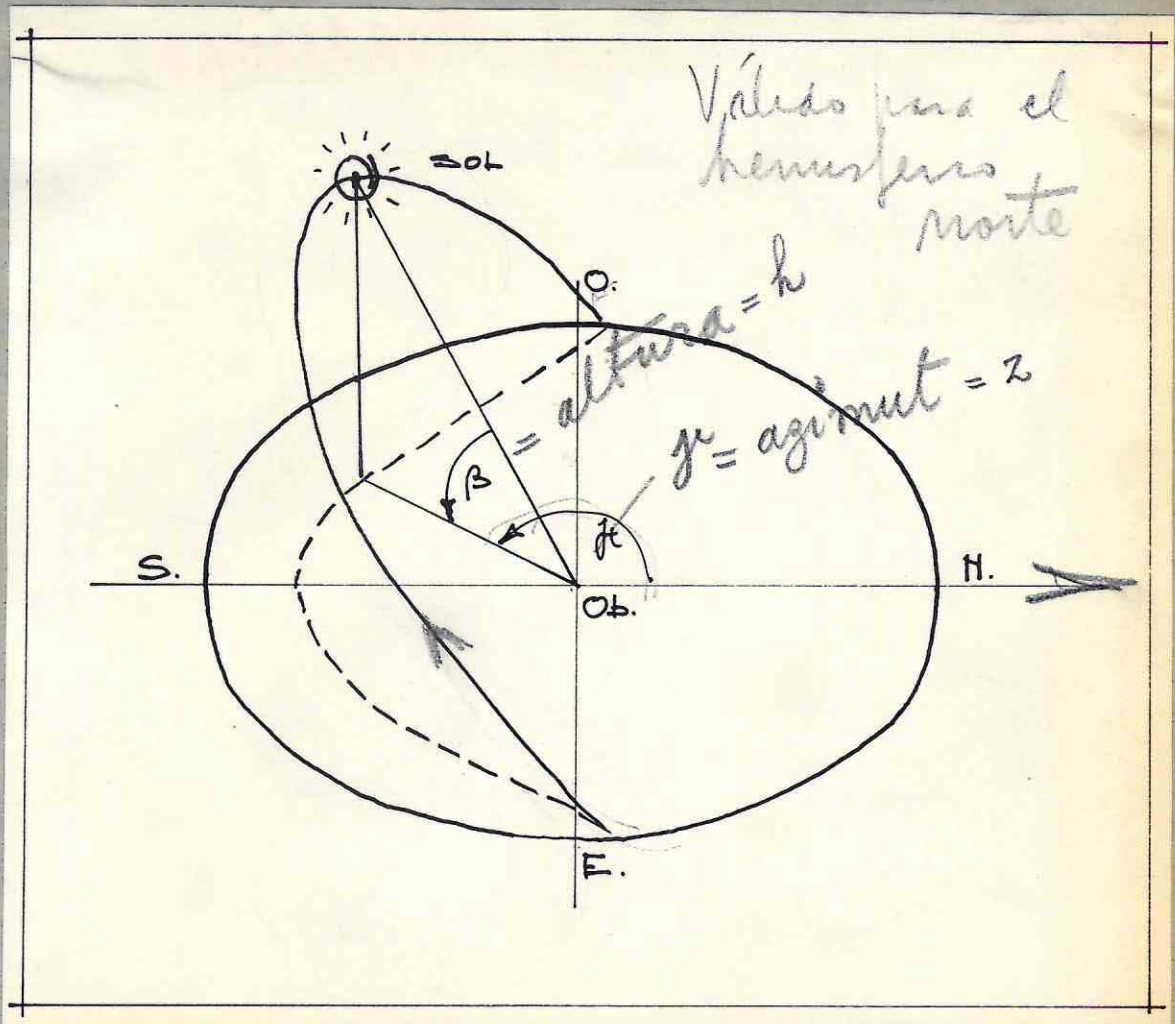


Fig. Nº 14.- Movimiento del sol respecto a un observador.

EL SISTEMA.-RADIACION SOLAR COMO FUENTE PRODUCTORA DE CALOR:

ondas calóricas  
del sol

Recordemos que el 40% de la energía total que nos viene del sol está representada por las radiaciones luminosas, el 59% por las radiaciones infrarrojas y el 1% por las radiaciones ultravioletas.

De estas radiaciones, el infrarrojo corresponde a ondas calóricas, siendo por lo tanto las que se aprovechan como fuente directa de calor; esto no impide que la "luz" sea también aprovechada como fuente de calor en forma indirecta.

La distinción entre rayos caloríficos y rayos luminosos reside únicamente en nuestros sentidos, pues unos y otros son simplemente movimiento ondulatorio del éter. La diferencia se encuentra sólo en sus longitudes de onda.

Partiendo del espectro solar, es decir, las partes o colores en que se divide la luz visible (según longitud de onda), más allá del extremo rojo del espectro vienen las radiaciones infrarrojas, y más allá del extremo violeta vienen las ultravioletas. Las radiaciones calóricas o infrarrojas son aquellas cuya longitud de onda es mayor que 7.600 amgstrong. También decíamos que el infrarrojo comprende longitudes de onda escalonadas entre 343 y  $0,8 \mu$ .

" El sol puede ser asimilado a un cuerpo negro llevado a una temperatura absoluta de  $61000^{\circ}$ " (Watson)

" Los rayos visibles y sobretodo los rayos infrarrojos transportan un cuántum de energía débil en comparación con el cuántum de energía transportada por los rayos ultravioletas. Las radiaciones de frecuencia elevada provocan reacciones foto-químicas, fenómenos

de fluorescencia, reacciones foto-eléctricas; las radiaciones de baja frecuencia se degradan en calor."

(1)

penetración en  
la atmósfera

Los rayos solares pueden atravesar los cuerpos que encuentran, ser reflejados o ser absorbidos.

Cuando la radiación solar penetra en la atmósfera, se produce un fenómeno de absorción atmosférica, donde distinguimos dos aspectos:

La absorción propiamente tal y

La difusión (impresión de que viene de todas partes del cielo).

El resto de la radiación solar llega a la superficie de la tierra.

acción de los  
rayos solares

"Los rayos visibles y los rayos infrarrojos absorbidos por la materia pueden modificar los ciclos respectivos de los átomos (fenómeno foto-químico), pueden provocar en el átomo desplazamiento de electrones de una órbita sobre otra y así hacer nacer una luminosidad (fenómeno de fluorescencia), provocar una expulsión de electrones fuera del átomo (fenómeno foto-eléctrico), o transformar electrones ligados en electrones libres, aumentando así la conductibilidad de los cuerpos semiconductores, y, en fin, pueden degradarse produciendo calor (fenómeno térmico)." (E. y H. Biancani)

monto y valor de  
radiación solar

La tierra recibe un mínimum de las radiaciones

(1) E. et H. Biancani. Texto: "Lumiere et Rayons Infrarouges".

solares; la mayor se escapa a los espacios interestelares y asciende a  $3,8 \times 10^{33}$  ergs/seg. Esto corresponde a  $1,2 \times 10^{41}$  ergs/año. Cada  $\text{cm}^2$  de superficie solar emite  $6,2 \times 10^{10}$  ergs/seg.

La energía de radiación solar por  $\text{seg}/\text{cm}^2$  de superficie terrestre perpendicular a la dirección de los rayos solares es igual a 1.350.000 ergs, teniendo en cuenta la corrección debida a la absorción de la atmósfera.

También se puede decir que "la irradiación solar es de  $2,0 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ , o bien,  $1,4 \text{ Kw}/\text{m}^2$ , en el exterior de la atmósfera terrestre. En general, en días despejados, se calcula que llega al nivel del suelo el 60 a 90% de esta energía." (G. Frick)

El máximo de radiación se produce en el límite de la atmósfera. Al pasar ésta por la atmósfera, se divide, como decíamos, en tres partes principales: una parte es desviada y esparcida en todas direcciones; otra es absorbida y transformada en energía calórica; y el resto llega a la tierra sin alterar sus longitudes de onda.

cálculo de la radiación solar

Se conocen métodos teóricos racionales para el cálculo de la radiación solar recibida por una superficie fuera de la atmósfera y sobre la tierra durante días despejados. Sin embargo, a causa de los complicados efectos de las nubes, no se conoce ningún método para el cálculo del promedio de la energía solar disponible en la superficie de la tierra durante todos los días. El único recurso es el de la experimentación o medición práctica, es decir, el empleo de aparatos (solarímetros) que midan la radiación solar recibida.

aprovechamiento de radiación solar

La energía solar esta muy dispersa debido a la distancia a que se encuentra separado el sol de

la tierra. Esta energía dispersa o difusa, pero no degradada, puede ser aprovechada como fuente productora de energía (calor), bastando para ello idear sistemas capaces de "atrapar" o concentrar esta radiación.

#### TRANSFORMACION EN CALOR (AGUA CALIENTE).-

Para transformar la radiación solar en calor de alta temperatura, es necesario recibir esta radiación mediante sistemas que sean capaces de neutralizar o disminuir el grado de difusión con que llega a la superficie terrestre.

Para ello hemos dicho que se emplean unos aparatos que hemos llamado "colectores de energía solar".

Estos se dividen en general en dos grupos:

- Colectores con concentración de rayos solares.
- Colectores sin concentración o "trampas de calor".

concentradores de rayos solares

En este caso se trata de producir calor de alta temperatura (sobre 100°). El principio consiste en hacer converger en una misma superficie los rayos del sol que llegan paralelamente. Para esto se usa principalmente la reflexión.

Al concentrar los rayos solares, podríamos decir que se suma la energía que acarrean, produciendo el calor o alta temperatura. En este caso se concentra solamente la energía solar directa, sin aprovechamiento de la radiación difusa que se encuentra en la atmósfera. De acuerdo a la eficiencia con que se concentren los rayos solares, se obtendrá una menor o mayor temperatura.

Para concentrar la energía solar pueden emplearse varios sistemas:

- Aparatos constituidos por reflectores planos, que dirigen los rayos solares hacia un mismo punto

consiguiendo temperaturas medianamente altas.

- Aparatos compuestos de diferentes tipos de espejos  
o lentes.

- Aparatos con espejos paraboloïdes, que consiguen  
altísimas temperaturas.

No se profundizará en estos sistemas debido a que  
no corresponden al presente estudio.

colectores solares  
planos (sin concen-  
tración)

Los colectores solares planos transforman la radia-  
ción solar en calor sin concentrar ópticamente los  
rayos del sol, aprovechando la radiación directa y  
la radiación esparcida.

El principio general se basa en la propiedad de todo  
cuerpo negro de absorber "la luz" de todas las lon-  
gitudes de onda, por lo tanto las radiaciones caló-  
ricas del infrarrojo, de gran importancia en nuestro  
caso.

En física se dice que "si un haz luminoso incide  
sobre un cuerpo cuya superficie esta recubierta de  
negro, no habrá luz reflejada ni transmitida. La  
energía de las ondas luminosas incidentes será co-  
municada al cuerpo absorbente, en el que aparecerá  
en forma de calor, y el cuerpo recubierto de negro  
se calentará".

Bastaría exponer a la radiación solar una lámina pin-  
tada de negro, para que de acuerdo a este principio  
de absorción de la "luz", se caliente, cuyo calor  
sería aprovechable.

Pero como esta absorción de "calor" (repetamos que  
la luz por su gama infrarroja es onda calórica)  
no puede ser perfecta, se producen pérdidas, las que  
se evitan formando una caja hermética cubierta de  
vidrio.

Y aquí entramos a otro principio básico de estos  
colectores: "la trampa de calor". El calor se  
"acumula" dentro de esta caja debido a una

propiedad especial del vidrio: es transparente a la radiación solar, pero opaco a la rerradiación de la placa absorbente. Dicho de otro modo, el vidrio deja pasar sin dificultad la radiación solar de cierta longitud de onda —las ondas cortas—, pero la lámina absorbente (metálica) refleja parte de la radiación (rerradiación), cambiando las longitudes de onda —ondas largas—, las cuales no pueden atravesar el vidrio. En esta forma se consigue que el calor quede retenido o atrapado dentro de la caja. Es obvio que el mayor rendimiento de un colector dependerá del grado en que se eviten las pérdidas de calor.

Reduciendo a cifras estas propiedades diatérmicas del vidrio, se dice que "un vidrio de 1/8 de pulgada de espesor, que contenga 0,02% de  $Fe_2O_3$  (óxido férrico), tiene una (permeabilidad) transmisibilidad mayor de 0,9 para las ondas de longitud de 0,4 a 2 micrones pero es de 0 (cero) para longitudes de onda mayores a 4,5 micrones". (1) Es importante recordar estos datos para el cálculo teórico de estos colectores. m

colector para  
agua caliente

Podemos deducir entonces que un colector solar plano deberá componerse de una lámina ennegrecida cubierta por uno o más vidrios, dejando espacios de aire intermedio, para reducir las pérdidas de radiación y convección, y aislada en su parte posterior para reducir las pérdidas de conducción.

(1) Roger N. Morse. "Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization". Australia. Texto: "Proceedings" W.S.A.S.E.

Se pueden colocar varios vidrios para disminuir las pérdidas de calor, pero este aumento de vidrios obviamente disminuye también la transmisión o paso de radiación solar; se estima en tres el número máximo de vidrios que puede usarse. El conjunto debe estar diseñado en la forma de un cajón hermético, para evitar la entrada de agua o polvo, y orientado de modo que sea normal a los rayos del sol al medio día de una época particular del año (la más desfavorable; en general el solsticio de invierno).

Para el suministro de agua caliente aprovechando el calor acumulado por este colector solar, bastará hacer circular agua a través de la lámina absorbente. El contacto debe ser directo, y la forma de hacerse se explicará más adelante. Generalmente se usa cobre como placa absorbente de calor.

#### rendimiento

El análisis teórico de los principios físicos del colector solar plano es muy largo, complicado e irreal; esto se debe a que la radiación solar no es un dato físico al nivel del suelo, siempre afectado por condiciones tan especiales como las climáticas, impureza del ambiente, etc.; es por esto que los investigadores recomiendan preferentemente el análisis experimental.

Este análisis se refiere principalmente a los factores que afectan el rendimiento de los colectores. Estos factores son, a grandes rasgos, los siguientes:

-Reflexión de la superficie del vidrio y absorción dentro del vidrio mismo.

-Radiación y convección que dependen de la temperatura del absorbente, de la temperatura de los alrededores (ambiente), del número de vidrios de cubierta, y de las propiedades ópticas y térmicas de los materiales usados.

-Conductibilidad a través de la parte posterior de la lámina absorbente (se refiere a la conductibilidad a través del material de aislación que debe tener la lámina absorbente en su lado no expuesto a la radiación solar).

Transcribimos a continuación algunas sugerencias para el mejor rendimiento de los colectores solares planos:

-"Alto coeficiente de absorción y bajo coeficiente de reflexión de la tintura absorbente para toda la radiación solar.

-Alta transparencia del vidrio de cubierta para toda la radiación solar, con alto poder de reflexión de la rerradiación.

-Máxima captura de radiación incidente (ángulo de inclinación del colector).

-Contacto directo entre la superficie calentada y el medio o fluido que se quiere calentar (agua en nuestro caso).

-Optima área de contacto, grueso o sección, y velocidad del fluido.

-Suciedad mínima del vidrio." (1)

(1) Nathan Robinson. "Heat, Solar Radiation Laboratory".

Israel Inst. of Technology. Haifa. Israel.

2.- CALENTADORES SOLARES PARA AGUA  
CALIENTE Y SU APLICACION EN LA  
VIVIENDA

La posibilidad de obtener agua caliente aprovechando la energía solar depende primordialmente de razones climatológicas: Si el clima nos permite obtener agua caliente solar durante un período razonable del año, el sistema estaría justificado.

Si la industria pudiera fabricar algún sistema de calentadores solares, racionalizados y standardizados, el costo no tendría por qué ser mayor que los calentadores convencionales; y si lo fuera, el gasto estaría justificado porque se amortizaría en breve tiempo, debido que el sistema no presenta ningún gasto de combustible y de mantención.

Decíamos que para dotar a la vivienda de calentadores solares, sólo se necesitaba una superficie suficiente de colectores y un termo acumulador de agua caliente; Esta área resulta bastante reducida si se compara con la que se necesitaría para la calefacción solar.

ESTUDIOS PARA UN SISTEMA EN CHILE.-

clima

La cantidad de radiación solar que llega a la superficie de la tierra depende principalmente del clima o las condiciones de la atmósfera. Por lo tanto, si queremos determinar si una región es adecuada para el uso de calentadores solares, es necesario que estudiemos sus condiciones climatológicas, a saber, nubosidad, días de lluvia, días de sol, etc. También debemos estudiar factores especiales, como el "smog". Es necesario dejar en claro que los factores netamente geográficos afectan en grado mínimo el aprovechamiento de la energía solar, siendo el clima el factor de mayor importancia. Así por ejemplo, en el verano antártico la radiación solar es de casi dos

langleys, tal como en el exterior de la atmósfera, debido a la claridad y limpidez de ésta en esa región; Se comprende que en la Antártica esta situación dura escasos días.

El clima chileno es especialmente conveniente para aprovechar la energía solar. En la pampa nortina los días están despejados prácticamente durante todo el año. En la zona central los días lluviosos son mínimos.

Recordemos que no es necesario que el tiempo esté despejado durante todo el año para poder instalar calentadores de agua caliente. Es posible acoplar calentadores auxiliares de energía convencional para los períodos de no radiación.

En la figura N° 15 se incluye un cuadro del estado atmosférico anual en las principales ciudades de Chile. El factor climatológico principal que nos hace determinar hasta qué región es posible usar calentadores solares, es la lluvia; esto se debe a que los días nublados no impiden el paso de la radiación infrarroja. Se deduce que hasta Concepción sería posible aprovechar la energía solar, eso sí que con la ayuda de energía convencional auxiliar.

En la figura N° 16 se incluye un cuadro para Santiago. Puede apreciarse que las condiciones son óptimas, al haber sólo 46 días de lluvia al año. El empleo de calentadores auxiliares sería necesario sólo para tres o cuatro meses al año. Incluso podría prescindirse de ellos, ya que en esta ciudad es raro que llueva más de tres días seguidos.

A continuación se incluye una serie de cuadros y tablas que tienen por objeto analizar las condiciones climatológicas para poder determinar qué regiones son más adecuadas para el uso de calentadores solares.

Estas tablas se refieren a promedios de 30 años de días despejados, días nublados y días de lluvia, para las principales ciudades a lo largo de todo Chile.

También se incluyen los datos necesarios para el cálculo teórico de un colector solar para la ciudad de Santiago. Se refieren a: temperaturas y promedios de horas de sol; cuadro de alturas de sol en las diferentes épocas del año (necesario para el cálculo de inclinación del colector); y los valores de la radiación solar representados por las mediciones solarimétricas del año, 1960.

TABLA: N U M E R O D E D I A S D E S P E J A D O SPROMEDIO DE 30 AÑOS:

| <u>ESTACION:</u> | <u>ENERO</u> | <u>FEB</u> | <u>MARZO</u> | <u>ABRIL</u>     | <u>MAYO</u> | <u>JUNIO</u> | <u>JULIO</u> |
|------------------|--------------|------------|--------------|------------------|-------------|--------------|--------------|
| ARICA            | 4.1          | 4.9        | 6.8          | 7.6              | 3.7         | 1.4          | 0.6          |
| ANTOFAGASTA      | 11.6         | 14.3       | 14.7         | 11.7             | 7.5         | 6.8          | 5.3          |
| LA SERENA        | 5.3          | 6.5        | 7.6          | 5.4              | 5.0         | 6.2          | 4.9          |
| VALPARAISO       | 12.0         | 11.0       | 13.0         | 9.0              | 7.0         | 6.0          | 8.0          |
| SANTIAGO         | 23.0         | 20.0       | 19.0         | 14.0             | 9.0         | 7.0          | 8.0          |
| CURICO           | 23.0         | 18.0       | 18.0         | 11.0             | 5.0         | 3.0          | 4.0          |
| CONCEPCION       | 17.2         | 13.6       | 12.5         | 8.0              | 4.8         | 3.7          | 5.7          |
| TEMUCO           | 9.6          | 7.4        | 6.7          | 4.2              | 2.4         | 1.9          | 3.3          |
| VALDIVIA         | 10.3         | 8.7        | 7.0          | 3.5              | 1.3         | 0.9          | 1.6          |
| PTO AYSEN        | 3.0          | 3.0        | 2.0          | 1.0              | 3.0         | 2.0          | 1.0          |
| PTA ARENAS       | 1.0          | 1.0        | 1.0          | 1.0              | 3.0         | 3.0          | 3.0          |
|                  | <u>AGOST</u> | <u>SEP</u> | <u>OCT</u>   | <u>NOVIEMBRE</u> | <u>DIC</u>  | <u>AÑO</u>   |              |
| ARICA            | 0.7          | 0.5        | 1.2          | 3.4              | 5.3         | 39.8         |              |
| ANTOFAGASTA      | 5.2          | 4.4        | 4.0          | 5.8              | 7.6         | 98.9         |              |
| LA SERENA        | 7.2          | 7.0        | 5.5          | 5.8              | 5.8         | 72.2         |              |
| VALPARAISO       | 9.0          | 8.0        | 9.0          | 11.0             | 13.0        | 116.0        |              |
| SANTIAGO         | 8.0          | 9.0        | 11.0         | 15.0             | 20.0        | 163.0        |              |
| CURICO           | 5.0          | 5.0        | 7.0          | 12.0             | 19.0        | 130.0        |              |
| CONCEPCION       | 7.2          | 7.1        | 8.9          | 10.5             | 14.8        | 114.0        |              |
| TEMUCO           | 3.8          | 4.1        | 5.0          | 5.1              | 7.1         | 60.6         |              |
| VALDIVIA         | 2.5          | 3.5        | 5.2          | 5.8              | 6.5         | 56.8         |              |
| PTO AYSEN        | 3.0          | 2.0        | 3.0          | 2.0              | 3.0         | 28.0         |              |
| PTA ARENAS       | 3.0          | 2.0        | 2.0          | 1.0              | 1.0         | 22.0         |              |

TABLA: N U M E R O D I A S N U B L A D O S Promedio 30 Años:

|             | <u>ENERO</u> | <u>FEB</u> | <u>MARZO</u> | <u>ABRIL</u> | <u>MAYO</u> | <u>JUNIO</u> | <u>JULIO</u> |
|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| ARICA       | 4.5          | 3.3        | 2.1          | 3.0          | 7.1         | 9.2          | 8.6          |
| ANTOFAGASTA | 1.7          | 1.4        | 1.0          | 2.4          | 3.0         | 2.9          | 5.2          |
| LA SERENA   | 4.2          | 4.2        | 6.3          | 11.0         | 11.2        | 9.0          | 11.2         |
| VALPARAISO  | 4.0          | 4.0        | 5.0          | 8.0          | 12.0        | 12.0         | 12.0         |
| SANTIAGO    | 2.0          | 2.0        | 3.0          | 6.0          | 11.0        | 13.0         | 13.0         |
| CURICO      | 1.0          | 2.0        | 2.0          | 6.0          | 14.0        | 15.0         | 14.0         |
| CONCEPCION  | 3.5          | 3.8        | 5.1          | 9.0          | 15.0        | 15.4         | 14.3         |
| TEMUCO      | 4.9          | 4.9        | 8.3          | 11.5         | 16.6        | 16.5         | 17.5         |
| VALDIVIA    | 4.1          | 5.1        | 7.1          | 12.1         | 16.2        | 15.7         | 17.7         |
| PTO AYSEN   | 20.0         | 17.0       | 21.0         | 22.0         | 21.0        | 23.0         | 22.0         |
| PTA ARENAS  | 14.0         | 11.0       | 12.0         | 12.0         | 11.0        | 11.0         | 11.0         |
|             | <u>AGOST</u> | <u>SEP</u> | <u>OCT</u>   | <u>NOV</u>   | <u>DIC</u>  | <u>AÑO</u>   |              |
| ARICA       | 10.8         | 8.8        | 5.8          | 4.5          | 3.8         | 71.5         |              |
| ANTOFAGASTA | 7.1          | 7.0        | 6.8          | 4.4          | 2.2         | 45.7         |              |
| LA SERENA   | 10.5         | 9.2        | 10.5         | 7.6          | 5.1         | 100.0        |              |
| VALPARAISO  | 10.0         | 9.0        | 9.0          | 5.0          | 4.0         | 94.0         |              |
| SANTIAGO    | 12.0         | 11.0       | 8.0          | 5.0          | 2.0         | 88.0         |              |
| CURICO      | 12.0         | 10.0       | 7.0          | 4.0          | 2.0         | 89.0         |              |
| CONCEPCION  | 12.3         | 8.8        | 7.1          | 6.0          | 5.0         | 105.3        |              |
| TEMUCO      | 15.8         | 12.7       | 12.3         | 10.0         | 8.2         | 139.2        |              |
| VALDIVIA    | 14.1         | 10.5       | 7.9          | 6.8          | 6.3         | 124.2        |              |
| PTO AYSEN   | 20.0         | 17.0       | 18.0         | 20.0         | 19.0        | 240.0        |              |
| PTA ARENAS  | 11.0         | 10.0       | 10.0         | 13.0         | 14.0        | 140.0        |              |

DATOS PROPORCIONADOS POR LA "OFICINA METEREOLÓGICA DE CHILE"  
SECCION CLIMATOLOGIA!

TABLA:            NUMERO DE DIAS CON LLUVIAS  
PROMEDIO DE 30 AÑOS

| <u>ESTACION:</u> | <u>ENERO</u> | <u>FEB</u> | <u>MARZO</u> | <u>ABRIL</u> | <u>MAYO</u> | <u>JUNIO</u> | <u>JULIO</u> |
|------------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| ARICA            | 0            | 0          | 0            | 0            | 0           | 0.3          | 0.3          |
| ANTOFAGASTA      | 0            | 0          | 0            | 0.1          | 0.1         | 0.2          | 0.5          |
| LA SERENA        | 0.3          | 0.3        | 0.5          | 0.9          | 2.2         | 3.3          | 3.1          |
| VALPARAISO       | 0.8          | 0.6        | 0.8          | 2.6          | 6.6         | 8.8          | 7.2          |
| SANTIAGO         | 0.5          | 0.5        | 0.7          | 2.8          | 6.7         | 8.5          | 8.0          |
| CURICO           | 0.5          | 0.5        | 1.1          | 3.5          | 9.2         | 11.5         | 9.0          |
| CONCEPCION       | 1.9          | 2.4        | 4.6          | 8.5          | 13.5        | 15.8         | 14.6         |
| TEMUCO           | 5.2          | 5.7        | 8.9          | 12.5         | 17.4        | 19.1         | 17.6         |
| VALDIVIA         | 8.1          | 7.9        | 11.3         | 14.7         | 20.5        | 22.3         | 21.1         |
| PTO AYSEN        | 16.8         | 14.8       | 16.5         | 17.5         | 19.1        | 19.2         | 21.2         |
| PTA ARENAS       | 10.0         | 9.0        | 10.0         | 12.0         | 11.0        | 10.0         | 10.0         |

|             | <u>AGOST</u> | <u>SEP</u> | <u>OCT</u> | <u>NOV</u> | <u>DIC</u> | <u>AÑO</u> |
|-------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ARICA       | 0.3          | 0.2        | 0          | 0          | 0          | 1.1        |
| ANTOFAGASTA | 0.3          | 0.5        | 0.4        | 0.2        | 0          | 2.3        |
| LA SERENA   | 3.1          | 2.5        | 1.8        | 1.2        | 0.4        | 19.6       |
| VALPARAISO  | 6.5          | 3.8        | 3.2        | 1.6        | 0.8        | 43.3       |
| SANTIAGO    | 6.9          | 5.5        | 3.9        | 1.8        | 0.4        | 46.2       |
| CURICO      | 8.1          | 6.0        | 3.8        | 2.3        | 1.2        | 56.7       |
| CONCEPCION  | 12.7         | 10.3       | 7.1        | 5.8        | 3.6        | 100.8      |
| TEMUCO      | 16.5         | 13.9       | 11.1       | 10.5       | 7.8        | 146.2      |
| VALDIVIA    | 20.0         | 16.2       | 13.2       | 12.2       | 11.4       | 178.9      |
| PTO AYSEN   | 17.6         | 15.2       | 15.8       | 16.8       | 16.0       | 206.4      |
| PTA ARENAS  | 9.0          | 9.0        | 7.0        | 8.0        | 11.0       | 117.0      |

TABLA:            PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL DE  
HORAS DE SOL

| <u>ESTACION:</u> | <u>FECHA</u> | <u>ENERO</u> | <u>FEB</u> | <u>MARZO</u> | <u>ABRIL</u> | <u>MAYO</u> | <u>JUNIO</u> | <u>JULIO</u> |
|------------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| SANTIAGO         | 1930/50      | 332.4        | 276.9      | 271.1        | 193.9        | 116.3       | 95.5         | 113.7        |
| CONCEPCION       | 1945/53      | 275.3        | 223.2      | 208.0        | 153.3        | 97.8        | 73.0         | 99.2         |

|            | <u>AGOST</u> | <u>SEP</u> | <u>OCT</u> | <u>NOV</u> | <u>DEC</u> | <u>AÑO</u> |
|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SANTIAGO   | 136.2        | 161.4      | 212.7      | 263.9      | 327.0      | 2501.0     |
| CONCEPCION | 130.1        | 165.5      | 217.5      | 237.7      | 277.0      | 2148.6     |

TABLA:            TEMPERATURA MEDIA MENSUAL  
EN SANTIAGO:

| <u>FECHA:</u>          | <u>ENERO</u> | <u>FEB</u> | <u>MARZO</u> | <u>ABRIL</u> | <u>MAYO</u> | <u>JUNIO</u> | <u>JULIO</u> | <u>AGOST</u> |
|------------------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| TEMP.<br>MEDIA<br>° C. | 20.2         | 20.5       | 18.4         | 13.3         | 11.2        | 8.3          | 9.0          | 9.4          |
|                        | <u>SEPT</u>  | <u>OCT</u> | <u>NOV</u>   | <u>DIC</u>   |             |              |              |              |
|                        | 12.7         | 14.2       | 17.6         | 20.8         |             |              |              |              |



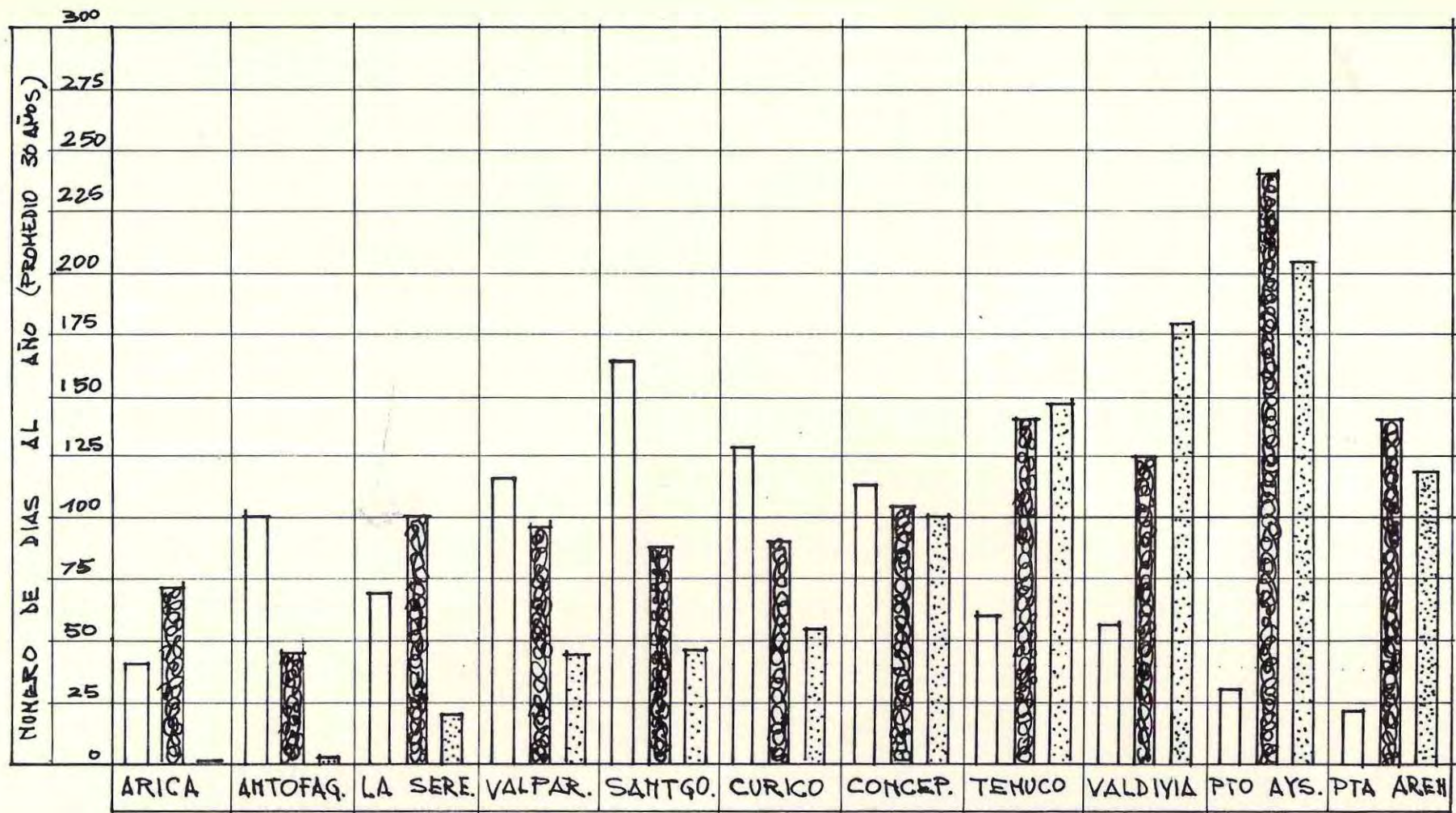
consumos de agua  
caliente

No existe en Chile reglamento ni norma alguna que permita deducir los consumos de agua caliente, necesarios para nuestro cálculo.

La firma "SOCLIMA" da un valor de consumo medio por persona al día de alrededor de 100 litros. Basándonos en valores estimados por el "CIESA", presentamos a continuación el consumo semanal de agua caliente para una familia media de 5 personas. Para el cálculo de calorías consideraremos que el agua fría sale de la llave en Santiago a un promedio anual de 10°:

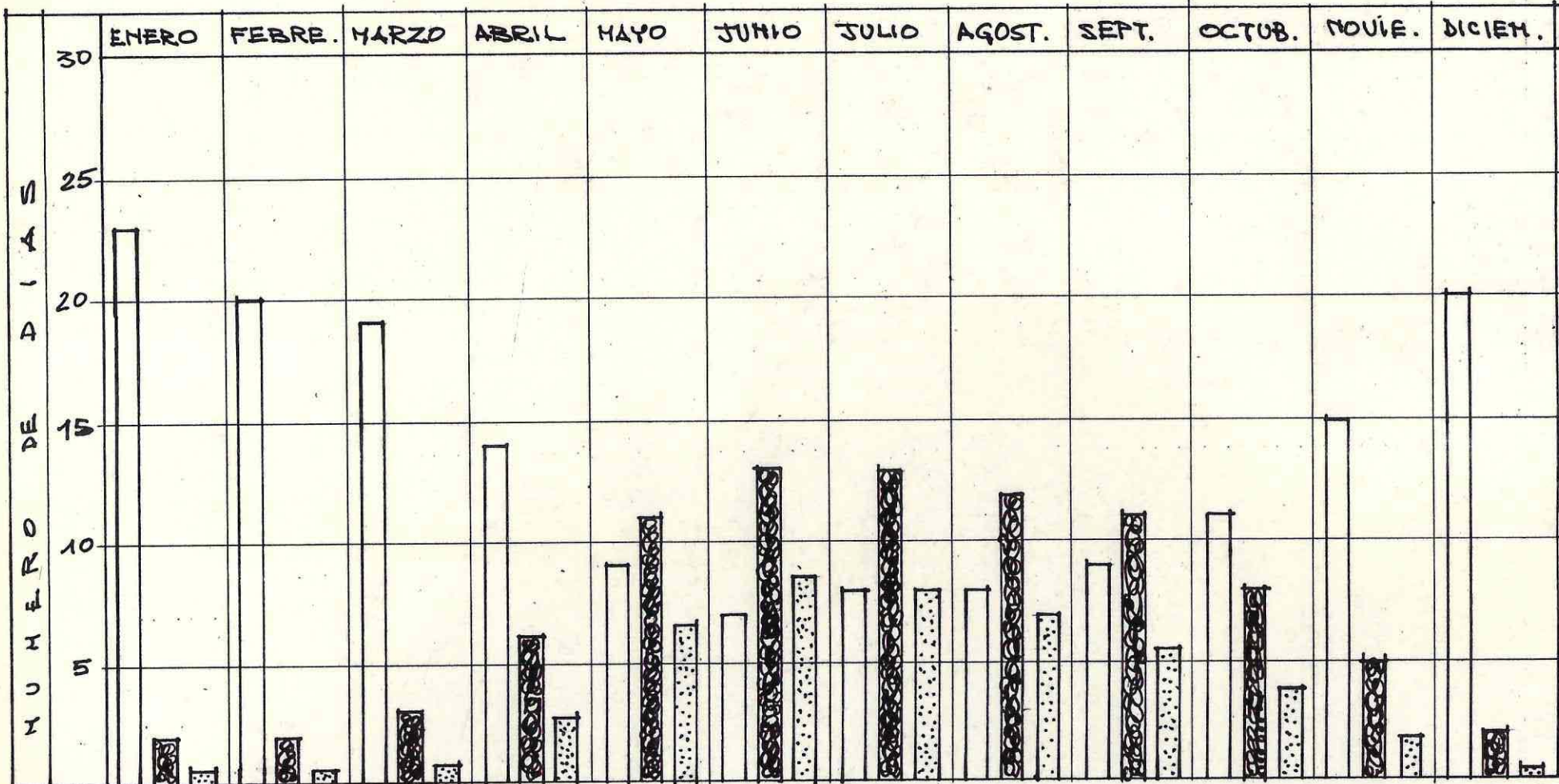
|                     |                     |                |
|---------------------|---------------------|----------------|
| - Lavado de ropa:   | 40 l a 80° C....    | 2.800.000 cal  |
| - Baño (duchas) :   | 750 l a 35° C....   | 18.750.000 cal |
| - Lavaplatos        | : 224 l a 48° C.... | 8.512.000 cal  |
| - Comidas           | : 60 l a 90° C....  | 4.800.000 cal  |
| Total semanal ..... |                     | 34.862.000 cal |

Consumo diario: aproximadamente... 5.000.000 cal.



CUADRO ANUAL DE ESTADO ATMOSFERICO EN LAS CIUDADES INDICADAS - PROMEDIO DE 30 AÑOS. DATOS EXTRAIDOS DE LOS REGISTROS DE LA OF. METEOROLOGICA.

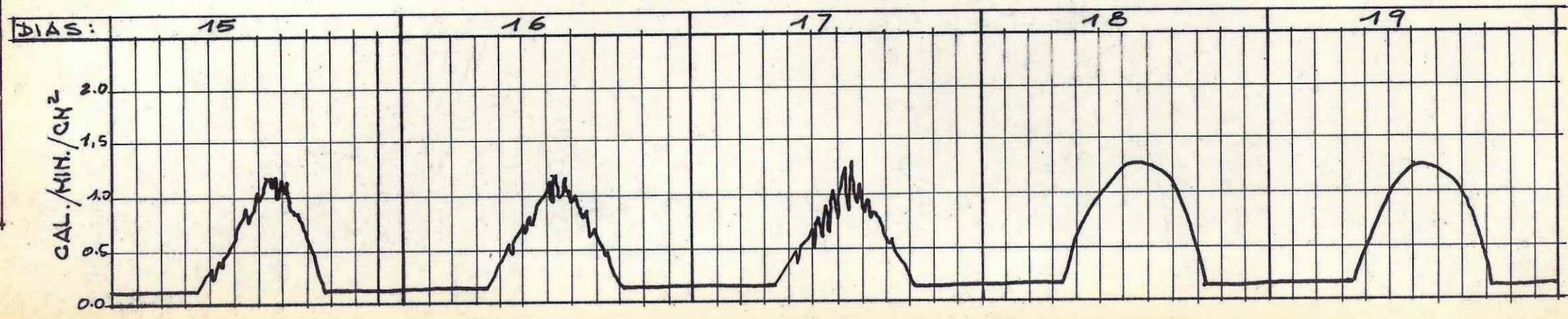
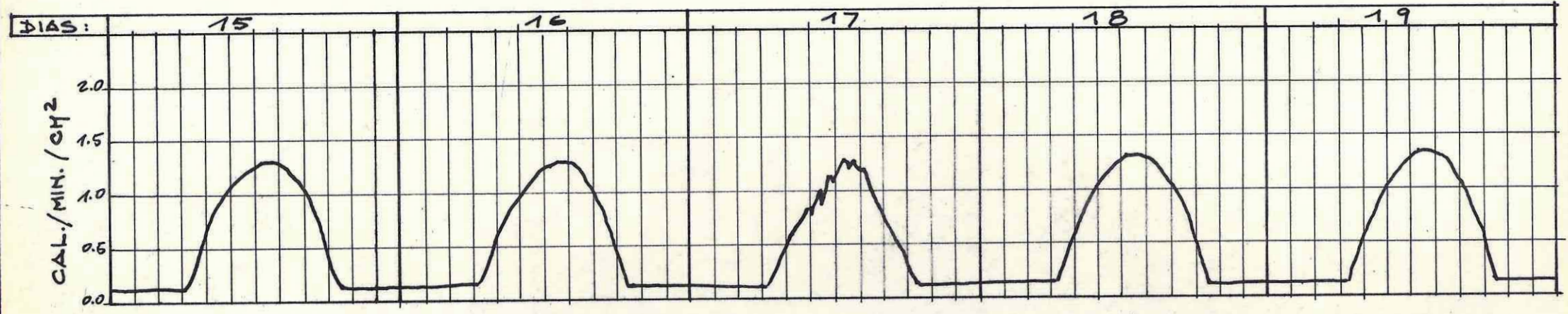
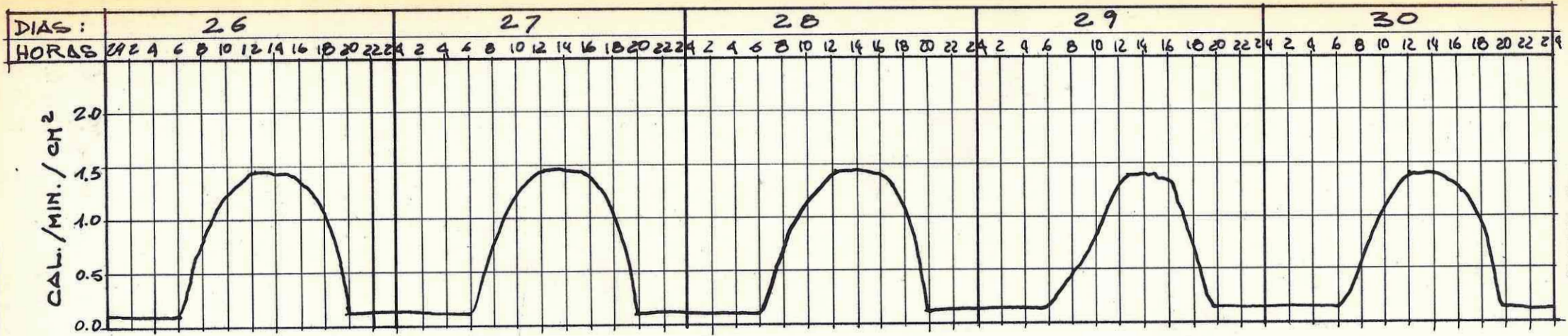
DIAS DESPEJADOS   
 DIAS HURBADOS   
 DIAS LLUVIOSOS



CUADRO MENSUAL DE ESTADO DEL TIEMPO EN SANTIAGO. PROMEDIO DE 30 AÑOS (DATOS OBTENIDOS EN LA OFICINA METEOROLOGICA)

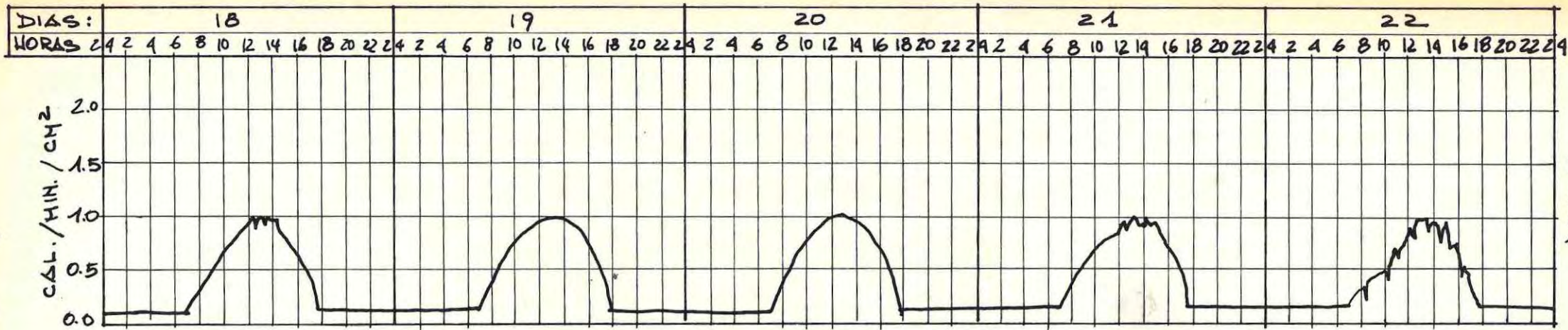
DIAS DESPEJADOS  163 DIAS AL AÑO  
 DIAS NUBLADOS  88 DIAS AL AÑO  
 DIAS DE LLUVIA  46,2 DIAS AL AÑO

RADIACION SOLAR MEDIDA EN SANTIAGO

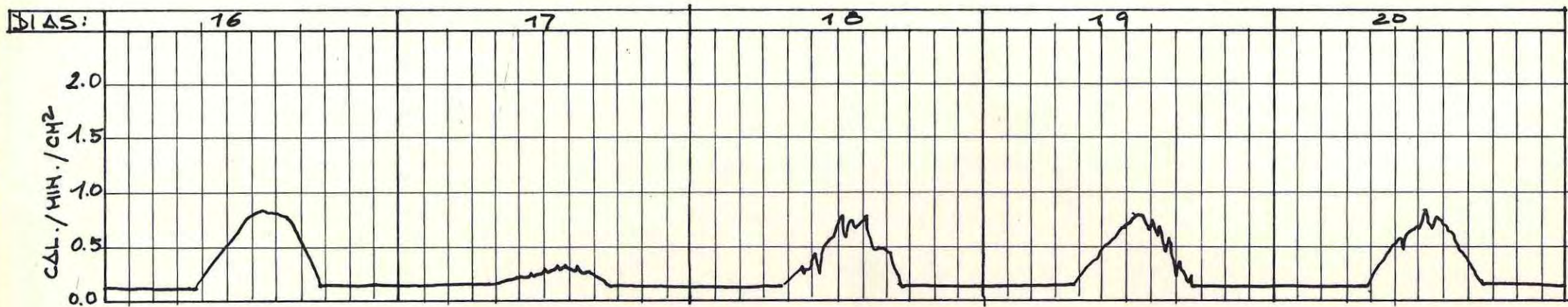


ENERO  
 FEBRERO  
 MARZO  
 SOLARIGRIFO OF. METEOROLOGICA • SANTIAGO AÑO 1960

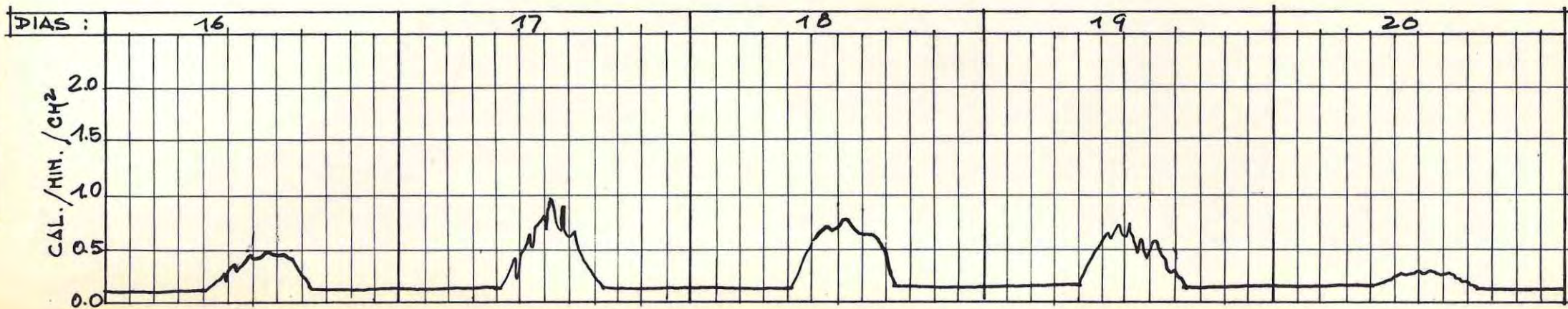
RADIACION SOLAR MEDIDA EN SANTIAGO



ABRIL



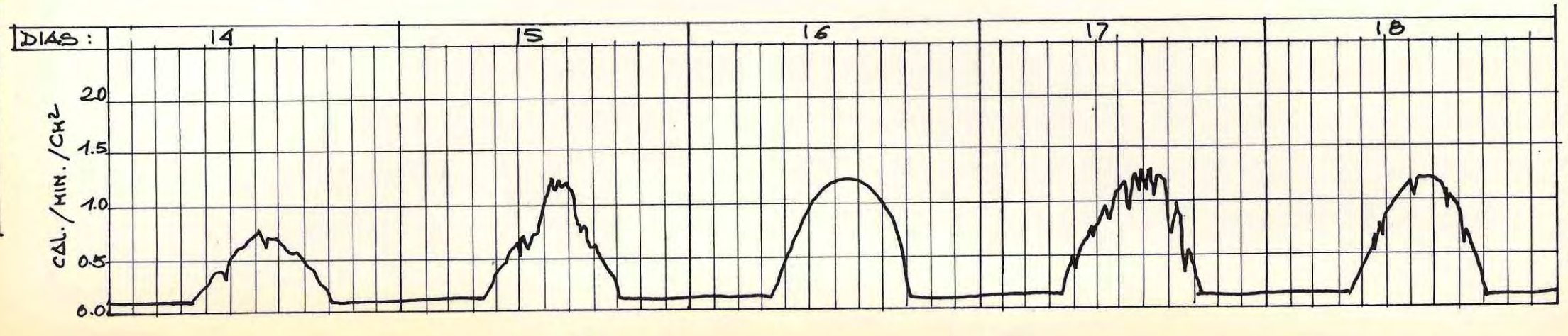
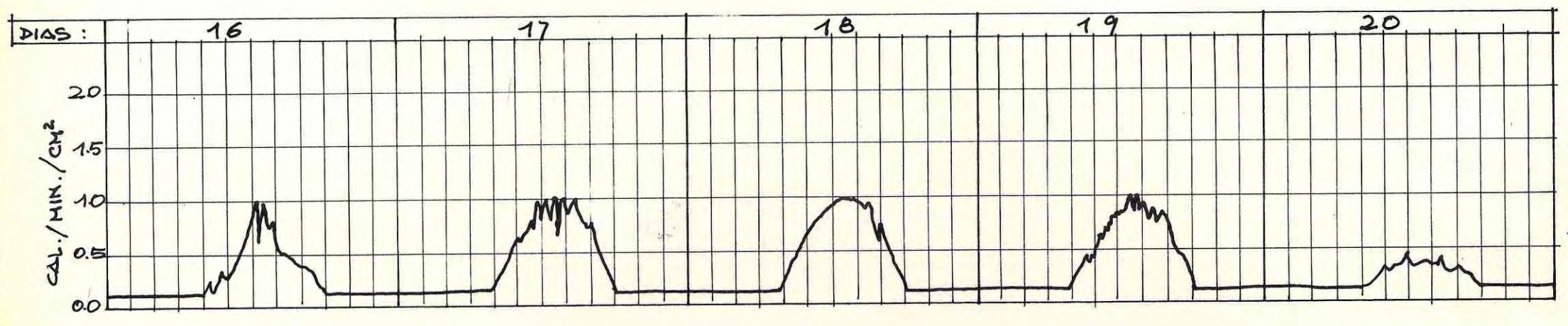
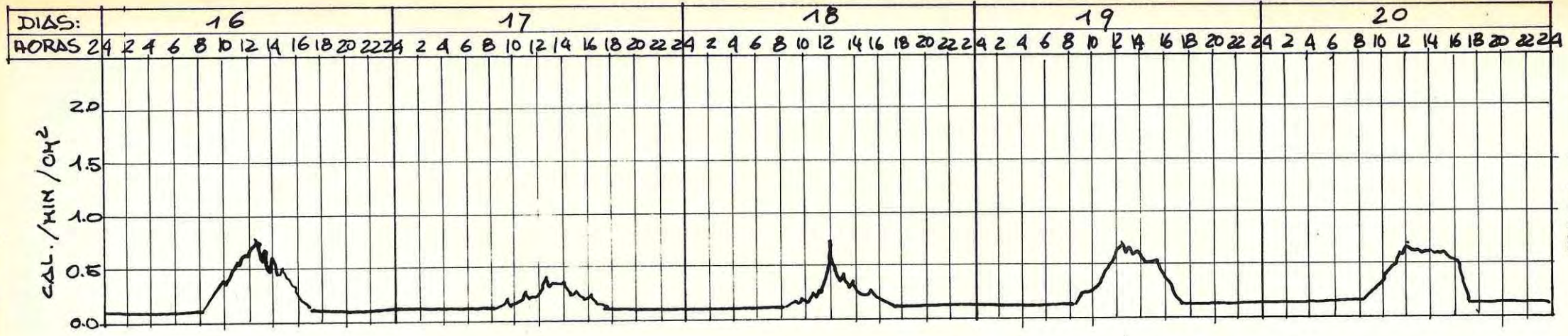
MAYO



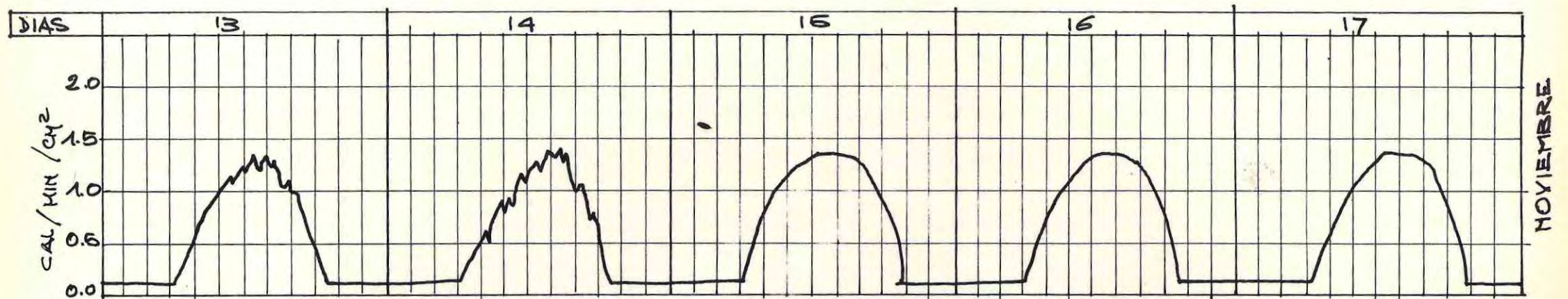
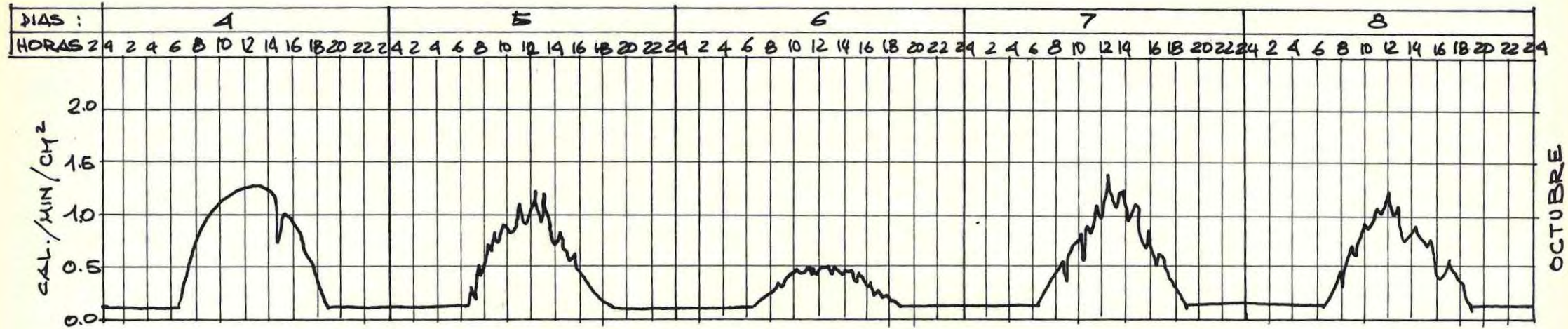
JUNIO

SOLARIGRAFO OF. METEOROLOGICA. SANTIAGO - AÑO 1960

RADIACION SOLAR MEDIDA EN SANTIAGO



JULIO  
 AGOSTO  
 SEPTIEMBRE  
 SOLARIGRAPH OF METEOROLOGICA. SANTIAGO. - AÑO 1960



RADIACION SOLAR DE SANTIAGO MEDIDA POR LA "OFICINA METEOROLOGICA DE CHILE"  
 MEDIANTE SOLARIGRAFOS INSTALADOS PERMANENTEMENTE DURANTE 1960  
 NOTA : FALTA DICIEMBRE DEBIDO A QUE LOS DATOS SE TOMARON ANTES DEL TERMINO DEL AÑO

(DATOS TOMADOS POR EL ALUNNO DIRECTAMENTE DE LOS REGISTROS SOLARIMETRICOS.)

### 3.- CALCULO Y DETERMINACION TEORICA DE LOS COLECTORES

principio teórico

Decíamos que el principio básico era considerar una placa metálica plana expuesta a la radiación solar. Tomando un valor constante para la radiación solar incidente, la temperatura de la placa aumentará hasta que haya un equilibrio entre esta energía radiante incidente y las varias formas de pérdidas de calor.

La eficacia de colección aumentará mejorando el valor de absorción en la superficie de exposición de la placa metálica y reduciendo las pérdidas de calor. Decíamos que esto puede lograrse pintando la superficie expuesta de color negro, puliendo la superficie posterior y protegiéndola con material aislante, y cubriendo la placa con uno o más vidrios. Los vidrios tienen una función fundamental: Aunque la energía radiante incidente en la superficie metálica receptora es reducida por reflexión y absorción en cada vidrio, la reducción de la pérdida de calor desde la placa metálica hacia la atmósfera excede la pérdida por transmisión en los vidrios, y con ello se produce una gran ganancia en el calor colectado. Este beneficio se debe principalmente a la reducción de la pérdida de calor por convección desde la superficie de absorción, y es por esto que un segundo y aún un tercer espacio de aire se transforma en una ventaja adicional; es así como la capa de aire inmediatamente en contacto con la superficie metálica se calienta extraordinariamente. Finalmente recordemos la reducción de la pérdida de rerradiación (radiación desde la superficie metálica), debido a la opacidad del vidrio para las

radiaciones de mayor longitud de onda.

El número óptimo de vidrios depende de la intensidad de la radiación incidente y de la temperatura del calor de colección. (1)

"Analizando un sistema típico de estos colectores, se llegó a que la pérdida por enfriamiento  $H_c$  en Btu/pie<sup>2</sup>/hora, era igual a :

$$H_c = c(T - T_a)^{1,3}$$

Siendo  $T$  la temperatura del plano absorbente

$T_a$  la temperatura ambiente

$c$  valores estimados para

1 vidrio = 0,42

2 vidrios = 0,30

3 vidrios = 0,22

Los coeficientes de transmisión de los vidrios tienen un valor de:

0,9 para 1 vidrio

0,81 para 2 vidrios y

0,73 para 3 vidrios." (2)

Cuando la temperatura atmosférica es más constante, es preferible usar menor número de vidrios; pero cuando hay grandes diferencias de temperatura, debe usarse un mayor número de vidrios.

(1) Gran parte de estos conceptos fueron extraídos de un trabajo publicado por H. Heywood.

(2) H. Heywood, Inglaterra. Texto: "Solar Energy for Water- and Space-heating".

cálculo

Para calcular el calor absorbido por un colector solar plano existe un método llamado "fórmula de Hottel". (1)

El Dr. Hottel desarrolló una fórmula para calcular la energía solar colectada en relación a:

- La transmisibilidad del vidrio.
- La absorción de la lámina colectora (absorbente) y
- Las características térmicas de la unidad.

Determinó que bajo condiciones constantes, el valor de calor de colección por unidad de superficie

$H_t$  era igual a:

$$\underline{H_t = E_j - H_c}$$

en que

$E$  es el valor de la radiación solar por unidad de área en la superficie exterior del colector (dato del solarígrafo).

$j$  es la transmisibilidad promedio del sistema de vidrios (0,9 para un vidrio; 0,81 para dos; y 0,22 para tres).

$H_c$  es el valor de la pérdida de calor por unidad de área debido a la rerradiación, conducción y convección.

$H_c$  puede considerarse como la suma de las pérdidas por el frente y por la parte posterior del absorbedor.

Para  $H_c$  Hottel propone:

(1) Método presentado por Roger N. Morse, de Australia.

$$H_c = \frac{T - T_a}{\frac{n}{C \sqrt{\frac{T - T_a}{n + f}} + \frac{1}{h_w}} + \frac{\sigma(T^4 - T_a^4)}{\frac{1}{\epsilon_c} + \frac{2n + f - 1}{\epsilon_g} - n}}$$

en que:

- $T$  y  $T_a$  son las temperaturas del plano absorbente y del ambiente respectivamente (grados F).
- $f$  relación o razón entre la resistencia térmica del vidrio exterior y el promedio del vidrio interior; su valor es de 0,36 (para viento de 10 millas/hora).
- $h_w$  coeficiente de convección para el plano exterior: 4,07 (viento de 10 m/hora).
- $\epsilon_c$  y  $\epsilon_g$  emisión del colector y el vidrio; valores de 0,95 y 0,96 respectivamente.
- $C$  coeficiente de convección para el intervalo de aire entre los vidrios; 0,16 para 40° de inclinación del colector.
- $\sigma$  constante de "Stephan-Boltzmann":  
17,2 x 10<sup>10</sup> Btu/pie<sup>2</sup>/hora.
- $n$  número de vidrios.

Podemos imaginar la complicación y dificultad de este problema, desde el momento que la radiación solar cambia constantemente en magnitud y dirección, y su composición espectral varía a través del día debido a la masa de aire "cambiante" de la atmósfera.

Pero recordemos el método simplificado y producto de la experiencia desarrollado por Heywood para el cálculo de las pérdidas  $H_c$ .

$$H_c = c(T - T_a)^{1,3} \quad \text{Btu/pie}^2/\text{hora}$$

(c = 0,42 ; 0,30 ; y 0,22 para uno, dos y tres vidrios respectivamente).

ejemplo de cálculo

Calcularemos el valor del calor de colección o radiación solar aprovechada por un colector solar por unidad de superficie, para la ciudad de Santiago. Para ello tomaremos un día desfavorable del año: En este caso será el 18 de Agosto del año 1960, a las 12 meridiano. En ese momento el solarígrafo nos marcó una radiación solar de 1 langley ( 1 cal/min/cm<sup>2</sup>).

Tenemos que

$$H_t = E\mu - H_c$$

$H_t$  = radiación aprovechada en Btu/hora/pie<sup>2</sup>

$E$  = radiación recibida = 1 langley  
= 221,5 Btu/hora/pie<sup>2</sup>

$\mu$  = 0,9 (calculamos para 1 vidrio).

$$H_c = c(T - T_a)^{1,3}$$

c = 0,42 (para 1 vidrio)

T = 60°C = 140° F (temperatura aproximada placa absorbente)

T<sub>a</sub> = 20° C = 68° F (temperatura ambiente)

$$H_c = 0,42 (140 - 68)^{1,3}$$

$$H_c = 0,42 \sqrt[3]{(72)^4} \quad (\text{suponemos } (72)^{1,3} = (72)^{\frac{4}{3}})$$

$$H_c = 0,42 \times 295 = \underline{124,2 \text{ Btu/hora/pie}^2}$$

Llevamos  $H_c$  a fórmula :

$$H_t = E - H_c$$

$$H_t = 221,5 \times 0,9 - 124,2$$

$$\underline{H_t = 75,15 \text{ Btu/hora/pie}^2}$$

Valor de la radiación aprovechada o eficiencia del colector.

cálculo de  
superficie de  
colectores

Para calcular los  $m^2$  de superficie de colección para una familia de cinco personas en la ciudad de Santiago, procedemos de la siguiente manera:

Para ello debemos conocer la eficiencia o energía utilizada durante el día por el colector solar. Supondremos que desde las 11 A.M. hasta las 3 P.M. el colector tuvo la misma eficiencia de  $75,15 \text{ Btu}$  por hora por  $\text{pie}^2$ ; obsérvese en la tabla la curva solarimétrica del 18 de Agosto que nos preocupa, y se verá que en dicho período (4 horas) no se produce gran variación de radiación solar.

Supondremos que entre las 10 y 11 A.M. del día indizado tuvimos una eficiencia de  $50 \text{ Btu/hora/pie}^2$ . y otro tanto después de las 3 P.M.

Tenemos entonces:

$$H_t \text{ día} = 75,15 \times 4 + 100 = 400$$

$$H_t \text{ día} = 400 \text{ Btu/pie}^2/\text{pie}^2$$

recordemos que

$$1 \text{ cal/cm}^2 = 3,69 \text{ Btu/pie}^2$$

$$H_t \text{ día} = \frac{400}{3,69} = 108,5 \text{ cal/cm}^2$$

Recordemos el dato de consumo diario de calorías para una familia de cinco personas. Corresponde a 5.000.000 de calorías.

Por lo tanto la superficie de colectores para obtener estas 5.000.000 de calorías será:

$$\frac{5.000.000}{108,5 \times 10.000} = 4,6 \text{ m}^2$$

SUPERFICIE COLECTORES = 4,6 metros cuadrados

método práctico

Este método ha sido sugerido por el C.I.E.S.A. (Centro Investigaciones Energía Solar Aplicada).

El método parte de un concepto llamado eficiencia o rendimiento, que es la razón entre la radiación solar aprovechada por un colector y la radiación recibida.

Es necesario entonces calcular el total de radiación solar recibida en el día que nos preocupa (18 de Agosto).

El CIESA calcula la radiación aprovechada experimentalmente. Es decir, parten de la construcción de un colector solar experimental, del que miden directamente las calorías y por lo tanto la radiación aprovechada.

Nosotros aplicaremos este dato calculado en el problema anterior.

Calculamos la radiación recibida cubicando la curva solarimétrica del día que nos preocupa, por no existir en Santiago mediciones de la radiación solar total en un día:

El cálculo nos dió un valor de 444 cal/cm<sup>2</sup>/día.

$$\text{Rendimiento} = \frac{108,5}{444} = 24,4\% = 25\%$$

Se supone que en Santiago se recibe una radiación solar promedio al año de 500 calorías/día/cm<sup>2</sup>.

Pero esto se refiere a los días con radiación solar. Si suponemos en 300 estos días de radiación tenemos:

$$\text{radiación anual} = 500 \times 300 = 150.000 \text{ cal/cm}^2/\text{año}$$

Aplicando la eficiencia calculada, la radiación aprovechada será de

$$\begin{aligned} \text{rad. aprovechada} &= 150.000 \times 0,25 \\ &= 37,600 \text{ cal/cm}^2/\text{año} \end{aligned}$$

Tenemos que el consumo familiar de calorías por año es de 1.700.000 Kcal/año.

Por lo tanto necesitaremos una superficie de:

$$\frac{1.700.000.000}{37.600 \times 10.000} = 4,79 \text{ m}^2$$

SUPERFICIE COLECTORES = 4,79 metros cuadrados.

### Conclusión

Vemos que la superficie recomendable de colectores solares para una familia de cinco personas en la ciudad de Santiago debe fluctuar entre 4 y 5 metros cuadrados. Cabe destacar que nuestros resultados coinciden con las superficies empleadas en los colectores solares que algunos particulares han instalado en la ciudad de Santiago, y cuyos resultados han sido ampliamente satisfactorios.

Para concluir digamos que sería lícito emplear una superficie de 4 m<sup>2</sup> en Santiago, si se utilizaran colectores con dos vidrios.

termo acumulador

De acuerdo a los cálculos de consumo de calorías que incluimos anteriormente, podemos determinar que el sistema de calentadores solares de agua caliente debe estar equipado con un termo acumulador de alrededor de 200 litros de capacidad. La capacidad de los termos almacenadores de agua caliente producida por energía solar, dependerá también del tiempo que se desee suministrar agua caliente, en períodos de no colección de radiación solar. De acuerdo a la experiencia, pueden recomendarse termo-acumuladores de hasta un máximo de 500 litros de capacidad.

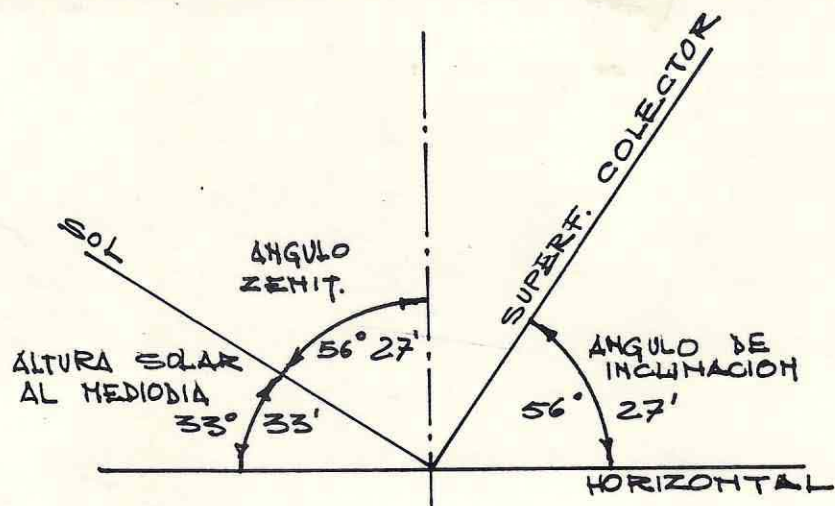
cálculo de inclinación.

El cálculo del ángulo de inclinación de un colector solar está en relación con la altura solar.

Se elige siempre la época más desfavorable del año. Para calcular la inclinación en la región de Santiago, consideramos la altura solar al mediodía en el solsticio de invierno. La superficie del colector debe ser perpendicular a la altura solar.

El ángulo de inclinación de un colector solar para Santiago es de  $56^{\circ} 27'$ .

En la figura N° 17 se muestra gráficamente esta determinación.



CALCULO DE LA INCLINACION DE UN COLECTOR SOLAR PARA STGO EN EL SOLSTICIO DE INVIERNO, A LAS 12 MERIDIANO

Fig. N° 17.-

4.- CONSTRUCCION DE UN APARATO

proyecto

El problema del diseño de un colector solar consiste principalmente en encontrar una solución técnica adecuada que resuelva o refleje los principios teóricos que determinan este sistema.

Debe resolverse en la mejor forma posible el problema de la hermeticidad del colector, la aislación, el flujo o circulación del agua, el contacto térmico directo de ésta con la placa absorbente, el metal y pintura de esta placa, etc, etc.

En la figura N° 18 se muestran esquemáticamente algunos tipos y soluciones de colectores solares para agua caliente.

standards

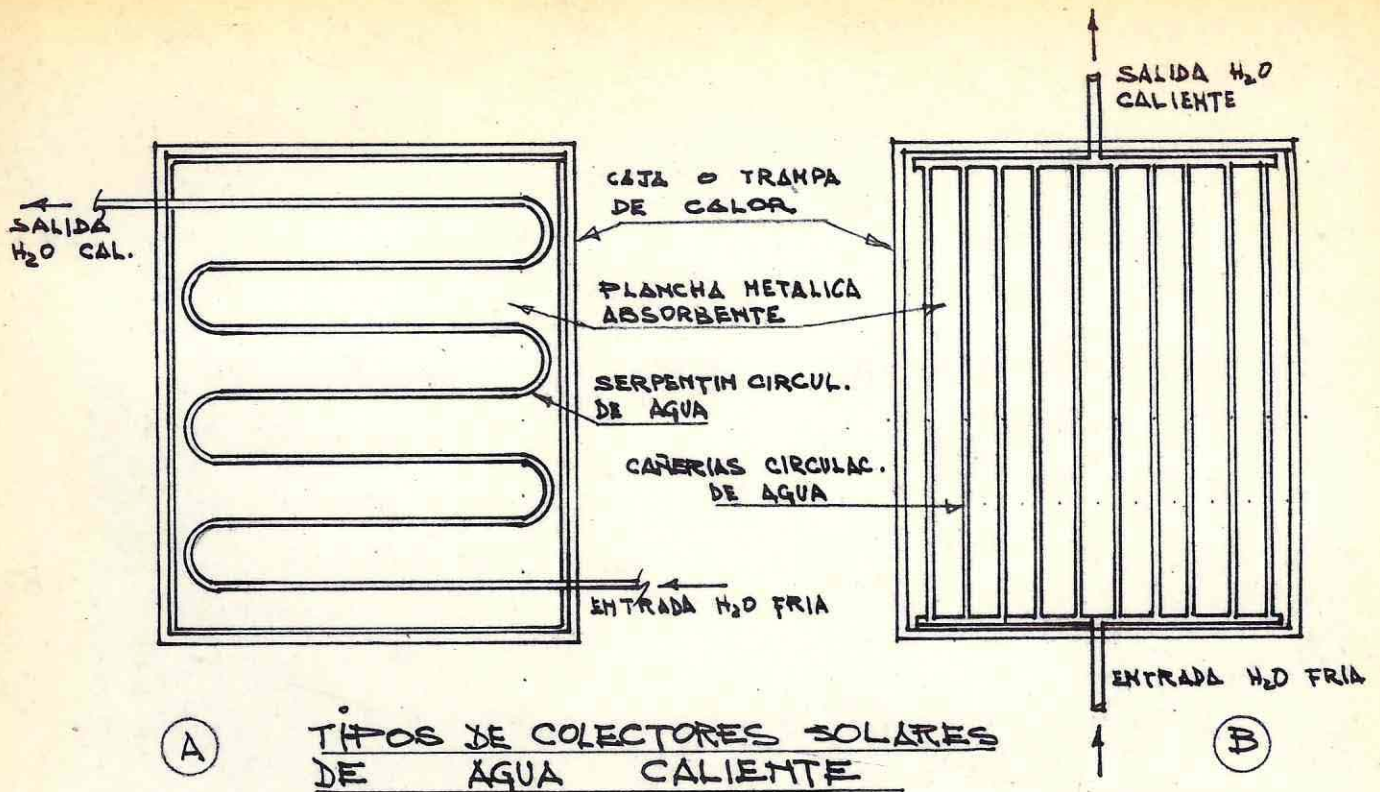
Para el uso y aplicación en gran escala de este sistema, será imprescindible llegar a la standardización de los colectores solares.

La industria deberá idear y entregar "tipos" de colectores solares para resolver dos problemas fundamentales:

- La instalación de colectores en construcciones existentes, y
- Proyecto y construcción de viviendas con colectores incluidos o integrados a ellas.

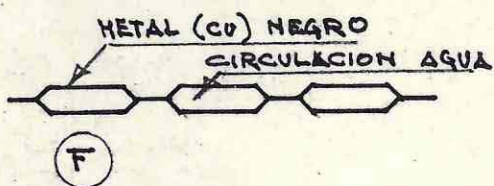
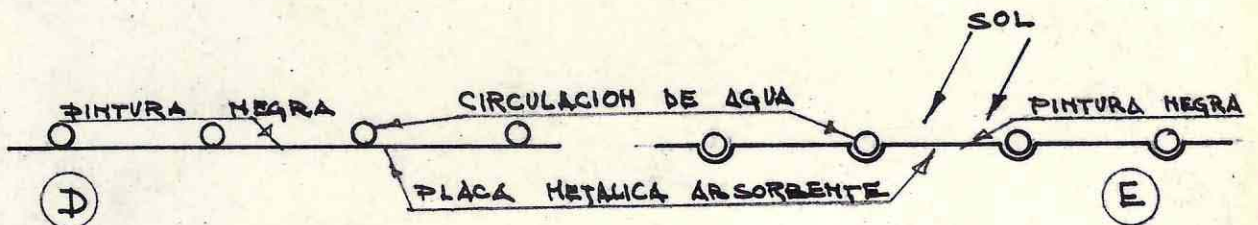
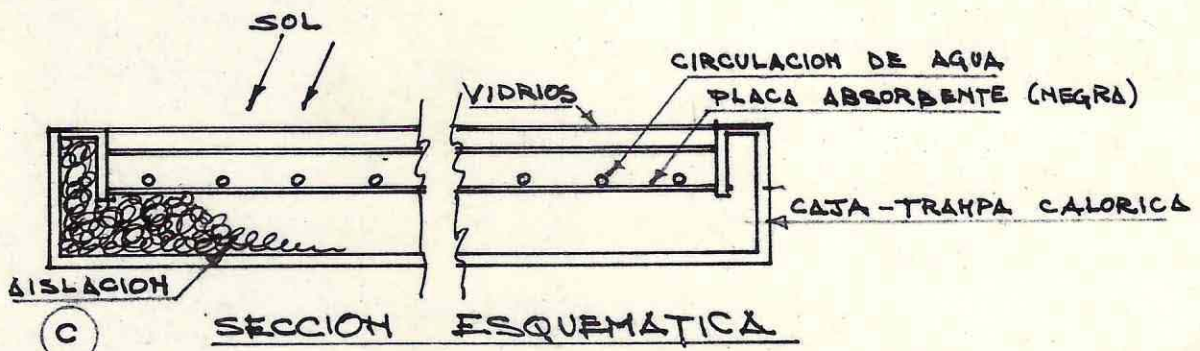
La industria deberá diseñar colectores económicos, livianos, simples y competitivos con los calentadores convencionales.

Lo más recomendable sería suministrar unidades de no más de  $1 \text{ m}^2$ , susceptibles de adosarse unas con otras según las necesidades de superficie de colección; deberá resolverse el problema de la protección o impermeabilización de las juntas, así como el circuito de cañerías para el abastecimiento del agua fría y la recepción del agua caliente.



**(A) TIPOS DE COLECTORES SOLARES DE AGUA CALIENTE**

**(B)**



DIVERSAS SOLUCIONES PARA LA CIRCULACION DE AGUA A TRAVES DE LA PLACA ABSORBENTE

POSIBILIDADES EN EL DISEÑO DE COLECTORES SOLARES DE AGUA CALIENTE . ESQUEMAS DE SOLUCIONES

colector  
experimental

El presente Seminario incluyó la construcción de un colector solar para agua caliente, destinado exclusivamente para la experimentación. Desgraciadamente no se pudo incluir en este Seminario las conclusiones, datos y mediciones extraídos de esta experiencia, pues para ello se requiere un año entero de observación. Esta construcción tuvo por objeto estudiar y determinar experimentalmente las posibilidades de aprovechar la energía solar para calentar agua en la ciudad de Santiago. La experimentación estaba dirigida a determinar el rendimiento de un colector solar con la radiación de Santiago, la superficie de colección necesaria, y el número de días de colección y funcionamiento durante el año. El diseño del sistema se inspiró en general en experiencias similares realizadas en el extranjero y en el Norte de Chile (colector de experimentación construido por el CIESA).

descripción

La idea inicial de nuestro sistema de experimentación fué construir una unidad de colección solar de  $1 \text{ m}^2$ ; El colector debía tener la forma de un cajón cuadrado, construido de alerce; dentro de él se ubicaría la placa absorbente, constituida por una lámina de cobre sobre la cual se soldaría la red de cañerías de circulación de agua; la parte posterior estaría aislada por lana de vidrio, y el cajón estaría cubierto por dos vidrios dobles. La inclinación del colector estaría dada según la latitud del lugar (Santiago). El conjunto estaría compuesto por un estanque acumulador de agua fría elevado; una cañería que hiciera circular el agua desde este estanque hacia el colector y una cañería aislada que entregara el agua

caliente desde el colector a un termo acumulador. En la entrada del agua caliente al termo se ubicaría un termóstato con el objeto de cortar el paso del agua cuando su temperatura fuera menor de 35 o 40°.

En general esta idea se realizó en su totalidad, excepto que el termóstato se reemplazó por una llave debido a que no existía en el comercio un tipo adecuado, y la adaptación de los existentes resultaba difícil y cara. Al reemplazar el termóstato por una llave el sistema quedó "manual", lo que significaría conectar a mano el paso del agua sólo durante los periodos de radiación solar.

#### materiales

La elección de los materiales para la construcción del calentador solar experimental estuvo regida principalmente por razones de índole económicas, por la posibilidad de existencia en plaza, y por la posibilidad de existencia en el Instituto de Edificación Experimental.

Se incluye a continuación la lista de materiales y presupuesto:

| Partida                       | Unid.          | Unid. ant. | Cant. | Precio Unit. | Precio Total |
|-------------------------------|----------------|------------|-------|--------------|--------------|
| Plancha Cu 0,5mm              | m <sup>2</sup> |            | 1     | 6,50         | 6,50         |
| Cañería Cu 3/4"               | ml             |            | 6     | 1,04         | 6,24         |
| Cañería Cu 1/4"               | ml             |            | 16    | 0,526        | 8,416        |
| Fe T 1/8" x 1"                | Kg             |            | 5     | 0,44         | 2,20         |
| Escuadras Fe 1/2" x 1/2"      | -              |            | 12    | 0,027        | 0,324        |
| Vidrio doble 2,5mm            | m <sup>2</sup> |            | 2     | 6,00         | 12,00        |
| Masilla                       | Kg             |            | 1     | 0,35         | 0,35         |
| Fieltro o paño (juntura)      | Gl             |            |       |              | 1,00         |
| Alerce 1"x5" x 4,20m          |                |            | 1     | 1,92         | 1,92         |
| Placa carpintera              | m <sup>2</sup> |            | 1     | 3,215        | 3,215        |
| Pintura impermeable           | Gl             |            |       |              | 5,00         |
| Lana de vidrio                | Gl             |            |       |              | 3,51         |
| Llaves tipo jardin 3/4"       | -              |            | 3     | 2,25         | 6,75         |
| Plotador estanque a. fría     | -              |            | 1     | 2,10         | 2,10         |
| Aislante térmico cañería cal. | Gl             |            |       |              | 3,00         |
| Estanques                     | Gl             |            |       |              | 10,00        |
| Estructura soport. sistema    | Gl             |            | 1     |              | 10,00        |
| TOTAL .....                   |                |            |       | E°           | 82,56        |

técnica constructiva (Ver plano). El colector fué construído en el taller del Instituto de Edificación Experimental. La ejecución del cajón se realizó en alerce ensamblado y encolado (se eligió esta madera debido a que la instalación funcionaría a la interperie); como fondo se usó una placa carpintera. Para armar el serpentín o red de cañerías, se cortaron previamente 16 trozos de cañería de 1/4" y 2 de 3/4", todos de 1 metro de largo; Luego se agujerearon las 2 cañerías más gruesas según las medidas del plano; en estos agujeros se enchufaron las cañerías delgadas y se soldaron con soldadura de plata; los extremos de las dos cañerías de 3/4 fueron sellados con tapones metálicos y soldadura; con esto quedó formado el serpentín de circulación de agua. Las cañerías de alimentación y de salida de agua, ubicadas en el punto medio de las dos cañerías gruesas, se unieron mediante T de 3/4".

La principal dificultad se presentó en la unión del serpentín a la plancha de cobre. Como las cañerías debían estar en contacto directo con la plancha, se decidió soldar el serpentín a la misma; pero debido al calor producido al soldar, la plancha se ondulaba ("guateaba") dado su escaso espesor; se fijó la lámina de cobre a una placa carpintera, pero el problema subsistía; finalmente se logró el contacto usando grampas.

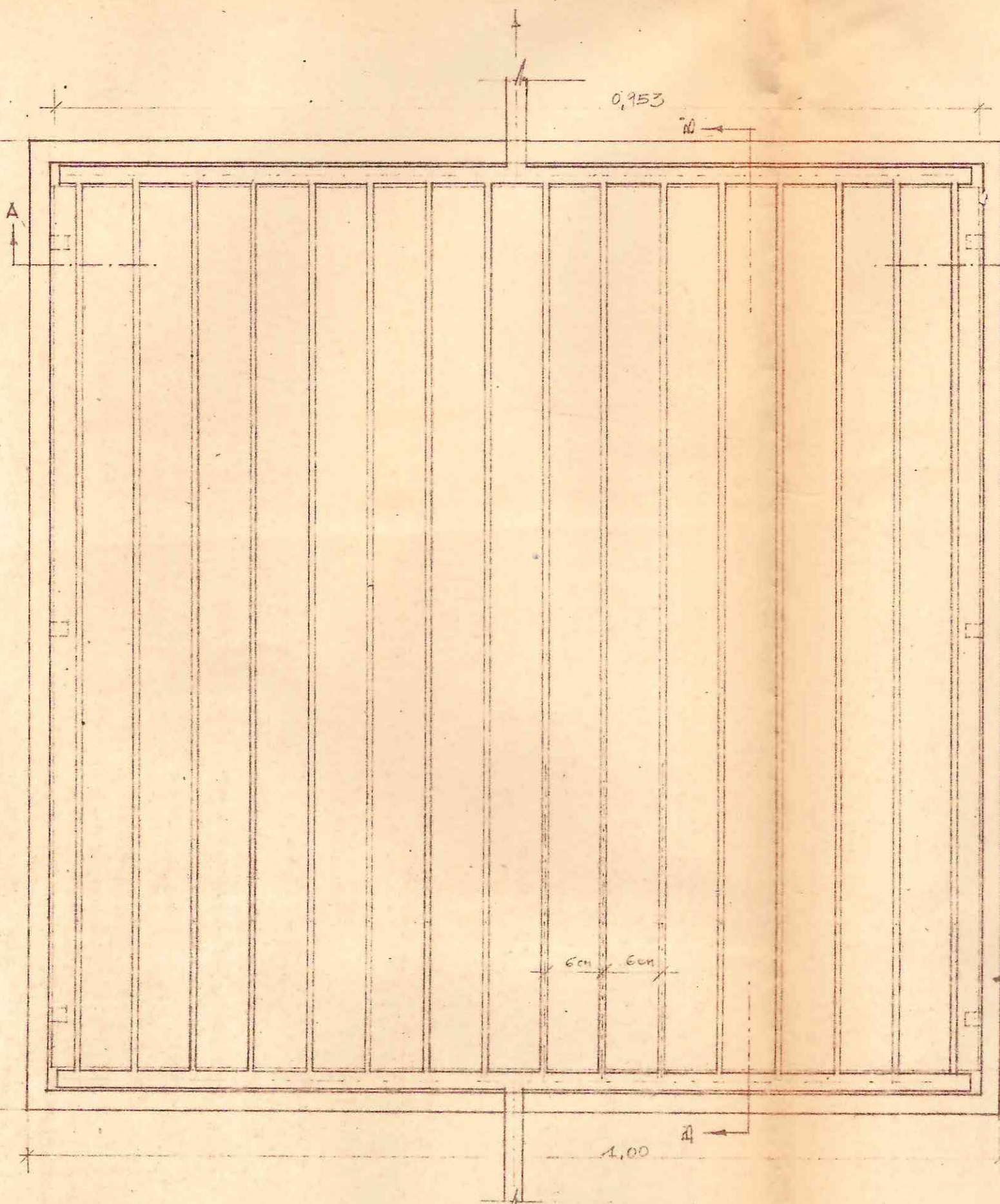
La cubierta exterior de vidrio se resolvió como una verdadera ventana metálica. La juntura entre esta ventana y el cajón se resolvió con un paño o fieltro para lograr una hermeticidad absoluta. El colector se proyectó para ser desarmable; la lámina de cobre y el vidrio interior se apoyaron sobre escuadras atornilladas al

y el vidrio o ventana exterior estaba simplemente apoyado en éste.

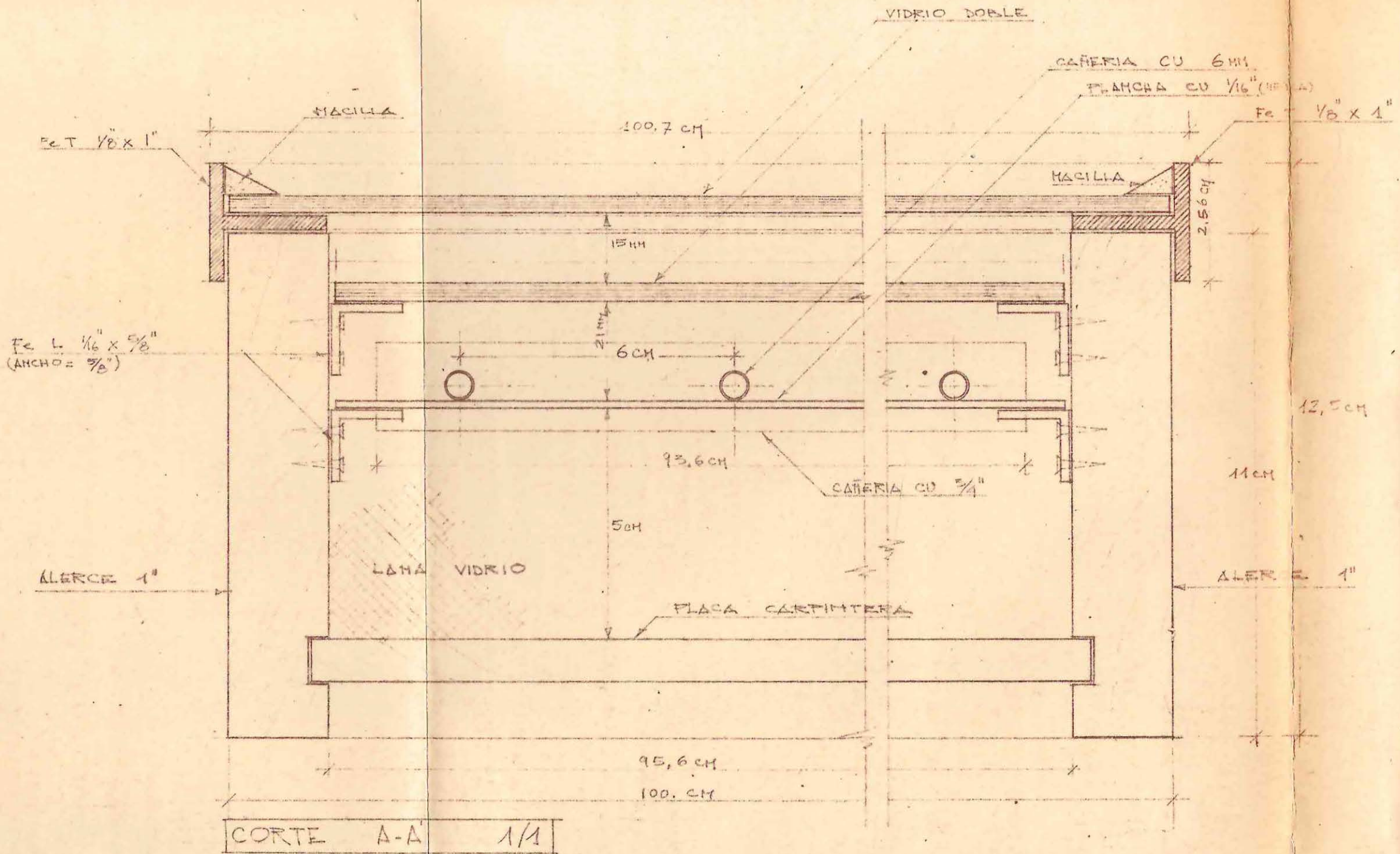
La placa absorbente se pintó con pintura negra opaca.

Finalmente el conjunto de colector, estanques y cañerías de abastecimiento, se armó sobre una estructura de madera en el lugar previamente elegido.

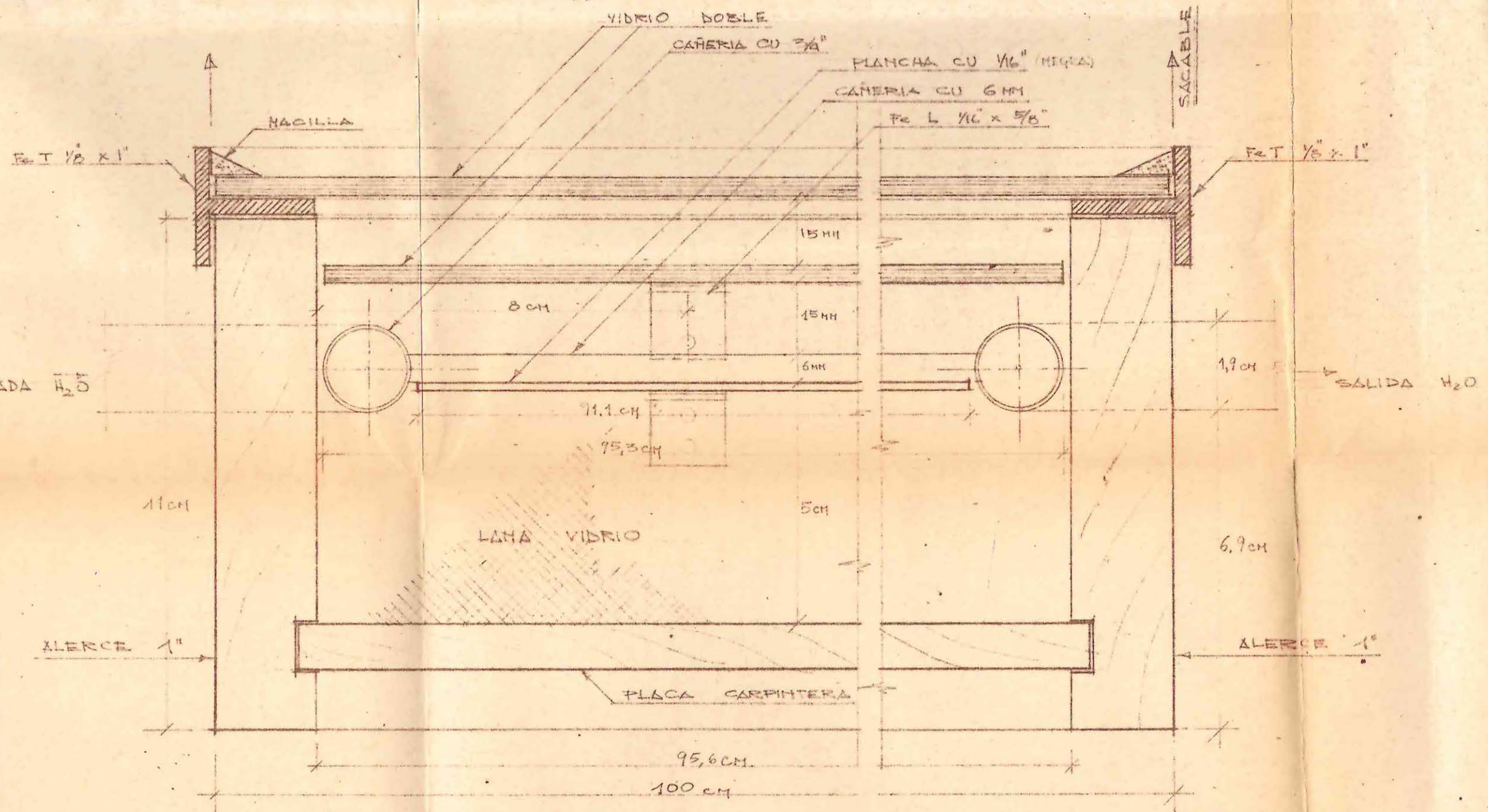
Se incluye el plano del diseño del calentador solar experimental.



PLANTA 1/5

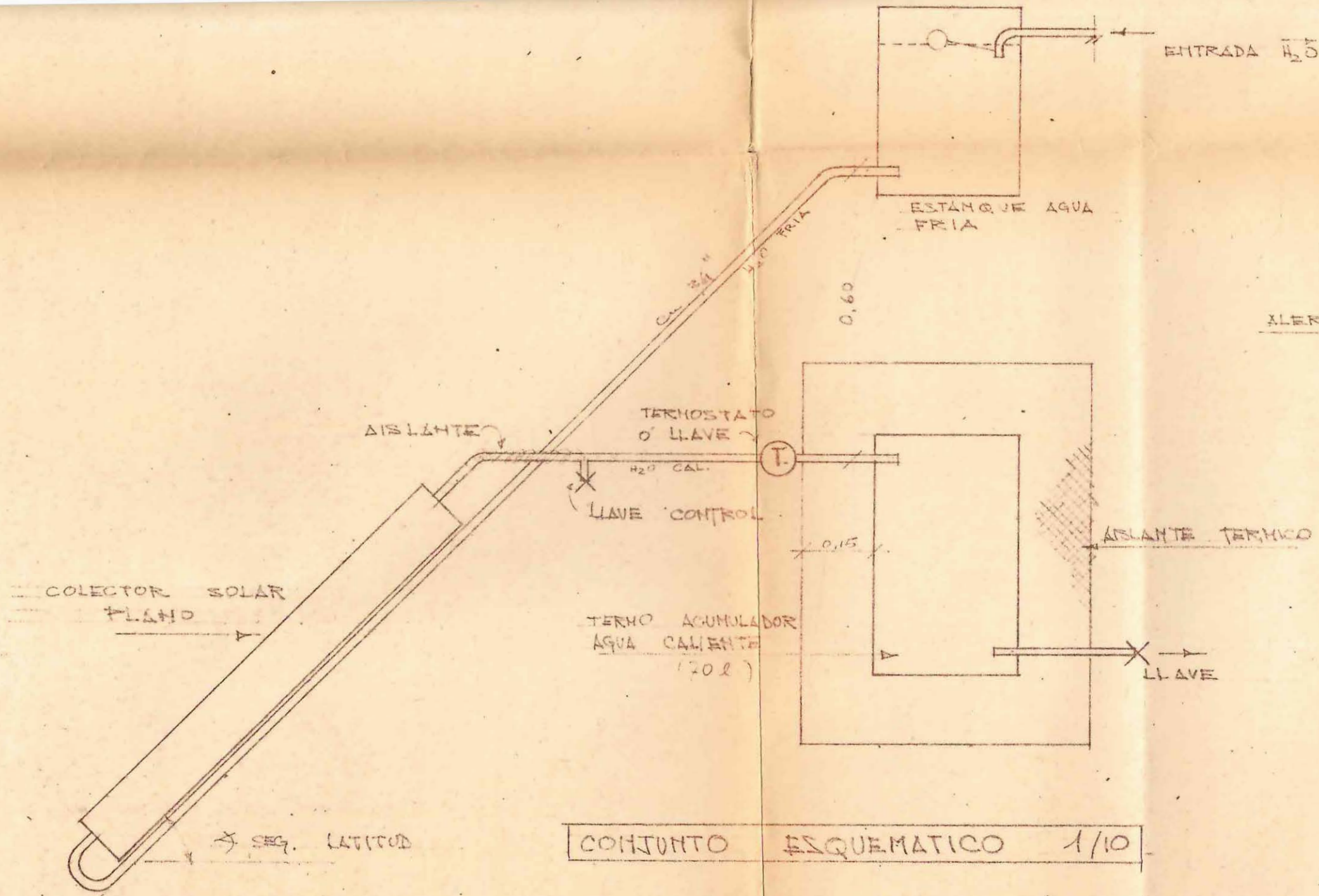


VIDRIO DOBLE



CORTE B-B' 1/1

TECNICO



CONJUNTO ESQUEMATICO 1/10

PROYECTO  
SOLAR  
ESCALAS

COLECTOR  
PLANO

1/5 , 1/10 , 1/1

SEMINARIO  
PROF. GUIA  
ALUMNO

EDIFICACION

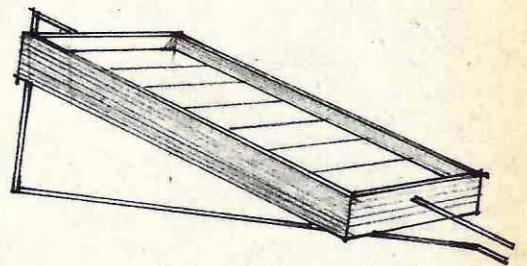
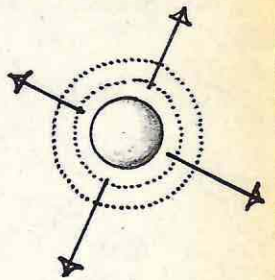
SR. F. AEDO.

J. FERELMAN

CAPITULO III :

INTEGRACION CON LA  
ARQUITECTURA

USOS  
SOLAR  
-  
APLICADA



CAPITULO III).I N T E G R A C I O N   C O N   L A  
A R Q U I T E C T U R A

Los problemas que plantean los sistemas de aprovechamiento de la energía solar en relación con la Arquitectura, dependen primordialmente de las aplicaciones o usos a que estén destinados estos sistemas. Es así como la calefacción solar necesita un área de colección inmensa comparada con el área del agua caliente solar.

En general son dos los problemas arquitectónicos principales:

- Superficie máxima disponible para área colectora y
- Sistema termo acumulador, necesario para los períodos sin radiación solar.

El problema de aprovechar la energía solar para usos residenciales, presenta dos fases diferentes según los siguientes casos:

- Casa existente.- Aquí se trata de adaptar un sistema para aprovechar la energía solar a una habitación existente, es decir, después de construida.

Los problemas son principalmente económicos. Es fácil imaginar las dificultades que se presentan al tener que ubicar la superficie colectora orientada hacia el Norte; el tener que romper techos, ubicar el termo acumulador, instalar la red de cañerías, etc.

- Casa adaptada al sistema.- Son obvias las ventajas que presenta el hecho de proyectar una casa de antemano "adaptada" para aprovechar la energía solar. Con un inteligente diseño la superficie colectora puede aparecer totalmente integrada a la

Arquitectura; el almacenamiento de energía puede estar resuelto en forma expedita y económica, así como las instalaciones anexas.

consideraciones  
para el diseño

En un diseño solar (casa solar), es decir, una casa que incluya algún sistema para aprovechar la energía solar, existen las siguientes determinantes:

- Debido a que es necesario recibir el máximo de radiación solar, la orientación Norte de los colectores es obligatoria.
- El uso de los colectores como elementos constructivos y como elementos integrados a la Arquitectura.
- Es necesaria una pintura absorbente de radiación solar, generalmente negra; esto puede considerarse un inconveniente grave por el carácter sórdido y sombrío que adquiriría la vivienda; pero es posible substituir este negro con otros colores absorbentes (por ejemplo, el verde medio).
- Es necesario prevenir el quebramiento de los colectores por exceso de calor en los meses de verano; esto nos lleva al empleo de otros elementos arquitectónicos, como ser biombos o cortinas.
- Es recomendable no separar o dividir las áreas de colectores; pero como en algunas aplicaciones son necesarias grandes áreas colectoras, se produciría una pérdida de la escala humana; entonces sería lícito producir esta subdivisión.

Finalmente digamos que para diseñar una casa solar es indispensable conocer a-priori: 1. Qué superficie abarcarán los colectores solares; qué ángulo de inclinación deberán tener; y qué posibilidades constructivas presentan.

elementos plásticos  
y constructivos

Las posibilidades de aprovechar los colectores solares como elementos plásticos integrados a la Arquitectura, son indiscutibles.

Bástenos decir que podrían incluirse paneles enteros de techumbre constituidos por los colectores solares; que podría destinarse algún muro, en regiones de baja altitud solar, que contuviera la superficie de colectores; que podría incluso dotarse de bris-soleils a la vivienda, en que cada uno de ellos fuera un colector solar. Fig. N° 19.

Ahora bien, es un hecho que estos colectores solares pueden también ser elementos constructivos de la vivienda. El destinar techos enteros para superficie de colección, nos está indicando que los colectores reemplazan a los materiales de cubierta tradicionales; eso sí que, si se usan unidades standards, habría que tomar precauciones en las juntas, lo que no presenta mayores dificultades.

Los mismos bris-soleils son en sí elementos constructivos.

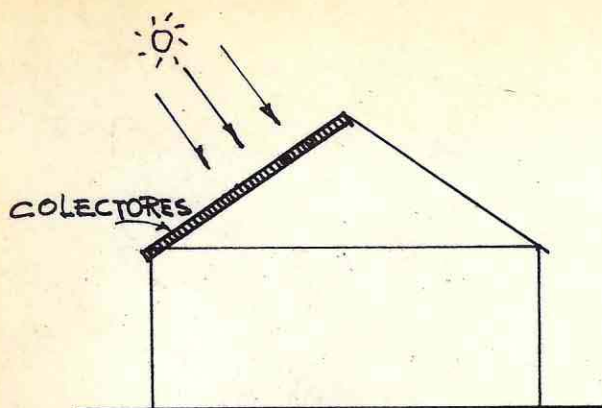
ejemplos y  
proposiciones

La forma más gráfica de ejemplos y proposiciones se presenta en una muestra que se incluye a continuación. Se trata de un concurso arquitectónico internacional realizado en 1957 y patrocinado por la "Association for Applied Solar Energy" con el propósito de estimular el interés público en la utilización de la energía solar en beneficio del hombre. El tema del concurso era diseñar una "casa solar" típica para demostrar las posibilidades arquitectónicas de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar para la vivienda.

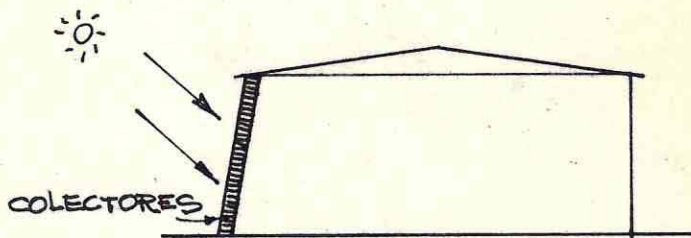
La casa se ubicaría en Phoenix, EEUU , por lo que el diseño se rigió por los datos climatológicos y de radiación de esa región. Incluía agua caliente, calefacción y refrigeración solar, además de una piscina temperada. El proyecto premiado será construido en Phoenix como "casa laboratorio" y como centro de interés por las aplicaciones de la energía solar en la vivienda.

Las fotos de los proyectos fueron extraídas del texto "Living With the Sun", publicado por la "Association for Applied Solar Energy", EEUU.

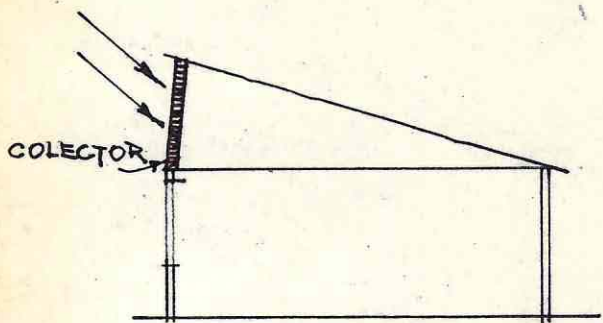
F I N



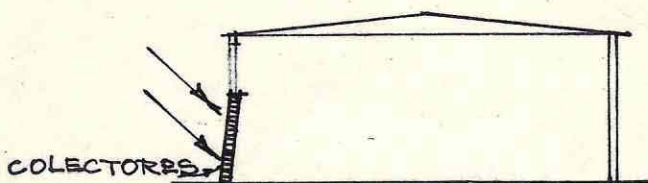
COLECTORES SOLARES COMO CUBIERTA DE TECHUMBRE



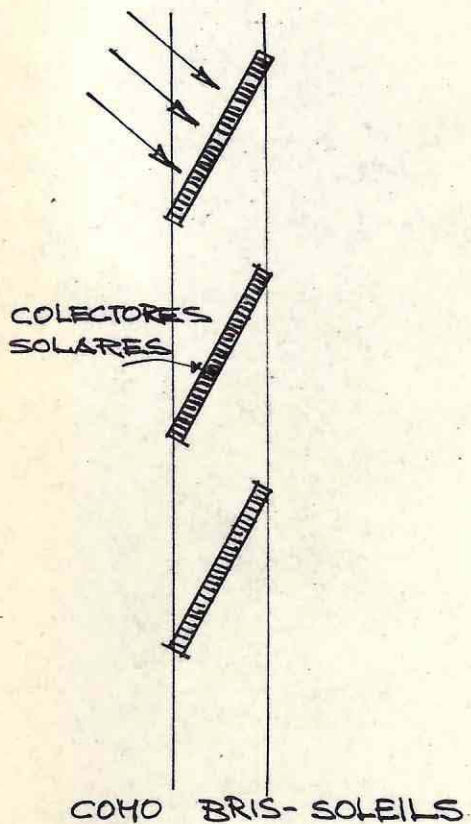
INTEGRADOS A LOS MUROS



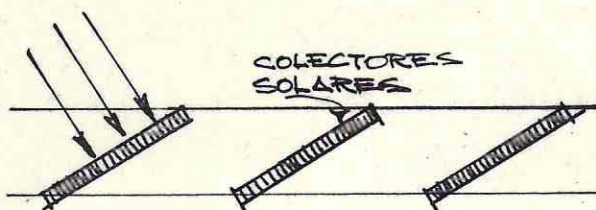
OTRA POSIBILIDAD DE TECHUMBRE



EN MURO BAJO VENTANA

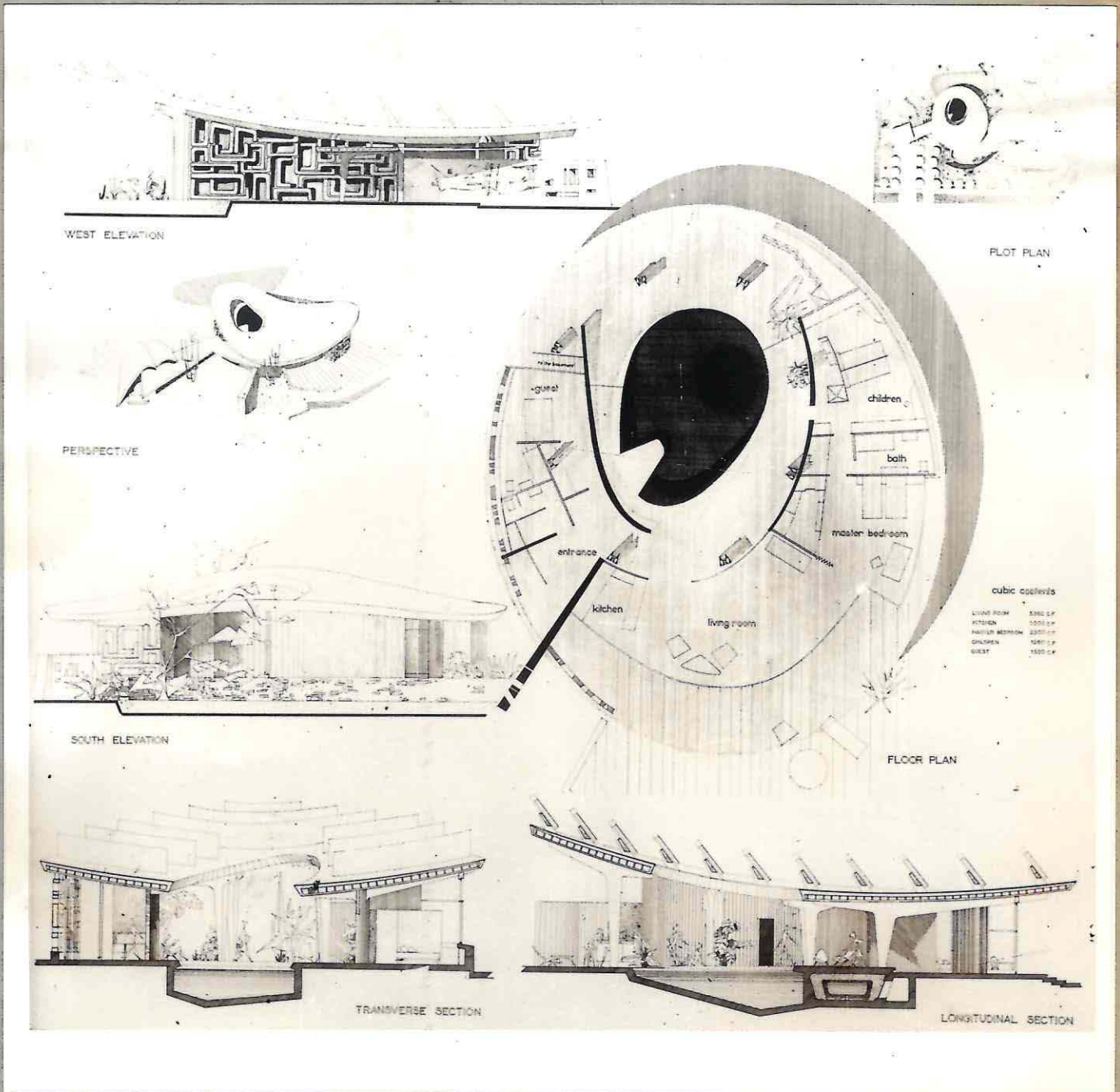


COMO BRIS-SOLEILS

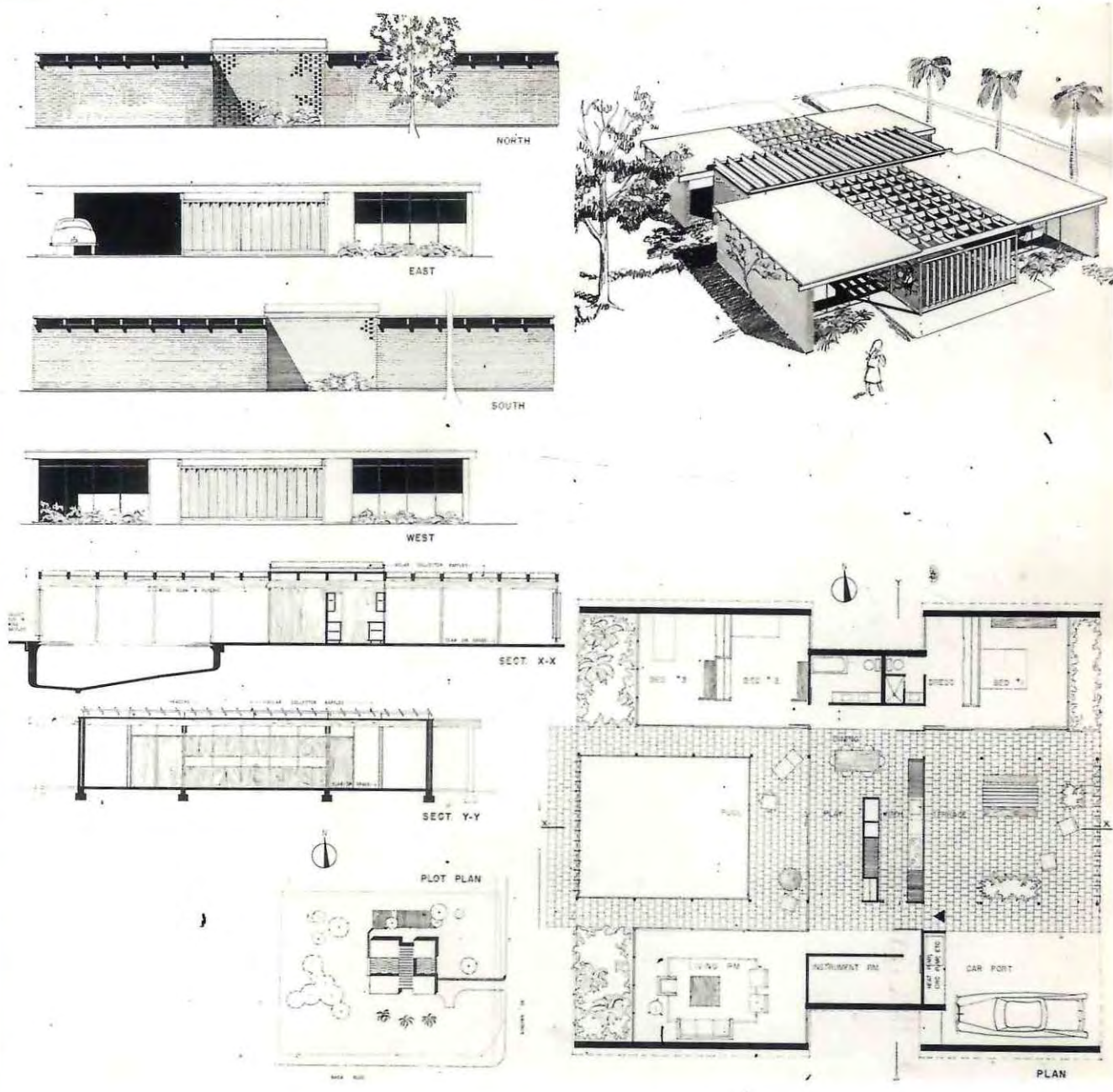


BRIS-SOLEILS PARA SEMI-CUBRIR PATIOS O TERRAZAS

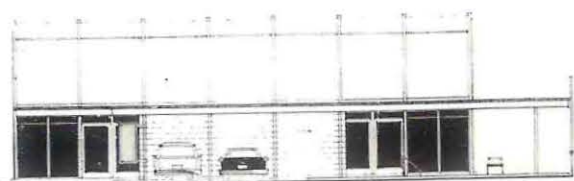
POSIBILIDADES DE DISEÑO ARQUITECTONICO PARA LA COLECCION DE ENERGIA SOLAR. -



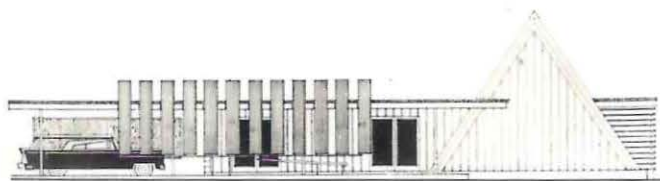
I. y G. Benoit y Francois Mayer. Paris, Francia.



Davis, Brody, y Wisniewski. New York, KEUU



NORTH ELEVATION



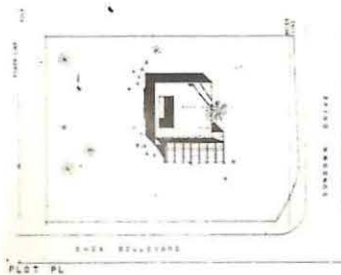
WEST ELEVATION



EAST ELEVATION



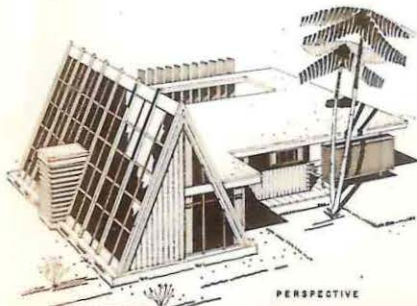
SOUTH ELEVATION



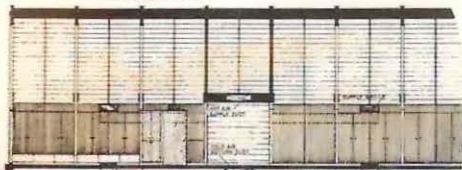
PLOT PL.



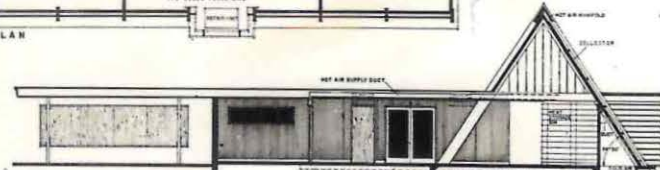
FLOOR PLAN



PERSPECTIVE

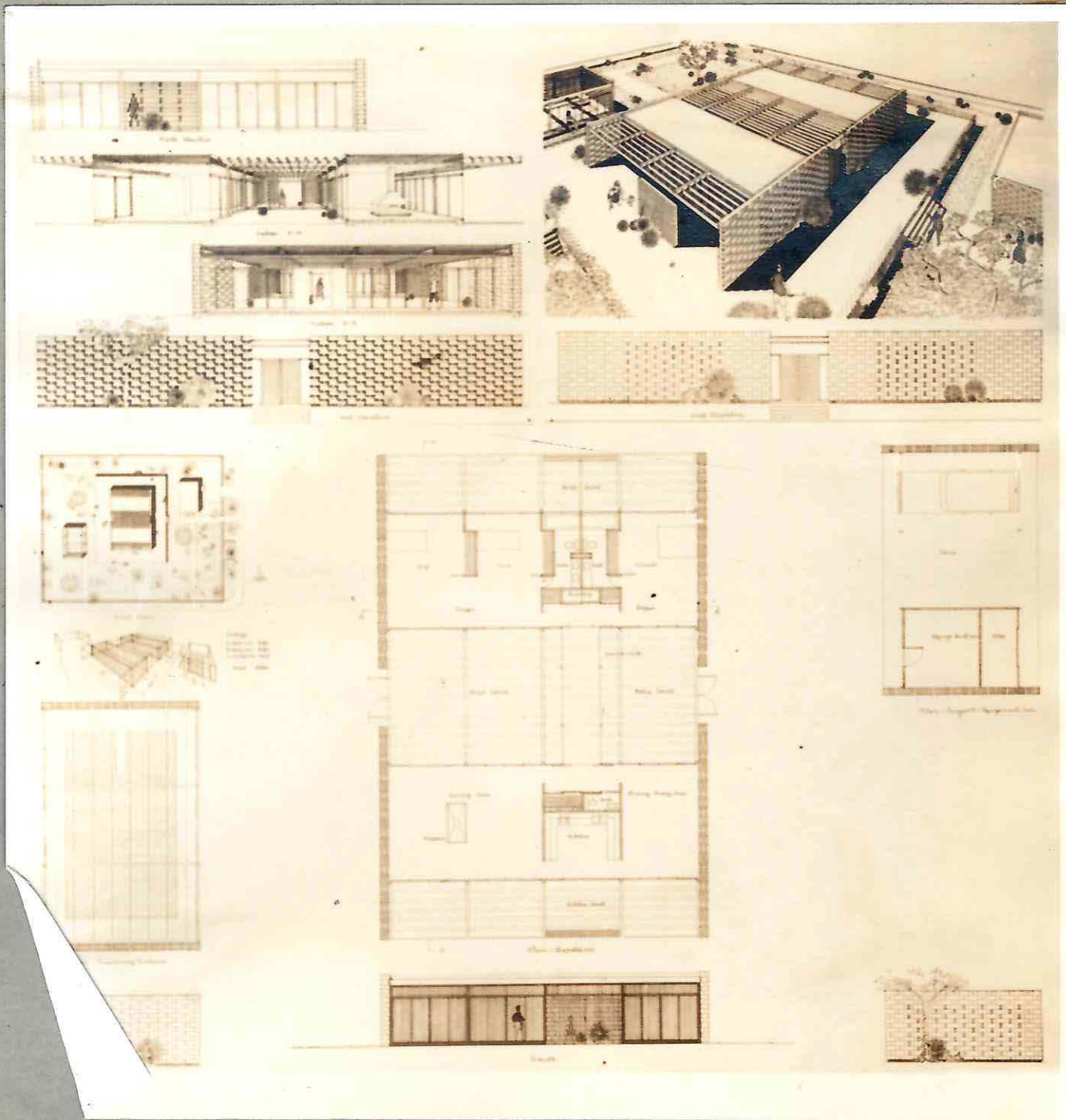


TRANSVERSE SECT

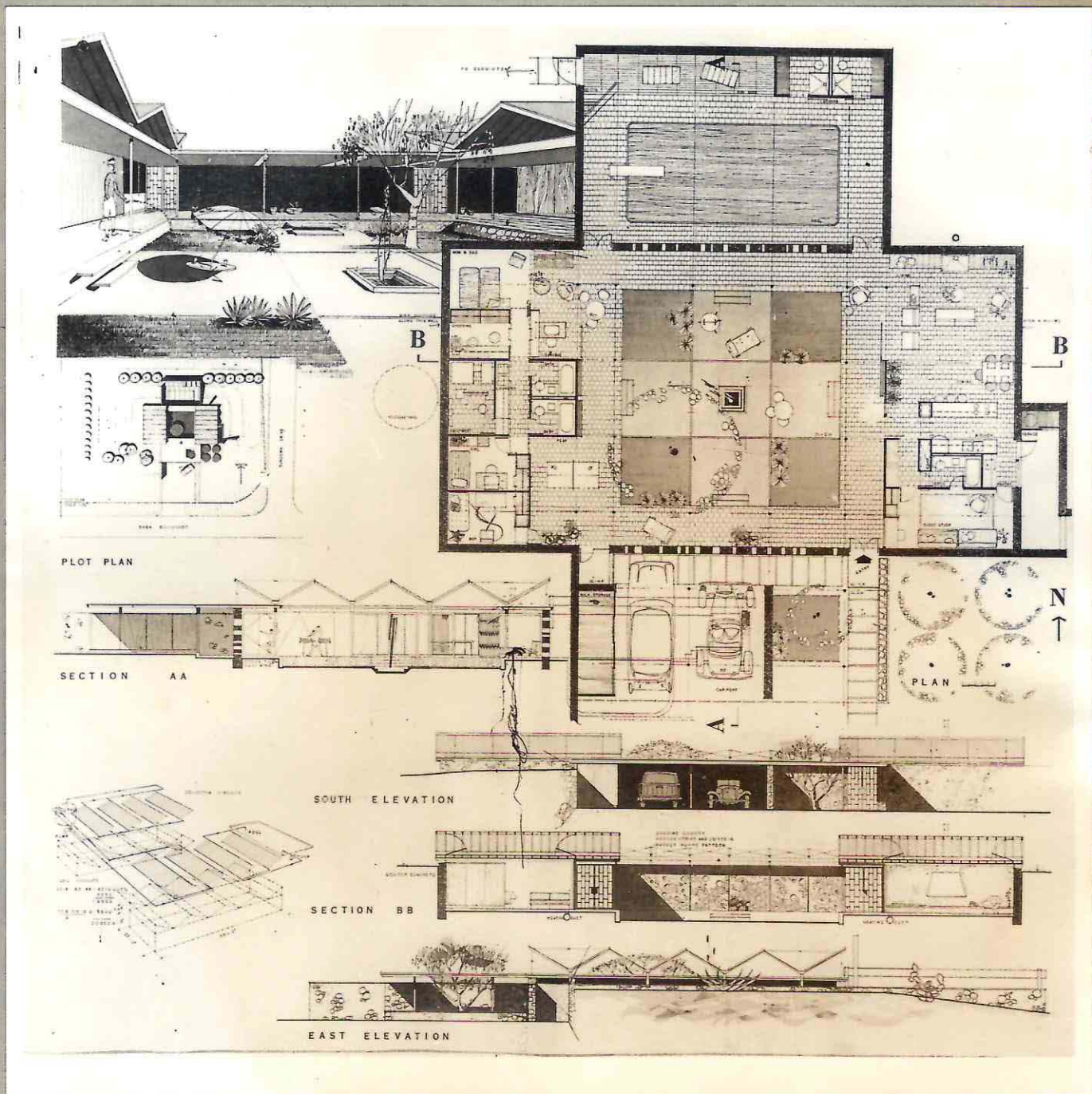


LONGITUDINAL SECTION

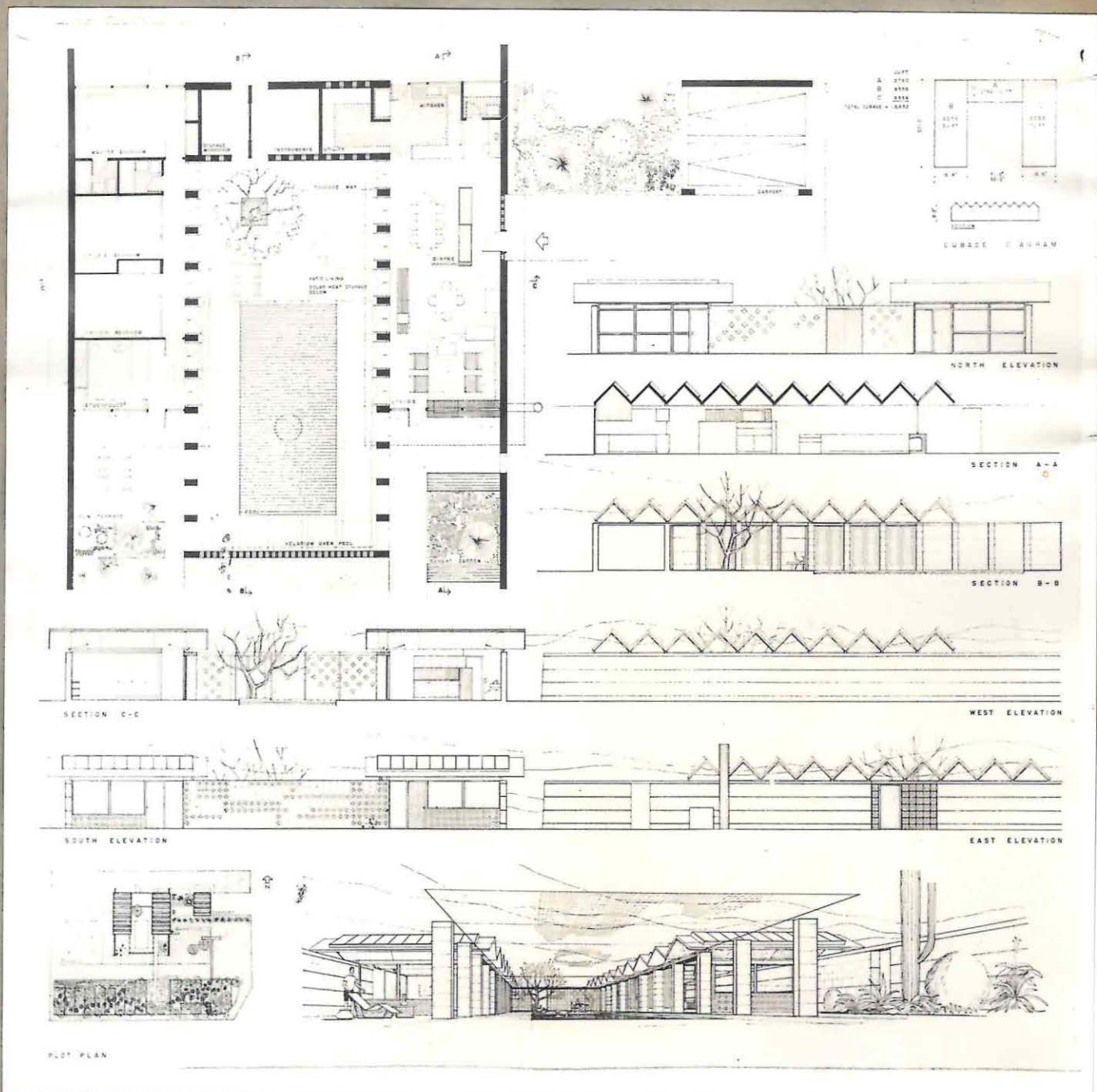
William E. Evans. Phoenix Ariz. EEUU.



Primer Premio: Peter R. Lee, Minneapolis, Minn., E.U.U.



Quinto Premio: Marvin E. Goody y Robert J. Pelletier.  
 Cambridge, Mass., EBUU



P.L. Floyd, W.H. Wainwright y W.W. Ahern,  
Cambridge, Mass., EEUU