

APLICACIONES DE ENERGIA SOLAR



ICAITI

PROYECTO DE LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA
ICAITI - ROCAP No. 596-0089
D(305)-1983

PN/AA4-426

EQUIPO DE ENERGIA SOLAR
DIVISION DE SERVICIOS TECNICO INDUSTRIALES

INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL

APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

D 305



ICAITI-ROCAP No. 596-0089

PROYECTO DE LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA

1983

INTRODUCCION

A raíz del creciente interés sobre las diferentes aplicaciones de la energía solar en Centroamérica, se ha programado y realizado una serie de cursos cortos para entrenamiento en este campo.

Dada la gran cantidad de información que se maneja en dichos cursos se decidió editar las presentes notas, con el principal objetivo de dar referencias escritas y en español acerca de los diferentes tópicos de los cursos, para el uso de los participantes.

El nivel del contenido de estas notas es intermedio, es decir que se formularon para hacerlas accesibles a personas tales como estudiantes universitarios y de nivel medio, profesionales de las diferentes ramas de la ingeniería, técnicos de mantenimiento, administradores de proyectos e instituciones relacionados con la energía y otros interesados en el tema. Los aspectos teóricos se cubren en forma general sin pretender profundizar en cada tema; los aspectos relacionados con las aplicaciones, cubren una amplia gama, y se trató de ilustrarlas con aplicaciones actuales y potenciales en la región centroamericana.

Se desea dejar constancia de reconocimiento a la Oficina Regional para Centroamérica y Panamá (ROCAP) de la AID, Estados Unidos, porque gracias a su respaldo, fue posible la edición de este folleto.

CONTENIDO

Tema No. 1: El sol, fuente de energía.

Tema No. 2: Formas de captación de energía solar.

Tema No. 3: Almacenamiento y transferencia de energía térmica.

Tema No. 4: Aplicaciones de la energía solar.

Tema No. 5: Sistemas de energía solar.

ANEXOS

- Gráficas
- Cuadros de materiales, instrumentos y equipos

TEMA UNO: EL SOL, FUENTE DE ENERGIA

El sol es una estrella, la más cercana a nuestro planeta, del cual dista, en promedio, unos 150 millones de kilómetros. Dentro del sol se producen continuamente reacciones de fusión nuclear, a una escala gigantesca, a causa de lo cual se liberan inmensas cantidades de energía.

El centro del sol está a una temperatura de millones de grados centígrados en tanto que la temperatura de la capa superficial fluctúa entre 5 800 y 6 300°C. Estas grandes temperaturas permiten que el sol emita hacia el espacio, en forma de ondas electromagnéticas, la energía liberada por los procesos nucleares. Esta energía, al abandonar el sol y viajar por el espacio sufre una dispersión progresiva, que es cada vez mayor cuanto más lejos del sol se considere.

De las enormes cantidades de energía liberadas por el sol, sólo llegan a la tierra aproximadamente unas 2 billonésimas partes, pero a esta pequeña cantidad de energía se pueden atribuir casi la totalidad de los procesos meteorológicos y biológicos que se desarrollan en la Tierra. El sol pues, es la fuente primordial de la energía que nuestro planeta ha recibido en el pasado, recibe en el presente y recibirá en el futuro.

1.1 LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS Y LA ENERGIA SOLAR

Como queda dicho, la energía que emana del sol atraviesa el espacio sideral en forma de ondas electromagnéticas. Aunque todas las ondas electromagnéticas tienen la misma naturaleza esencial, según sus características particulares, se pueden clasificar en varios tipos. Por ejemplo, las que pueden ser percibidas por los ojos, se llaman "ondas visibles"; las que producen calor en los cuerpos, se llaman "ondas infrarrojas".

Las diferentes ondas electromagnéticas tienen distintas características de las que dependen sus propiedades; una de esas características es la LONGITUD DE ONDA (figura 1.1).

La longitud de onda es la característica que más interesa pues de ella dependen la cantidad de energía portada por la onda y su poder de penetración. Entre más corta sea la longitud de onda, la energía portada y el poder de penetración son mayores.

La energía solar que recibe la tierra, antes de atravesar la atmósfera, se compone de varios tipos de radiaciones; el cuadro 1.1 siguiente muestra los tipos de radiaciones, el intervalo característico de longitud de onda, y el porcentaje de energía que transportan.

CUADRO 1.1

Distribución de la energía portada por las ondas electromagnéticas en el exterior de la atmósfera terrestre

Radiación electromagnética	Intervalo de longitud de onda		% de energía
Rayos Cósmicos, Gamma, X y Ultravioleta	0.00 a 0.38	μ	7
Luz visible	0.38 a 0.78	μ	47
Infrarrojo cercano	0.78 a 2.00	μ	39
Infrarrojo lejano y ondas mayores	2.00 a infinito	μ	7

Del cuadro se puede concluir que, para propósitos prácticos, las ondas de 0.38 a 2.00 μ son las que conviene captar para aprovechar la energía solar, en vista de que ellas portan un 86% de la energía que llega a la atmósfera.

1.2 EL FLUJO DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS HACIA Y A TRAVES DE LA ATMOSFERA TERRESTRE

Las ondas electromagnéticas provenientes del sol cruzan varias barreras antes de llegar a la superficie de nuestro planeta. La primera es el poderoso campo electromagnético de la tierra (conocido como Cinturón Van Allen), el cual retiene una gran porción de las ondas de corta longitud (rayos Gamma, rayos X) que son perjudiciales para la vida terrestre, y permite el paso de sólo una parte de ellas.

La segunda gran barrera es la capa de OZONO que envuelve a la tierra; esta capa impide el paso de una gran porción de los rayos ultravioleta, pero permite el paso de las radiaciones de mayor longitud de onda.

Las radiaciones que alcanzan la baja atmósfera, principalmente luz visible y rayos del infrarrojo cercano, están sujetas a reflexiones, refracciones, absorciones y a irradiación hacia el espacio exterior; los agentes causales son las nubes, los gases (tanto naturales como producidos

por el hombre). y polvos (cenizas, humos y otras partículas finamente divididas). Estas condiciones son las causantes de que las radiaciones visibles y las infrarrojas lleguen hasta la superficie de la tierra atenuadas en diversos grados (figura 1.2).

1.3 LA CONSTANTE SOLAR

Como las ondas electromagnéticas provenientes del sol sufren una serie de perturbaciones al atravesar la atmósfera, la cantidad de energía incidente en puntos diferentes de la superficie terrestre (y aún en un mismo punto, en diferentes momentos) es variable. Esto impide establecer un valor fijo para esa cantidad de energía.

Para efectuar todos los cálculos relacionados con la energía solar se necesitaba, sin embargo, un valor patrón fijo; se resolvió que tal valor se estableciera en el espacio exterior, en donde no hubiera perturbación atmosférica. Se hicieron numerosas evaluaciones en satélites, aviones, globos y estaciones terrestres, y se llegó a establecer la llamada CONSTANTE SOLAR.

"LA CONSTANTE SOLAR REPRESENTA LA CANTIDAD MAYOR DE CALOR TEORICAMENTE APROVECHABLE POR UNIDAD DE AREA Y POR UNIDAD DE TIEMPO DADO, MEDIDA FUERA DE LA ATMOSFERA TERRESTRE".

Constante solar: $1.94 \text{ cal/cm}^2\text{-min} = 1\,353 \text{ vatios/m}^2 = 429 \text{ BTU/pie}^2\text{-hora}$.

1.4 INSOLACION, TIPOS Y CARACTERISTICAS GENERALES

Se denomina "insolación" a la cantidad de energía solar recibida por la unidad de área en la unidad de tiempo. Existen varios tipos de insolación; la clasificación más general incluye tres diferentes tipos, los cuales se describen a continuación (figura 1.3).

1.4.1 Tipos de insolación

a) Directa (o rayo de luz)

Es toda aquella radiación que llega en línea recta desde la fuente (sol). Se caracteriza porque se forman sombras fuertes y bien delimitadas. Un día claro (con sombra fuerte) tiene Insolación Directa de valor entre 80 y 85%; un día con sombras difusas tiene Insolación Directa de 80% o menos; y en días de sombra inapreciable, la Insolación Directa se puede considerar nula.

b) Difusa

Es toda aquella radiación que no procede directamente de la fuente, porque ha sufrido refracciones (en nubes, polvo, etc.) o reflexiones en objetos distantes. No produce sombra y parece provenir de todo el cielo. En días claros, se puede considerar que un 20% de la insolación total es difusa, y que en días sin sombras, la insolación es totalmente difusa (100%).

c) Reflejada

Es toda aquella radiación que llega reflejada por superficies de cuerpos sólidos cercanos (edificios, rótulos, etc.) o por superficie terrestre (nieve, asfalto, lagos, etc.).

1.4.2 Características generales de la insolación

- a) Es una forma de energía de baja intensidad, por lo que, para captarla, se requieren superficies relativamente extensas.
- b) Su intensidad es variable. Aunque predecibles dentro de ciertos límites, las variaciones de la insolación no son controlables.
- c) Es intermitente. Sólo está disponible en horas del día, y debe contarse con algún sistema de almacenamiento, si se desea aprovecharla en horas de la noche o en días muy nublados.

1.5 FACTORES QUE AFECTAN EL GRADO DE INSOLACION

En general, hay dos que se consideran fundamentales:

1. Número de horas sol. Tiempo que dura la iluminación solar, expresado en horas.
2. Angulo de incidencia. La insolación óptima es aquella que es perpendicular a la superficie considerada. Asociado con este ángulo de incidencia está el grado de ATENUACION que depende de la longitud de la trayectoria recorrida por la radiación dentro de la atmósfera; cuanto más oblicua es la trayectoria, mayor es la distancia recorrida y más grande la atenuación.

Cada uno de los factores depende directa o indirectamente de condiciones tales como: latitud, configuración orográfica, época del año, nubosidad, altitud, contaminación atmosférica y otros.

1.6 BALANCE ENERGETICO AL NIVEL DEL SUELO

Este balance representa la cantidad de energía solar aprovechable al nivel del suelo, que podríamos designar como insolación útil (figura 1.4). Esta insolación varía, tanto de un punto a otro, como de un momento a otro.

De esta insolación útil, sólo se aprovecha continuamente menos de un 1% en el proceso de fotosíntesis de las plantas; el resto, aunque disponi-

1.7 APARATOS DE MEDICION

Para medir las horas-sol:	actinógrafo
Para medir la insolación total:	piranómetro
Para medir la insolación directa:	pirheliómetro
Para medir el ángulo del sol sobre el horizonte:	sextante

1.8 UNIDADES USUALES Y CONVERSIONES PARA INSOLACION

En meteorología se emplea mucho la unidad LANGLEY (L). Un Langley equivale a una caloría por centímetro cuadrado. En las mediciones meteorológicas corrientes se emplea frecuentemente registros Langley/día.

Una unidad de insolación se expresa como unidades de energía por unidad de área y por unidad de tiempo.

Equivalencias útiles para las unidades de insolación son:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Langley} &= 1\text{L} = 1 \text{ cal/cm}^2 = 41\,840 \text{ J/m}^2 \\
 1\text{L/minuto} &= 1 \text{ cal/cm}^2\text{-min} = 3.68 \text{ BTU/pie}^2\text{-hora} = 698 \text{ varios/m}^2
 \end{aligned}$$

1.9 MEDIDAS DE LA INSOLACION EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

Registros de 1981-1982, en Langleys/día

Enero	417	Mayo	467	Septiembre	367
Febrero	435	Junio	407	Octubre	365
Marzo	535	Julio	410	Noviembre	424
Abril	532	Agosto	456	Diciembre	407

Promedio anual en 2 años: 448L/día (Ref. 1.3)

1.10 VENTAJAS DE LA ENERGIA SOLAR

1. Es la más "limpia" de todas las formas aprovechables de energía: no produce ningún tipo de contaminación.
2. Es abundante y está disponible en casi todo el mundo. Además, no puede ser sometida a restricciones de origen humano.
3. Es gratuita.

BIBLIOGRAFIA

- 1.1 Howell. Engineer Guide to Solar Energy. Ivan & Justine Bereny Ed. Seis (Solar Energy Information Services), U. S. A. (1979).
- 1.2 Montgomery, Richard & Budnick, Jim. Solar Decision Book, Publicación de Dow Corning Corporation, Midland, Michigan. U.S.A. (1979).
- 1.3 Salazar, Humberto. Estudio sobre algunas características de radiación solar en Guatemala. Vol. 2 de la Asociación Guatemalteca de Energía Solar. (1978).

TEMA DOS: FORMAS DE CAPTACION DE ENERGIA SOLAR

La forma de captación más importante, tanto desde el punto de vista de su magnitud como desde el punto de vista de su eficiencia, ocurre en las plantas verdes; éstas reciben la luz solar, la captan y luego la aprovechan en el proceso de fotosíntesis mediante el cual la energía luminosa es transformada en energía bioquímica; esta energía a su vez, se aprovecha en los procesos de mantenimiento y crecimiento vegetales.

El hombre puede captar la energía solar, para aprovecharla en muy diversos procesos útiles. Los dispositivos hechos por el hombre para captar la energía solar se denominan genéricamente COLECTORES SOLARES.

Un colector solar es un equipo diseñado para absorber la radiación solar y transferir la energía a un fluido que circula en su interior y que está en contacto con él. El agua y el aire son los fluidos generalmente empleados en los colectores solares.

Se clasifican los colectores solares en dos tipos: colectores planos y colectores concentradores. Los primeros aprovechan tanto la insolación directa como la insolación difusa; es decir, pueden funcionar tanto en días claros como en días nublados. Los colectores concentradores utilizan únicamente la radiación directa y tienen la ventaja de que pueden producir temperaturas más altas que las que producen los colectores planos.

Los colectores planos pueden instalarse fijos en su posición, aunque a veces pueden ser movidos cada cierto tiempo para ajustarlos según sea la estación del año; los colectores concentradores casi siempre se instalan de manera que puedan moverse durante el día o periódicamente, para seguir el curso del sol.

2.1 COLECTORES SOLARES PLANOS

La mayoría de los colectores planos tienen la forma de una cajuela cuya parte superior (cubierta) es transparente o translúcida, y cuyo fondo es una superficie plana y sólida (absorbedor); directamente debajo del absorbedor se coloca una capa de aislante térmico (figura 2.1).

2.1.1 El absorbedor

Puede ser una placa metálica plana (cobre, aluminio, hierro), pintada de negro; con este color se logra mayor absorción de la energía radiante, a la vez que se reduce a un mínimo la reflexión de ésta.

En ciertos tipos de absorbedor se puede usar un material plástico; por ejemplo, polietileno negro. La función principal de un absorbedor es convertir en calor la radiación solar recibida.

En los tipos comunes de absorbedor se coloca un sistema de tubos por los que ha de circular el fluido que se desea calentar; estos tubos tienen diferente forma, según el tipo de absorbedor de que se trate. En el absorbedor de serpentín, los tubos, generalmente de cobre, se colocan en forma de serpentín; en el absorbedor de "manifold", se usan tubos colocados en forma de parrilla; en el tipo "sandwich", el absorbedor consiste en dos placas metálicas muy próximas, separadas por un espacio en el que circula el fluido (figuras 2.2, 2.3, 2.4).

2.1.2 La Cubierta

Este elemento tiene tres funciones. La primera es permitir el paso de la radiación solar (en la que predominan las ondas cortas). Estas radiaciones, producen una elevación de temperatura del absorbedor, el cual, en estas condiciones emite radiación de onda larga (infrarroja). La cubierta tiene como segunda función retener estas radiaciones, ya que se comporta como un cuerpo opaco a la radiación infrarroja. La retención de esta radiación contribuye al aumento de energía captada y a una mayor disponibilidad de calor dentro del colector. El fenómeno descrito es el llamado "efecto de invernadero" (figura 2.5).

Por otra parte, la cubierta impide que circule aire frío en el absorbedor y que el aire que ya está calentado dentro del colector salga al exterior; así, no se producen pérdidas de calor por convección.

En resumen, las funciones principales de la cubierta son: 1) Permitir el paso de las radiaciones de onda corta que llegan al colector; 2) Impedir la salida de las radiaciones infrarrojas que emite el absorbedor al calentarse; 3) Disminuir las pérdidas de calor por convección, hacia el exterior.

La cubierta, tal como se ha indicado, puede ser transparente o traslúcida; los materiales que más se emplean son: vidrio claro, láminas de polietileno; placas de vinilo o de acrílico; fibra de vidrio laminado.

2.1.3 El aislante térmico

Por ser de un material conductor de calor (metal), el absorbedor resulta calentado en su cara interior, en la que no recibe insolación; para evitar que por esta cara se pierda calor hacia la atmósfera, se coloca una capa de material aislante térmico (material de baja conductividad térmica). Esta capa evita tanto las pérdidas por conducción como las pérdidas por convección (figura 2.6).

Los materiales más comúnmente empleados como aislantes térmicos en colectores son: lana de fibra de vidrio, espuma de poliuretano y planchas de poliuretano (si la temperatura no es muy alta), poliestireno (o duro-pore).

2.2 ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES DE UN COLECTOR

2.2.1 Transmitancia, t.

Es el cociente de la radiación que atraviesa el material, entre la radiación total que recibe el material. En este caso, el material que interesa es el de la cubierta del colector. El valor de la transmitancia oscila entre 0 y 1.

La transmitancia de un material dado varía con el ángulo de incidencia de la radiación; cuando la radiación incide perpendicularmente a la superficie de la pieza, la transmitancia es máxima. Si la radiación incide oblicuamente a la superficie, se transmite menos radiación a través del material porque una parte se refleja (o rebota).

2.2.2 Absorbancia, a.

Es el cociente de la radiación absorbida por un material, entre la radiación total que recibe el mismo; su valor oscila entre 0 y 1. Debido a que esta propiedad puede variar con la longitud de onda y con el ángulo de incidencia de la radiación, su valor es dado usualmente para incidencia perpendicular y se refiere a todas las radiaciones del espectro solar conjuntas.

2.2.3 Emitancia, E

Muchos materiales que tienen alta absorbancia de la energía solar, tienen también alta emitancia de onda larga. La emitancia de un material (E) es una medida de la cantidad de energía que irradia en forma de radiaciones de onda larga.

Un absorbedor que se caliente a una temperatura superior a la del medio que lo rodea, irradia o emite energía en forma de radiaciones de onda larga; el absorbedor solar ideal tiene una emitancia de onda larga cercano al valor cero.

Se designa con el nombre de "superficies selectivas" a aquellas que tienen a la vez una alta absorbancia solar y una baja emitancia de onda larga. Estas superficies pueden alcanzar altas temperaturas debido a que pierden poca energía por radiación. Existen pinturas negras "selectivas" que se aplican a los absorbedores para aumentar la eficiencia de éstos; el precio de estas pinturas es alto comparado con el de pinturas corrientes, y en el mercado local, no están disponibles.

2.3 ALGUNAS CARACTERISTICAS DESEABLES

Para el absorbedor:

- La energía absorbida debe ser transferida eficientemente al fluido dentro del colector.
- El porcentaje de absorción de radiación solar debe ser alto.

Para los materiales de la cubierta:

- Resistencia a las cargas eléctricas estáticas, las cuales atrapan polvo y reducen la transmitancia.
- Resistencia al deterioro por alta temperatura.
- Resistencia al daño por viento, y a la abrasión
- Resistencia al deterioro por luz ultravioleta.
- Bajo coeficiente de expansión térmica.
- Que sea fácil trabajarlo.
- Que sea fácil limpiarlo.
- Que no sea demasiado caro, y que sea durable.
- Transparente a la radiación solar y opaco a la radiación infrarroja.

2.4 COLECTORES SOLARES CONCENTRADORES

Se denomina "concentrador solar" a todo aquel equipo que de alguna manera permite enfocar la insolación recibida en un área extensa llamada "apertura", sobre un área más pequeña llamada "convergencia".

La característica de diseño más descriptiva de un concentrador solar es la "razón de concentración", RC, que es el cociente de dividir la apertura entre la convergencia.

$$RC = \frac{A}{C}$$

La razón de concentración puede ser baja (10/1) o muy alta (1000/1), pero en ningún caso, menor que la unidad (figura 2.7).

2.4.1 Elementos de un concentrador solar

En general, un concentrador solar consta de: una superficie reflectora, un absorbedor situado en la Convergencia, y de un medio de enfoque.

La superficie reflectora puede estar construída de pequeñas partes, o de una sola pieza; puede ser plana o puede ser curva. Para producir una superficie reflectora plana, se usan espejos simples o baterías de espejos planos dispuestos de tal forma que la radiación reflejada por todos concurra en una misma zona. Para producir superficies reflectoras curvas se pueden usar espejos curvos, placas metálicas anodizadas pulidas y curvadas, películas reflectoras adheridas a una base curva.

El absorbedor deberá estar hecho de algún material que tenga buena absorción y alta resistencia térmica, usualmente de tubo metálico de pared delgada cubierto con pintura negra que resista temperaturas mayores a 100°C. El absorbedor puede estar cubierto por tubos de vidrio en los que se ha hecho el vacío, o sin esa cubierta.

El mecanismo de enfoque es un dispositivo que permite orientar al colector de manera que reciba la radiación solar directa durante la mayor parte del tiempo; el enfoque puede ser manual o automático. En el caso del enfoque automático, puede lograrse con mecanismos de relojería o bien con sistemas electrónicos

2.4.2 La configuración parabólica como dispositivo concentrador

La configuración que se usa casi universalmente para los concentradores de reflexión, es la parabólica. La parábola se caracteriza porque todo rayo incidente y paralelo al eje de simetría, al ser reflejado por la cara cóncava, sigue una trayectoria que pasa por un punto llamado "foco de la parábola". De manera que en el foco se concentran todos los rayos que inciden paralelamente al eje de simetría (figura 2.8).

En el foco de la parábola se coloca el absorbedor térmico. Los concentradores parabólicos requieren que la mayoría de los rayos incidan paralelamente a su eje de simetría, por lo que es necesario orientar el espejo hacia el sol cada cierto período de tiempo, que según el diseño empleado, puede ser de minutos o de meses. La operación de orientar así el espejo, se llama "enfoque". Un concentrador ideal requeriría enfoque continuo (figura 2.9).

2.4.3 Clasificación de los concentradores solares

Por la temperatura desarrollada:	De baja (menos de 70°C) de media (de 70° a 300°C) de alta (300°C o más)
Por la forma de enfoque:	de franja de línea de punto
Por el comportamiento óptico:	de reflexión (espejos) de refracción (lentes) mixtos
Por la forma de construcción del elemento reflector o refractor:	discretos continuos
Por el tipo de enfoque:	Norte-Sur Este-Oeste Polares

2.4.4 Ventajas del uso de concentradores solares

La ventaja principal, al compararlos con los colectores planos, es que permiten desarrollar temperaturas más altas que las que se logran con éstos; además, se pueden construir más livianos que ellos, pero, en cambio, ofrecen la desventaja de que requieren enfoque ya que trabajan sólo con insolación directa y dirigida.

BIBLIOGRAFIA

- Kreider, Jan. Medium and High Temperature solar processes. Academic Press Inc. 1979. (USA).

TEMA TRES: ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA DE LA ENERGIA TERMICA

3.1 CONCEPTOS BASICOS

Todo ser humano ha experimentado lo que es el calor. El calor es una forma de energía. Existen dos maneras de expresar la medida del calor: intensidad de calor (temperatura) y cantidad de calor (energía calorífica).

Estamos más familiarizados con la medida de intensidad de calor, temperatura, la cual puede expresarse, por ejemplo, en grados centígrados. Rara vez sabemos o nos interesa la cantidad de calor de un cuerpo, salvo en trabajos técnicos.

El saber, por ejemplo, que el agua de una piscina tiene una temperatura de 40°C , no nos permite saber directamente qué cantidad de calor tiene la masa de agua. Si nos parecerá lógico que para subir su temperatura, digamos a 50°C , sea necesario suministrarle energía calorífica; pero si comparáramos esta situación con la de una olla con agua cuyo contenido esté inicialmente a 40°C y quisiéramos elevar su temperatura también a 50°C , intuitivamente llegaríamos a la conclusión de que para el primer caso el suministro necesario de energía sería mayor que para el segundo. En resumen: aunque el cambio de intensidad de calor es el mismo en ambos casos, el cambio de cantidad de calor no lo es.

Un pedazo de carbón al rojo tiene una alta temperatura y poca cantidad de calor; en cambio, un témpano grande tiene una baja temperatura, pero, probablemente, la cantidad de calor que contiene es miles de veces superior a la que corresponde al carbón al rojo.

a) Medida de la intensidad de calor (temperatura)

Se efectúa mediante un termómetro u otro dispositivo análogo, y se expresa en grados centígrados (aunque hay otras escalas de temperatura usuales, la más importante de las cuales es de temperaturas absolutas - grados Kelvin - K).

b) Cálculo de la cantidad de calor

La cantidad de calor de un cuerpo se establece mediante un cálculo en el que se incluye la masa del cuerpo, la temperatura absoluta del mismo y un coeficiente particular del material, del cual se tratará más adelante.

La unidad básica de cantidad de calor, en el sistema métrico es la caloría, que es la cantidad de calor necesario para producir una elevación de temperatura de un grado centígrado, en un gramo de agua (más precisamente, para elevar de 4°C a 5°C la temperatura de un gramo de agua). Si por ejemplo, se desea subir 1°C la temperatura de 1 000 gramos de agua (o sea 1 litro de agua), se necesitan 1 000 calorías. Esto podemos interpretarlo también en el sentido de que con esas 1 000 calorías, se puede aumentar la temperatura de 100 gramos de agua en 10°C, o bien, la de 10 gramos de agua en 100°C, etc.

3.2 CAPACIDAD CALORIFICA Y CALOR ESPECIFICO

Es un hecho bien conocido que el calor se transfiere naturalmente de un cuerpo caliente a otro frío. Debido a este fenómeno, es necesario considerar dos cuestiones: a) la conservación del calor en un material o ambiente (que implica sistemas de almacenamiento de energía) y b) la transferencia controlada de calor de una fuente a un material o ambiente en que se necesite (que implica mecanismos de transferencia de calor).

Los materiales tienen diferentes capacidades de almacenamiento de calor; esta capacidad varía según el calor específico (Cp) que es la cantidad de calor necesaria en kilocalorías, para aumentar la temperatura de un kilogramo de la sustancia, en un grado centígrado. Entonces, el calor específico del agua es una kilocaloría por kilogramo por °C, según la definición dada en párrafos anteriores para "caloría".

La capacidad calorífica de un material es la cantidad de calor que puede almacenarse en la unidad de volumen del mismo, mediante la elevación de su temperatura en un grado, o sea que la capacidad calorífica puede expresarse como el producto del calor específico (Cp) por la densidad, de lo que resulta que se expresa en

$$\left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$$

En el cuadro No. 2.1 se consignan los calores específicos de algunos materiales comunes, así como sus capacidades caloríficas.

CUADRO No. 2.1

Propiedades de almacenamiento de calor de algunos materiales

MATERIAL	CALOR ESPECIFICO kcal/kg-°C	CAPACIDAD CALORIFICA Material compactado kcal/m ³ -°C	DENSIDAD kg/m ³
Agua	1.00	1 000	1 000
Concreto	0.23	518	2 254
Piedra	0.21	574	2 737
Ladrillo	0.20	450	2 254
Aire	0.24	0.29	1.20

3.3 ALMACENAMIENTO DE CALOR

El agua es una de las sustancias que tienen la mayor capacidad calorífica por unidad de volumen; por eso se emplea como medio para almacenar calor. Uno de los problemas que se presentan al almacenar agua caliente, es el de que se debe evitar pérdidas de calor hacia el medio circundante. Para lograrlo, deben revestirse o forrarse los depósitos en que esté el agua caliente, con un material que sea aislante térmico (lana de fibra de vidrio, corcho, espuma de poliuretano, poliuretano en plar-chas, cascabillo de arroz, etc.).

Cuando se trata de almacenar el calor transportado por una corriente de aire caliente, los depósitos de rocas o grava (piedrín) tienen varias ventajas, porque el intercambio de calor se establece debido a la extensa superficie expuesta de las piedras o rocas, y el camino tortuoso que ha de recorrer el aire. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran algunas aplicaciones del almacenamiento en rocas y rocas/agua.

Existe otra forma de almacenamiento de calor mediante sales eutéticas (sales de bajo punto de fusión). Una sal eutéctica (la más comúnmente usada es el sulfato de sodio, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), absorbe gran cantidad de calor cuando se funde a baja temperatura (pasa de estado sólido a líquido), y libera ese mismo calor cuando se vuelve a solidificar. El calor producido es de unas 58 calorías/gramo de sal. Esta sal también se conoce como "Sal de Glauber".

El calor requerido para fundir un gramo de sal de Glauber es de 58 calorías. Un metro cúbico de esta sal, que pesa 41.8 kg, absorbe 2 413 kilocalorías, cuando se funde a 32°C . En el intervalo de temperatura de 27°C a 38°C , un metro cúbico de esta sal puede almacenar 95 280 kilocalorías. En comparación, un metro cúbico de agua puede almacenar solamente 11 080 kilocalorías, y un metro cúbico de roca sólida sólo almacena 6 412 kilocalorías, en ese mismo intervalo de temperaturas.

3.4 TRANSFERENCIA DE ENERGIA CALORIFICA

El calor se transfiere de una región a otra, como resultado de la diferencia de temperatura existente entre ellos. Existen tres mecanismos distintos de transferencia de calor: conducción, radiación y convección.

En muchas situaciones que se presentan en la Naturaleza, el calor fluye mediante la combinación de más de uno de esos mecanismos, en forma simultánea. En la práctica, cuando uno de los mecanismos predomina cuantitativamente sobre los otros, al calcular la cantidad del calor transferido, se pueden obtener soluciones aproximadas si se despreja el efecto de los otros mecanismos no dominantes y se considera sólo el que predomina en el proceso de transmisión de calor.

3.4.1 Conducción

Es un proceso mediante el cual el calor fluye desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja, dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo.

3.4.2 Radiación

Es un proceso por el cual fluye calor desde un cuerpo de alta temperatura a otro cuerpo con menor temperatura, y los cuales están separados por un espacio que, incluso, puede ser el vacío. La importancia de la transferencia de calor por radiación se hace mayor conforme mayor sea la temperatura del cuerpo más caliente. En las situaciones en que las temperaturas son próximas a la del ambiente, la transferencia de calor por radiación puede ser despreciada.

3.4.3 Convección

Es un proceso de transporte de energía causado por el movimiento de un fluido en contacto con un sólido. La convección tiene gran importancia como mecanismo de transferencia de energía entre una superficie absorbidora y un líquido o un gas (agua, en el caso de calentadores solares de agua; aire, en el caso de secadores solares).

La transferencia de energía por convección, desde una superficie cuya temperatura es superior a la de un fluido que está en contacto con ella, ocurre en varias etapas. Primero, el calor fluirá por conducción desde la superficie, hacia las partículas adyacentes del fluido. La energía así transferida provoca un aumento de la temperatura de esas partículas; entonces, éstas se moverán hacia otra región del fluido en que haya menor temperatura; ahí, se mezclarán con las partículas presentes, y les transferirán parte de su energía, aumentando así la temperatura de ellas.

El flujo, en este caso, es de masa y de energía; realmente, la energía es almacenada en las partículas del fluido y transportada como resultado del movimiento de toda la masa del mismo.

Para su operación, este mecanismo no depende únicamente de la diferencia de temperaturas, y, por lo tanto, no está estrictamente de acuerdo con la definición de transferencia de calor. Sin embargo, el efecto neto es el de un transporte de energía, y puesto que éste ocurre en la dirección de un gradiente de temperatura, está clasificado como una forma de transferencia de calor, y es conocido como "flujo o transferencia de calor por convección".

La transferencia de calor por convección se clasifica, de acuerdo con la causa que provoca el flujo, en convección libre y convección forzada. Cuando el movimiento del fluido tiene lugar exclusivamente como resultado de la diferencia de densidades causada por los gradientes de temperatura, se habla de convección libre o natural. Cuando el movimiento del fluido es provocado por algún agente externo, tal como una bomba, un

ventilador o un agitador, el proceso se conoce como convección forzada. La eficiencia de la transferencia de calor por convección depende, básicamente, de la mezcla del fluido.

3.4.4 Leyes básicas de la transferencia de calor

a) Conducción

La relación básica para la transferencia de calor por conducción fue dada por el francés Fourier, en 1822. Estableció que la velocidad de transferencia de calor por conducción, Q_k , en un material, es igual al producto de las tres cantidades siguientes:

1. La conductividad térmica del material, k
2. La extensión del área a través de la cual fluye el calor por conducción, A . Esta área debe medirse perpendicularmente al flujo de calor.
3. El gradiente de temperatura, $\Delta t / \Delta x$, es decir, la variación de la temperatura T , con respecto a la distancia X en la dirección del flujo de calor.

En consecuencia, la ecuación elemental para convección en un sistema de una sola dimensión es:

$$Q_k = kA (\Delta t / \Delta x) \text{ ----- } \frac{\text{calorías}}{\text{segundo}}$$

La conductividad térmica, k , es una propiedad del material, e indica la cantidad de calor (en calorías por segundo) que fluirá a través de un área de un centímetro cuadrado, si el gradiente de temperatura $\Delta t / \Delta x$ (en $^{\circ}\text{C}$ por centímetro) es la unidad; es decir, la dimensional de k entonces es:

$$[k] = \frac{\text{cal/s-cm}^2}{^{\circ}\text{C/cm}} = \frac{\text{cal}}{\text{s-cm-}^{\circ}\text{C}}$$

Los materiales que tienen una alta conductividad térmica se llaman conductores, mientras que los materiales que tienen baja conductividad se llaman aislantes.

b) Radiación

La cantidad de energía en forma de calor que sale de una superficie radiante, depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. (La temperatura absoluta es la temperatura en grados centígrados, más 273: $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$).

Un radiador perfecto, también llamado cuerpo negro, emite energía radiante desde su superficie con una velocidad de transferencia Q_r , dada por la ecuación.

$$Q_r = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

En esta ecuación, se tiene:

Q_r = Flujo de calor en calorías por hora

σ = Constante de Stefan-Boltzmann
 = $13.5 \times 10^{-9} \text{ cal/m}^2 \cdot \text{s}(\text{°K})^4$

A = área, en metros cuadrados

Los cuerpos comunes no se comportan como el radiador perfecto mencionado, sino emiten radiación a menor rapidez que un cuerpo negro y se denominan "cuerpos grises". El cociente de la emisión de radiación de un cuerpo común entre la emisión de radiación de un cuerpo negro, a la misma temperatura, es llamado la emitancia (E) del cuerpo. Así, un cuerpo real, emite radiación con la rapidez dada por:

$$Q_r = E \cdot A \cdot \sigma T^4$$

Como todos los cuerpos grises emiten radiación a un nivel de temperatura dado, lo que interesa es conocer el flujo neto de calor de un cuerpo a otro $Q_r (1 \rightarrow 2)$, que vendría dado por la relación

$$Q_r (1 \rightarrow 2) = (F_{1 \rightarrow 2}) \cdot A_1 \cdot E_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

en la que $F_{1 \rightarrow 2}$ es un "factor de forma" que depende de como "vea" un cuerpo al otro.

c) Convección

La velocidad de transferencia de calor por convección, entre una superficie y un fluido, puede calcularse por la relación siguiente:

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T$$

En esta ecuación se tiene:

Q_c = Velocidad de transferencia de calor por convección, en calorías por segundo.

A = área de transferencia de calor, en metros cuadrados.

ΔT = diferencia entre la temperatura de la superficie, y la temperatura del fluido, en algún punto particular de éste (usualmente, lejos de la superficie), en grados centígrados.

h_c = coeficiente de transferencia de calor por convección en calorías por segundo - m^2 - $^{\circ}\text{C}$.

La determinación del coeficiente de transferencia de calor en la convección es muy difícil, debido a que la convección es un fenómeno muy complejo. Existen técnicas disponibles para una determinación cuantitativa de h_c , y, algunos autores han preparado tablas con valores para este coeficiente, para sistemas de aire, agua, etc.

En la figura 3.3 se indican los principales mecanismos de transferencia de calor involucrados en un panel solar.

BIBLIOGRAFIA

- Kreider and Krieth, Solar heating and cooling, Revised first edition, McGraw-Hill, Washington, D. C., 1977.
- Kreith, F. Principios de transferencia de calor, Primera edición, Herrera Hnos. México, D. F., 1970.
- Anderson and Riordan, The solar home book, First edition, Brick House Publishing, New Hampshire, 1976.

TEMA CUATRO: APLICACIONES DE LA ENERGIA SOLAR

4.1 EVAPORACION

La evaporación es un fenómeno natural que consiste en un cambio de estado en el que una sustancia en estado líquido pasa al estado gaseoso en forma de vapor. Ocurre en todos los líquidos y su velocidad (o grado) depende de tres factores principales: volatilidad (específica de cada líquido); temperatura del líquido (a mayor temperatura la evaporación es más rápida); y grado o porcentaje de humedad del ambiente. Por ejemplo, el aire seco tiene más poder desecador que el aire húmedo, en tanto que un aire 100 por ciento saturado no permite evaporación natural.

Entre los usos en que puede aprovecharse la energía solar como productora de evaporación están: secado de productos agrícolas, producción salinera y producción de agua destilada.

4.1.1. Secado de productos agrícolas

El secado es el proceso comercial más utilizado para la preservación de la calidad de los productos agrícolas. La finalidad del secado es la separación parcial del agua contenida en la materia sólida, la cual queda con el contenido máximo de humedad con que puede ser almacenada en condiciones ambientales, por largos períodos (por lo menos un año), sin que pierda sus propiedades nutricionales y organolépticas. Esto último es consecuencia de que el secado inhibe casi totalmente los procesos metabólicos en el producto y crea condiciones desfavorables para el desarrollo de microorganismos.

a) Métodos de secado

Se usan dos métodos de secado entre los que se escoge aquél que más se adapte al producto que se ha de secar, a las condiciones del lugar y del ambiente.

Secado natural

Consiste en la exposición de la materia húmeda a las corrientes naturales de aire y a los rayos solares. A pesar de la naturaleza rudimentaria de este proceso, el secado solar natural o tradicional es, en la mayoría de los países sin desarrollo industrial o en vías de desarrollo, el único medio económicamente viable para secar muchos productos agrícolas.

Secado artificial

Consiste en tratar el producto húmedo en un secador en el que una corriente de aire lo seca. El aire, por lo general, se calienta mediante una fuente de energía, antes de que pase por el producto.

b) Secadores solares

Un secador solar es un artefacto compuesto de un colector solar y un compartimiento donde se coloca el producto que se desea secar. Como ya se indicó anteriormente, la radiación absorbida por la superficie negra del colector, eleva la temperatura de ésta; si en estas condiciones se hace circular aire (por convección natural o forzada), ocurre una transferencia de calor que eleva la temperatura del aire.

Cuando el aire sufre un aumento de su temperatura, también pierde humedad relativa, y pasa a ser un "aire seco" o "aire de baja humedad". Un aire relativamente seco tiene capacidad de absorber humedad de un cuerpo con el cual se le ponga en contacto. En un secador solar, es esto lo que ocurre: el aire seco y caliente circula entre el producto y absorbe humedad de éste. Cuando el contenido de humedad del producto ha descendido a un valor predeterminado, se retira del secador.

Entre los diversos productos que pueden secarse con secadores solares, están: granos (maíz, frijol, arroz, sorgo, café, cacao, soya, etc), vegetales (ajo, cebolla), frutas (banano, uva), carnes (pescado), leña.

c) Tipos de secadores solares

La elección del tipo de secador solar apropiado para cada caso, depende de condiciones tales como: cantidad de producto que se ha de secar, clase de producto, recursos económicos disponibles. Los secadores que se describen a continuación han sido probados en Guatemala, El Salvador y Honduras, para secar maíz, frijol, arroz y sorgo.

Secador solar "caja caliente" o directo

Es uno de los más sencillos de construir. Consiste en (figura 4.1) una caja de madera (u otro material aislante) que tiene agujeros en el fondo y en la parte superior de las paredes. Sobre el fondo se coloca una parrilla de metal o de malla de alambre y sobre ella se coloca el producto; en la parte superior de la caja se coloca una cubierta transparente hecha con cualquiera de los materiales recomendados en sección anterior de este folleto.

El aire del ambiente exterior entra a la caja por los agujeros del fondo, y dentro de ella se calienta por acción del sol. Este aire calentado produce la evaporación del agua contenida en el producto. El aire ya cargado de humedad sale por los agujeros superiores de ventilación.

En este tipo de secadores pueden secarse sólo pequeñas cantidades de material, debido a que éste puede colocarse en capas delgadas (unos pocos centímetros) ya que el aire circula muy lentamente, por tratarse de un proceso de convección natural.

Secado solar indirecto

Este secador (figura 4.2) consiste en dos partes separadas: un colector solar y una cámara de secado. El colector solar puede ser un conducto de sección rectangular, abierto al aire exterior en un extremo, y comunicado con la cámara de secado, por el otro.

Su funcionamiento es así: el aire contenido dentro del colector se calienta y fluye hacia la cámara de secado, por convección (natural o forzada); el producto que se desea secar está colocado en la cámara y a través de él circula el aire calentado absorbiendo la humedad que contiene; el aire ya húmedo sale por la parte superior de la cámara.

Aunque con este modelo se obtiene menor elevación de la temperatura del aire de secado, tiene en cambio la ventaja de que pueden secarse mayores cantidades de material que en el modelo directo, ya que la altura de la capa de material puede hacerse varias veces mayor que en éste; puede aprovecharse para secar, por ejemplo, cantidades de granos mayores de 4 quintales.

Silo secador con colector solar inflable

Este secador (figura 4.3) es del tipo indirecto y, por lo tanto, consiste en un colector y una cámara de secado (silo). El colector tiene la forma de un domo que se mantiene inflado por el aire que fluye por él hacia el silo, gracias a un ventilador. El flujo de aire en este secador es por convección forzada. La cubierta transparente del colector puede ser de vinilo o de polietileno, y el absorbedor puede ser un plástico negro, una lámina pintada de negro o una capa de grava (piedrín).

La cámara de secado es un silo que tiene un fondo perforado por el que pasa el aire. El silo puede ser metálico de tipo convencional, aunque puede usarse una construcción de adobe u otro material.

Este secador es recomendable para el secado de cargas de granos mayores de 2 200 libras.

BIBLIOGRAFIA

- Roa Rossi, Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural, 1a. edición, Academia de Ciências de Estado de São Paulo, Brasil, 1980.

4.1.2 Producción de sal y destilación de agua

a) Producción de sal

La obtención de sal a partir de agua marina aprovecha un fenómeno natural de evaporación, en una forma clásica. La solución de agua y sal se concentra gradualmente por evaporación en patios cristalizadores, hasta que cristaliza la sal, en un proceso lento que dura de 20 a 25 días durante la estación seca del año.

El proceso, por su lentitud, requiere de un área grande de evaporación. En la actualidad existen patios solares hechos de ladrillo de barro cocido a los que se hace llegar agua con alto contenido de sal procedente de estanques que no son más que lagunetas artificiales.

Una mejora hecha a los patios cristalizadores, consiste en colocar en su fondo un plástico especial (salinero) que es negro y que capta mejor la energía solar que el fondo natural, con la ventaja adicional de que la sal cristaliza sin adherirse a él.

Otra mejora que puede hacerse es la colocación de una especie de destilador abierto sobre el patio cristizador, que aumenta aún más la evaporación y permite trabajar inclusive con lluvias leves. Con este sistema es posible producir, en la misma salina, agua destilada para consumo de los trabajadores.

b) Producción de agua destilada a partir de aguas no potables

En los lugares en donde el agua es escasa, pero en los que se dispone de aguas salobres o contaminadas, se puede usar la energía solar de la manera siguiente: se coloca una bandeja cuyo fondo es un absorbedor de metal negro (o plástico negro); sobre ella se levanta una tienda de plástico o vidrio transparente, cuyos lados descansan sobre canales especiales con declive; el agua salobre o contaminada se deposita en la bandeja; por evaporación se obtiene agua pura en forma de vapor, la cual, al entrar en contacto con la cubierta, se condensa; a causa de la inclinación de los lados de la cubierta, las gotas de agua condensada resbalan hacia los canales, de los que puede recogerse. (figura 4.4 y 4.5)

Las variantes de este tipo de destilador son, en esencia, iguales; se han obtenido producciones que van desde 2 a 12 litros por metro cuadrado de bandeja por día.

BIBLIOGRAFIA

- Halacy Jr., Daniel. Tierra-Agua-Viento-Sol. Nuestras alternativas energéticas. Editorial Nuevo Mar, México D. F., México (1977).

4.2 CALENTAMIENTO DE FLUIDOS

4.2.1 Calentamiento de agua

Para este aprovechamiento de la energía solar, se usan colectores solares, ya sea de tipo plano o de tipo concentrador. El atractivo de estos sistemas de calentar agua es el ahorro conseguido con ellos, porque requieren poca inversión inicial y mantenimiento de bajo costo, además de que tienen una vida útil comparable con la de otros sistemas (calentadores eléctricos y de gas).

El calentamiento de agua mediante energía solar puede usarse tanto en el hogar como en la industria, ya que con un sistema de colectores planos se puede obtener agua a temperaturas entre 45° y 55°C (en días sin nubosidad), y en condiciones de insolación adecuadas, se logra alcanzar la temperatura de ebullición.

El agua caliente se emplea, por lo común, para el baño y el lavado en casas particulares, hospitales, internados y otros; en algunos casos se usa en piscinas privadas o colectivas.

El calentamiento de agua es una de las aplicaciones más importantes de la energía solar, que compite económicamente con métodos de calentamiento a base de fuentes convencionales de energía. Un mayor detalle de este tema se incluye en el capítulo No. 5, relacionado con los aspectos técnico-económicos de los sistemas de calentamiento de agua.

4.2.2 Calentamiento de ambientes cerrados

La temperatura necesaria para lograr un adecuado calentamiento de ambientes cerrados es baja, por lo que no se requiere el uso de colectores solares concentradores.

La calefacción solar en este caso se logra en su totalidad con colectores planos, montados horizontalmente en un techo plano, inclinados hacia el ecuador, o bien, colocados verticalmente en las fachadas que den al ecuador.

El calor absorbido se transmite del colector al edificio o a un sistema de almacenamiento, mediante una corriente de agua o de aire. El agua conduce mejor el calor y requiere conductos más pequeños, pero es necesario usar motores y bombas. En cambio, los sistemas de aire necesitan conductos grandes y los ventiladores empleados para impulsar el aire son más sencillos que las bombas.

Una parte considerable de las pérdidas de calor en un edificio bien aislado térmicamente, se produce por las ventanas, y se puede economizar algo de los costos en calefacción, corriendo las cortinas por la noche.

Durante los primeros estudios realizados sobre la calefacción solar se encontró que, al aumentar el número de ventanas, aumenta el consumo de combustible, porque las pérdidas de calor por radiación hacia el exterior son superiores a la ganancia por la captación de energía solar.

El conocimiento de la importancia de las pérdidas de calor ha conducido al desarrollo de aislantes muy perfeccionados, tal como la lana de fibra de vidrio y ciertos tipos de plásticos.

Uno de los problemas de más importancia en la instalación de un sistema de calefacción solar es la gran extensión superficial de colectores que se requiere.

Un diseño cuidadoso del sistema puede ayudar mucho en el ahorro de combustible en el invierno y conseguir temperaturas más bajas en el verano.

En el Hemisferio Norte, las grandes ventanas que dan al sur dejan pasar la radiación solar que luego se almacena en las paredes y en los muebles. Si este calor no se desea en el verano, se puede colocar sobre las ventanas un alero que produzca sombra en esa época, cuando el sol está alto en el cielo, y que no impida el paso de la luz solar en invierno cuando el sol está más bajo.

En los edificios de oficinas, se pueden disponer voladizos sobre las ventanas, para conseguir sombras durante las épocas apropiadas; también pueden usarse persianas que se bajen automáticamente.

BIBLIOGRAFIA

- Use of solar energy for space heating. Conference on new sources of energy. Roma 1961.
- Installations for solar space heating in Gering Fukuo Yanagimachi.
- H. Thomason. Solar space heating, water heating, cooling.
- Barber, V., Mathews, R.: Starting a local conservation and passive solar retrofit program. An energy planning source book. LA.-8992-EPS Los Alamos National Laboratory.
- Passive solar design handbook, Vol. 1, 2, 3. DOE/CS- D 12712 y DOE/CS- D 12713, U. S. Department of Energy (DOE).

4.3 GENERACION DE ELECTRICIDAD Y FUERZA MOTRIZ

4.3.1. Generación de Electricidad

a) Celdas fotovoltaicas

Una de las formas de aprovechamiento de la energía solar es la generación directa de electricidad a partir de la luz del sol, por medio del proceso fotovoltaico, el cual se define así: generación de una fuerza electromotriz como resultado de la absorción de radiación ionizante (solar).

Las unidades de conversión de energía se llaman "celdas solares" o "celdas fotovoltaicas". El efecto fotovoltaico puede observarse en una gran variedad de materiales, pero los que muestran un mejor rendimiento son los materiales semiconductores (sólidos cristalinos cuya habilidad para conducir la electricidad es menor que la de los metales, pero mayor que la de los materiales aislantes). Cuando un semiconductor absorbe la luz solar, se producen electrones libres con mayor energía que los electrones fijos que forman el cristal del semiconductor.

Una vez que se producen los electrones libres, se requiere un campo eléctrico para inducirlos a fluir hacia afuera del material para que hagan un trabajo útil. Se consigue producir el campo eléctrico, en la mayoría de las celdas fotovoltaicas, al unir dos materiales de diferentes propiedades eléctricas.

El silicio es uno de los materiales más empleados para la construcción de celdas fotovoltaicas. Otros son: el sulfuro de cadmio, el telurio de cadmio, el arseniuro de galio.

Una celda solar típica está formada por dos capas delgadas de silicio, cada una de ellas con un alambre incorporado cuyo extremo sale al exterior, (figura 4.6). En una de las capas, algunos de los átomos de silicio han sido reemplazados por átomos de boro; y en la otra, por átomos de fósforo. La luz solar induce a los electrones libres a moverse por el alambre de la capa silice-fósforo hacia la capa silice-boro, con lo que se produce una corriente eléctrica que tiene una eficiencia de conversión de 4 por ciento, máximo.

b) Módulos fotovoltaicos

Las celdas solares pueden conectarse eléctricamente para formar un "módulo", que es la unidad básica de los sistemas eléctricos solares. Por ejemplo, 40 celdas pueden producir una corriente eléctrica suficiente para recargar una batería de automóvil de 12 voltios.

c) Sistemas de potencia

Se requiere controlar el voltaje mediante un regulador, y dirigir la corriente hacia una batería, para almacenarla. Como la corriente eléctrica producida es directa, es necesario, también, un rectificador o acondicionador para convertirla en corriente alterna (figura 4.7).

d) Usos actuales

Esta tecnología solar se emplea principalmente en satélites meteorológicos, de comunicaciones (radio, televisión); en comunicaciones de todo tipo UHF, VHF, repetidores de microondas, telefonía rural. También se usa en bombeo para: sistemas de abastecimiento de agua potable, sistemas de irrigación, bebederos para ganado, protección catódica de corrosión en tuberías y tanques de agua.

Se usan módulos fotovoltaicos en instalaciones de ayuda para navegación, señales ferroviarias, transmisión automática de datos meteorológicos y sismológicos, iluminación, etc.

Una de las limitaciones en el uso de los sistemas fotovoltaicos es el costo inicial; actualmente oscila entre \$20 y \$30 por watt-pico, incluyendo celdas, baterías, reguladores y rectificadores. (*)

BIBLIOGRAFIA

- Backus, Ch. E., Photovoltaic conversion, Cap. 12 en "Solar Energy Engineering" Saying, A. A. M. (ED), Academic Press, (1977).
- Backus, Ch. E., Applications of solar energy in space, Cap. 13, Ibid.
- Kettani, A. M., Conversion of solar into electricity, Cap. 14 Ibid.
- Solar electricity from photovoltaic conversion. United States Department of Energy, DOE
- Solman, F. J. et al, The 100 - KWP Photovoltaic power System at Natural Bridges National Monument, DOE/ET/20279-83.

4.3.2 Refrigeración y aire acondicionado

Muchos alimentos, incluyendo frutas, legumbres, carnes, pescado, productos lácteos, pueden conservarse en estado fresco durante semanas, si se mantienen a una temperatura entre 0° y 3°C. Para almacenamiento más prolongado, es necesario someterlos a congelamiento (-18° a -25°C). Esto puede lograrse mediante refrigeración.

Otra de las aplicaciones de la refrigeración es el acondicionamiento de aire, para lograr un clima agradable dentro de ambientes cerrados; se consigue esta condición mediante enfriamiento y deshumidificación del aire atmosférico.

(*) Pesos centroamericanos

Normalmente, el enfriamiento se logra mediante refrigeradoras que tienen un compresor eléctrico como equipo principal, y mediante el cual se producen ciclos de compresión de vapor. Existe otro sistema de refrigeración llamado "por absorción", en el cual, en vez del compresor, se usa un absorbedor-generador en el que se producen cambios de estado de una solución binaria con un componente más volátil que el otro. Para hacer funcionar este sistema se requiere una fuente de calor, y en este caso se usa la energía solar para calentamiento de la solución; el calentamiento puede ser directo o mediante un intercambiador de calor (ver figura 4.8 y 4.9).

Ordinariamente se usa una solución binaria de amoníaco-agua, con concentración entre 48 y 60 por ciento NH_3 . Para una operación a 13-15 BAR (189-217 psi) se requiere en el generador una temperatura de 66°C , aproximadamente, la cual es posible alcanzar mediante colectores solares planos.

En estos sistemas se han logrado producciones de hielo de 2 a 12 kg/m^2 de superficie colectora. Aunque la refrigeración solar es técnicamente factible, todavía no se ha logrado comercializar a causa de su alto costo, de la complejidad de su operación y de su baja eficiencia (5 a 10%). Existen varios prototipos experimentales, así como algunos sistemas comerciales instalados tales como: la 100 TON YORK Model, el ES absorption liquid chiller, y la 25 - TON ARKLA Unit.

BIBLIOGRAFIA

Enfriamiento y refrigeración solar

- Stefan Dutting, A survey of solar powered refrigerators. S 1/5, 11/78, German Appropriate Technology Exchange (GATE).
- Christian Seufert, Gabriele Heber, Solar cooling of buildings: A survey, S 1/17 5/79, German Appropriate Technology Exchange (GATE).
- B. J. Brinkworth, "Refrigeration and air conditioned", Cap. 6, Solar energy engineering, Sizing, A. A. M. (ED), Academic Press, 1977.

4.3.3 Bombas solares

Existen básicamente dos sistemas de bombeo que utilizan la energía solar: a) la máquina solar, que convierte directamente la energía térmica de un fluido, en energía mecánica, por medio de una expansión de los vapores del fluido; y b) la bomba solar directa, sistema en el que los vapores del fluido de trabajo presionan un frente de agua empujándolo, por ejemplo, hacia afuera de un pozo, con lo que se crea un efecto de bombeo. En ambos casos, el vapor del fluido de trabajo se produce mediante calentamiento solar con colectores planos o parabólicos.

a) La máquina solar

Usa freón (22, 12, 11, 114) o butano como fluidos de trabajo. El rendimiento obtenido en el ciclo es de 0.02 a 0.04 HP/m² de superficie de colector. El sistema completo tiene un costo aproximado de US\$ 2 100/HP, del cual el 40 por ciento corresponde al costo de los colectores.

b) La bomba solar directa

Esta bomba, usa derivados del petróleo con puntos de ebullición entre 35° y 40°C (pentano, por ejemplo). Un sistema instalado para bombeo de un caudal de agua de 6.94 l/seg (110 gpm), tiene un costo aproximado de US\$ 8 000, con un área de 100 m² de colectores planos, lo que equivale a un rendimiento de 0.069 l/seg por m² de colector (3.61 gpm/pie²) para una carga hidráulica equivalente a 18 m (figura 4.10).

c) Eficiencia de los sistemas

Ambos sistemas requieren una superficie grande de colectores, a causa de la baja eficiencia total que resulta por la conversión de energía térmica a mecánica. Si se consideran los valores del cuadro siguiente,

E_T	eficiencia total	
E_{col}	eficiencia colector	(0.2 - 0.7)
E_1	eficiencia convertidor Térmico-Mecánico (planta térmica)	(0.05 - 0.3)
E_2	eficiencia convertidor mecánico-eléctrico (generador eléctrico)	(0.8 - 0.9)
E_3	eficiencia convertidor eléctrico-mecánico (motor eléctrico)	(0.8 - 0.9)
E_{bomba}	eficiencia de la bomba	(0.7 - 0.9)

La eficiencia total resulta:

$$E_T = E_{col} \times E_1 \times E_2 \times E_3 \times E_{bomba}$$

Entonces, la eficiencia total será entre 0.005 y 0.15, para una máquina solar, y entre 0.07 y 0.19 para una bomba directa. Estas eficiencias representan valores muy bajos en cuanto a conversión total. Por esto, y por los altos costos de la inversión, los sistemas solares de bombeo tienen poca aplicación actualmente.

BIBLIOGRAFIA

- Stephan Dutting, Solar Water Pumps, Technical Potentialities. International R & D activities. S 1/49/78, German Appropriate Technology Exchange (GATE).
- Glicksman, L. R., Heat Pumps. Off and running...again, Technology review June/July 1978.
- Abbaspour, M.; Glicksman, L. R. The proper use of thermal storages for a solar assisted heat pump heating system.

4.3.4 Generación de vapor

a) Generalidades

El uso del vapor como medio de generación de potencia y como agente de calentamiento, es bien conocido. Los sistemas de potencia requieren el uso de vapor a alta presión y con sobrecalentamiento.

En la industria el vapor se usa más bien como medio de calentamiento, a presiones medias o bajas, con poco o ningún grado de sobrecalentamiento.

Antes de abordar la aplicación de la energía solar en la producción de vapor, debe destacarse que en la producción de este fluido, lo más difícil de lograr es el cambio de fase de líquido a vapor, que en el caso del agua requiere unas 540 cal/g. Compárese este valor con el que corresponde a la elevación de temperatura del agua desde 0° a 100°C, que es del orden de 100 cal/g.

Esquemáticamente, un sistema de producción de vapor consiste en: una caldera, una tubería para vapor, un equipo en que se usa el vapor (turbina, evaporador, calentador, etc.), un sistema de retorno de condensados, y bombas.

Los sistemas de generación de vapor mediante energía solar, debido al cambio de fase que se requiere, son grandes consumidores de energía, y esto obliga casi siempre al uso de concentradores solares (también se puede generar vapor con colectores planos de tubos especiales, con estanques solares, con heliostatos-tanques, etc.).

Debido a la naturaleza intermitente y fluctuante de la insolación, un sistema de estos deberá incluir algún tipo de caldera convencional auxiliar, la cual deberá ser usada cuando, por algún motivo, el vapor generado mediante energía solar no sea suficiente. Esta caldera convencional auxiliar no debe operar como sustituto del sistema principal, sino como complemento del mismo.

Algunas de las mejoras que aumentan la eficiencia de un sistema solar que produzca vapor, son:

- Mecanismos complejos de seguimiento solar que optimizan la captación de energía, pero que sólo son justificables en sistemas grandes.

- Uso de absorbedores de tubos al vacío que permitan sólo insignificantes pérdidas de energía por convección y conducción, y escasas pérdidas por radiación, para lograr un aumento en la eficiencia de la captación.

- Uso de líquidos térmicos que posean alto punto de ebullición y una elevada conductividad térmica y capacidad calorífica; esto produce mejoras en la transferencia entre el absorbedor y el líquido, y entre éste y el punto de uso.

- Uso de mejores aislamientos térmicos en el recorrido del vapor y del agua caliente del retorno.

- Precalentamiento del agua mediante colectores solares planos.

b) Tipos de sistemas productores de vapor

Se pueden clasificar en dos grupos los sistemas descritos: a) con dos líquidos; y b) con un líquido.

Naturalmente, el tipo más complejo es el primero; en este tipo, generalmente el sistema de captación de energía solar cede su energía a un líquido intermediario; éste, a su vez, lo cede a otro líquido (normalmente, agua) que se va a vaporizar. La transferencia de calor ocurre en un intercambiador térmico. El líquido intermediario no se vaporiza. (Figura 4.11).

En el caso de que se use un intermediario que no sea agua, se requiere de condensadores eficientes para evitar pérdidas; estos condensadores representan un encarecimiento del sistema. De cualquier forma que sea el líquido caliente no debe desperdiciarse, sino que debe mantenerse en un circuito cerrado del cual no ha de sacarse.

En el tipo de sistemas productores de vapor de un solo líquido no se tiene intercambiador directo, y el líquido usado se vaporiza en el sistema de captación de energía solar.

BIBLIOGRAFIA

- Kreider Jan. Solar Energy for Medium and High Temperature Process. Academic Press Inc. 1979.

4.4 PRODUCCION DE ALTAS TEMPERATURAS

4.4.1 Hornos solares

Un horno solar es un aparato diseñado para producir altas temperaturas mediante la concentración de la radiación solar. Una de las aplicaciones más importantes de los hornos es la investigación de las propiedades de los materiales a altas temperaturas, ya que con esos hornos pueden alcanzarse temperaturas del orden de los 3 000°C.

Hay dos tipos principales de hornos solares: los de radiación directa, y los de tipo heliostato. (figura 4.12)

Los de tipo heliostato constan de dos partes: el heliostato, que normalmente consiste en una batería de espejos planos que reflejan la luz solar; y el concentrador, que es un espejo parabólico que recibe la luz reflejada por los heliostatos, y la concentra en un área muy pequeña.

Por lo común, todos los heliostatos tienen un sistema para enfoque, es decir, para seguir la trayectoria del sol. Los sistemas más usados para esto son: por tiempo (es decir, mediante el ajuste de la velocidad de rotación del eje); por servosistemas (dispositivos fotoeléctricos); y por ajuste manual.

Como ejemplos de estos hornos, se puede citar dos instalaciones mundialmente conocidas. Una, el horno de Bourareah, Algeria, que tiene un concentrador paraboloide de 10 m de apertura, formado por 108 espejos. Y, el otro, el horno de Mont Luis, Francia, que es de tipo heliostato; el concentrador está formado por 3 500 espejos paraboloides, y el heliostato tiene 530 que cubren una extensión total de 10.5 por 13 m.

4.4.2 Cocinas solares

Se han desarrollado varios modelos de cocinas solares, especialmente en países tales como India, Egipto, Irán, Turquía, en los que la leña es muy escasa.

Entre esos modelos, hay tres tipos principales: el de caja caliente, el de concentrador paraboloide, y el de colector plano.

a) Modelo de caja caliente

Consiste en una caja doble de madera; entre ambas cajas se llena con cascabillo de arroz como aislante. En la parte superior, tiene una cubierta transparente, formada con dos vidrios. Puede contener hasta 4 ollas (de 1 kg cada una) y desarrollar una potencia máxima de 100 W, y alcanzar una temperatura máxima de 100°C (figura 4.13).

b) Modelo de concentrador paraboloide

Esta cocina consiste en un colector en forma de paraboloide, con superficie reflectora (la que usualmente se hace de aluminio). Concentra los rayos solares en pequeña zona en que se colocan las ollas o recipientes que se requiere calentar. La temperatura máxima alcanzada es de 170°C, la cual permite hornear y rostizar. La eficiencia de estas cocinas es de 45 a 50 por ciento.

Una de las desventajas de este tipo de cocina, es que es necesario enfocar constantemente el colector a intervalos de 15 a 30 minutos, para que no se pierda el foco y para que se logre una eficiencia alta, (figura 4.14).

c) Modelo de cocina con colector plano

En el colector se produce vapor, que se transporta hacia la cocina en sí; ésta es una doble caja con aislamiento térmico en la que se colocan los recipientes que se requiere calentar. El vapor procedente del colector se condensa en los recipientes y el agua regresa hacia el colector en donde es evaporada de nuevo, en un ciclo que se repite en tanto haya radiación solar incidente.

Con un colector plano de 0.75 m² se obtiene una temperatura máxima de 100°C y se requiere un período de 65 minutos para que 2 litros de agua alcancen el punto de ebullición. La potencia efectiva de esta cocina es de 150 W, con una eficiencia total de 20 por ciento. (figura 4.15).

BIBLIOGRAFIA

- Christian Seufert, Survey of solar cookers S1/17/78. German Appropriate Technology Exchange (GATE).
- Bernd Martin, Drawing of solar cookers, concentrating collector D1/67/79, German Appropriate Technology Exchange (GATE).
- Sakurai, T., Solar furnaces, Cap. 11, en Saring, A.A. M. (Ed.) Solar Energy Engineering. Academic Press (1977).

4.5 ALMACENAMIENTO DE CALOR

4.5.1 Estanques solares

Un estanque solar ("solar pond") consiste en un depósito en el cual se superponen dos capas de agua salada con diferente densidad. La más profunda tiene una mayor concentración de sales (NaCl, sal de Glauber, etc.) y esta concentración puede variar de 15% a 20%. La capa superior tiene una dilución menor, y de consiguiente, es más liviana que la otra.

Cuando la radiación del sol incide sobre el estanque, atraviesa la capa superior (liviana) y llega a la inferior (con alta concentración de sales); en ésta, debido a la presencia de iones salinos, cede una porción considerable de su energía, calentándola. El fenómeno de convección natural por el cual un fluido caliente asciende, no ocurre en este caso, pues la alta concentración de la salmuera que forma la capa inferior lo impide. Esto da como resultado que la salmuera no llega a estar en contacto con el aire atmosférico, y no se enfría. En estas condiciones, el calor queda almacenado en el estanque.

La característica más importante de un estanque solar es la profundidad, y se construyen estanques con profundidades diversas desde 1 metro hasta 10 metros, aunque la profundidad de los estanques corrientemente se hace de 2 a 3 metros. En lo que corresponde a la extensión superficial, se han habilitado o construido estanques experimentales desde 1 metro cuadrado de superficie, hasta 5 000 kilómetros cuadrados. La extensión usual fluctúa entre 20 000 y 30 000 metros cuadrados.

4.5.2 Rapidez de calentamiento

El proceso de calentamiento es lento pues la temperatura asciende 1 - 2° C por semana en un estanque de 3 metros de profundidad, hasta alcanzar una temperatura de 49 - 82° C (y en algunos casos, 93° C). Esta temperatura final se alcanza en un promedio de 6 meses. Es importante hacer notar que la temperatura final depende de la profundidad, del tipo de sal usada y de la concentración de ésta.

4.5.3 Usos generales

Un estanque solar es un almacén grande de energía de bajo costo. Debido a que se pueden alcanzar temperaturas hasta de 93° C, se puede usar esta energía hasta para generar vapor. El uso que se haga de la misma depende de los intereses del usuario y del ingenio que se aplique. En el uso más común se hace pasar tubos metálicos por el fondo y por ellos una corriente de agua; el agua calentada puede usarse en procesos industriales, en acondicionamiento de ambientes (invernaderos, edificios, plantas, etc.) es posible, incluso, acoplar el estanque a sistema de intercambio de calor para destilar o para precalentar calderas.

Se han construido también generadores eléctricos activados por vapor producido por estanques solares. Un ejemplo de este uso es la planta de 150 Kw construida en Israel y que es accionada por un estanque solar de 7 500 metros cuadrados de extensión y de 2.5 metros de profundidad. En ese mismo país se tiene en proyecto acondicionar unos 5 000 km² del Mar Muerto para producir aproximadamente 2 000 Mw de energía eléctrica.

4.6 APROVECHAMIENTO INDIRECTO DE LA ENERGIA SOLAR

Como se sabe, los fenómenos meteorológicos en su gran mayoría están indirectamente gobernados por la radiación solar; así, los vientos, el oleaje del mar, las diferencias de temperatura de las capas de agua de los mares, las corrientes oceánicas, tienen como fuente primaria el régimen variable de insolación de la superficie terrestre, aunque naturalmente, en la ocurrencia de esos fenómenos participan otros factores simultáneamente.

4.6.1 Energía eólica

A causa de las distintas condiciones de insolación en diferentes zonas de la tierra, el aire no tiene una temperatura uniforme en todos los lugares. Hay diferencias determinadas por la latitud (trópicos y polos) y por la altitud (costas y montañas). Las masas de aire caliente (aire poco denso) ascienden dejando espacio que es ocupado por masas de aire frío (aire denso), el cual se calienta a su vez, con lo que se produce un flujo cíclico. Estos desplazamientos resultan afectados por otros numerosos agentes como las estaciones del año, la rotación de la tierra, las cadenas montañosas, etc.

Estas condiciones crean regímenes de viento que pueden tener carácter mundial y estacional (alisios), o regional y estacional (monzones) o bien local y periódico (brisa tramontana), y otros.

Tanto la dirección como la velocidad del viento varían aunque a veces en forma predecible, lo que facilita el aprovechamiento de la energía cinética que posee. La energía del viento (energía eólica) es una forma indirecta de energía solar.

Los equipos que se emplean para aprovechar la energía eólica deben ser colocados en sitios en que el régimen de vientos sea predecible.

4.6.2 Equipos para aprovechamiento de la energía eólica

Los más conocidos son: la vela y el molino de viento. La vela convierte parte de la energía cinética del viento en movimiento lineal. El molino es una variante de la vela en la cual la energía cinética se transforma en movimiento rotacional.

4.6.3 Cómo funciona un molino de viento

Un molino de viento es un arreglo de aspas rígidas o semirrígidas (rueda), que forman un determinado ángulo respecto a la dirección del viento. Este, al golpear contra un aspa, se desliza sobre la misma, a causa del ángulo de inclinación del aspa, pero le cede parte de su energía cinética, que se convierte en energía de rotación de la rueda. Esta energía de rotación puede usarse en muchas formas (generadores eléctricos, molinos, bombas para pozo, etc.).

Algunas variables importantes de diseño de un molino son: la forma, el área, el número y la longitud de las aspas (diámetro de la rueda); la dirección del viento y su velocidad.

La ecuación general que permite establecer la potencia aprovechable en un molino es:

$$\text{Potencia aprovechable} = K.A.V^3$$

En esta ecuación, A es el área total de todas las aspas, V es la velocidad del viento y K es una constante que involucra, tanto las variables del diseño del molino, como las unidades en que se expresen la potencia, el área y la velocidad.

4.6.4 Clasificación del molino

Por su velocidad.

Hay de alta y de baja velocidad. Los primeros se usan en la generación de electricidad, constan de 2 ó 3 aspas en forma de hélice, y el valor de A es bajo. Los segundos sirven para bombeo y molienda, tienen numerosas aspas (generalmente planas), y el valor de A es alto; de esta forma, producen mucha fuerza a poca velocidad.

Por la disposición del eje

Hay de eje vertical y de eje horizontal. El eje de que se trata es el de eje de rotación de la rueda del molino (figuras 4.16 y 4.17). Los de eje horizontal son de tipo de hélice (alta velocidad) y de tipo turbina (velocidad media o baja). Requieren orientación continua según la dirección del viento; existe para ellos una velocidad máxima limitante, por encima de la cual pueden dañarse, y por eso tienen un dispositivo que los frena cuando su velocidad llega al máximo limitante. Su eficiencia teórica es cerca al 60%, y la práctica, de 40% o menos.

Los de eje vertical son generalmente molinos de baja o muy baja velocidad, con un poderoso torque, y además de que no representa problema el que roten a velocidades mucho más altas que las de diseño, no requieren orientación alguna. Dos modelos clásicos son: Molino Savonius (dos medios toneles) y Molino Darrieous. Sus eficiencias teóricas están cercanas del 20%, y las prácticas, cerca del 15%.

4.6.5 Tamaños usuales de molinos de viento

Se han construido y operado molinos electromotrices con potencias desde unos pocos vatios, hasta 7 500 kilovatios. En los que respecta a las dimensiones, las ruedas de aspas tienen desde menos de 30 centímetros, hasta 20 o más metros de diámetro; se han instalado en monturas tan sencillas como varillas o astas, y en monturas complejas consistentes en torres de casi 100 metros de alto.

BIBLIOGRAFIA

- Daniel Halacy Jr., Tierra-Agua-Viento-Sol. Nuestras alternativas energéticas. Editorial Nuevo Mar, México, D. F., México (1977).
- E. W. Golding. Wind for Water Lifting and the Generation of Electricity on the Farm. Editado por Agricultural Engineering Branch, Land and Water Development Division of FAO. Boletín Informal de Trabajo No. 17.

TEMA CINCO: SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR

5.1 SISTEMAS Y SUS PARTES

Un sistema de energía solar es un conjunto de equipos y accesorios cuya finalidad es el aprovechamiento de la energía del sol. Esta puede captarse y luego transferirse a diferentes fluidos: agua, aire, líquidos térmicos, en los sistemas térmicos. También puede convertirse directamente en electricidad en los sistemas fotovoltaicos.

Entre los sistemas térmicos se pueden señalar dos tipos: los de flujo natural o termosifón, y los de flujo forzado.

Los componentes principales de un sistema, y su función respectiva se detallan en el cuadro siguiente, y la forma y lugar de colocación se consignan en las figuras 5.1, 5.2 y 5.3.

<u>COMPONENTE</u>	<u>FUNCION</u>
<u>SISTEMAS TERMICOS</u>	
Colector o panel solar (plano o concentrador)	Captar la energía solar y transferirla a un fluido de trabajo.
Tanque de almacenamiento	Mantener almacenado un fluido caliente, para conservar su energía térmica. Normalmente es un tanque metálico aislado térmicamente.
Bomba de recirculación	Recircular el fluido desde el tanque hacia el colector, y viceversa.
Control diferencial de temperatura	Comparar continuamente la diferencia de temperatura del fluido del fondo del tanque y la del fluido en la parte más caliente del colector; cuando la diferencia excede de un valor dado (usualmente 5°C) activar la bomba de recirculación.
Sensores de temperatura	Medir la temperatura del fluido y enviar las señales respectivas al Control.

<u>COMPONENTE</u>	<u>FUNCION</u>
Tanque de expansión	Absorber los cambios de volumen que experimenta el fluido a causa de un aumento de temperatura.
Válvula de seguridad	Liberar a la atmósfera cualquier exceso de presión del sistema.
Trampa de aire	Eliminar burbujas de aire que conduzca el fluido contenido en un sistema cerrado.
Rotámetro	Medir el flujo de fluido circulante (volumen por unidad de tiempo).
Manómetro	Medir e indicar la presión interna del fluido.
Ventilador, soplador o extractor	Recircular el aire, en sistemas que calientan este fluido.
Tubería, ductos, accesorios	Conducir el fluido y distribuirlo a los puntos de consumo o procesamiento.
Válvulas	Controlar el flujo del fluido, ya sea impidiendo que ocurra en un sentido, ya derivándolo (by-pass) o cortándolo.
Intercambiador de calor	Transmitir la energía contenida en un fluido térmico, a otro fluido (agua o aire) que se requiera calentar.

SISTEMAS ELECTRICOS O FOTOVOLTAICOS

Módulo fotovoltaico	Producir electricidad a partir de la energía solar recibida.
Batería	Acumular energía eléctrica producida en módulos fotovoltaicos.
Regulador de voltaje	Producir un voltaje uniforme en la corriente que llega a la batería, para impedir que ocurran elevaciones dañinas de voltaje causadas por un aumento de radiación solar (picos).
Rectificador	Convertir la corriente directa entregada por la batería, en una corriente alterna.
Conductores y conectores	Conducir el fluido eléctrico de un elemento del sistema a otro u otros.

5.2 ASPECTOS DE INGENIERIA EN LA LOCALIZACION Y EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS TERMICOS

Para proyectar y construir un sistema de energía solar, es necesario tomar en cuenta varios aspectos que se consideran en los párrafos siguientes.

5.2.1 Localización

El lugar que se escoja debe tener poca nubosidad y una insolación promedio anual de 350 a 500 ca./cm²- día. Es importante también asegurarse de que en el sitio escogido haya una buena "ventana solar", es decir, que no haya sombra que afecte el área de captación de los colectores.

5.2.2 Diseño

a) Cálculo del área de colectores

Este es uno de los cálculos más importantes, junto con el cómputo del número de colectores que es necesario instalar. Los siguientes valores son los que se acostumbra usar como base para calcular la demanda de agua caliente.

Consumo por persona, al día10-15 galones (38-57 l)
Otros usos25 galones (95 l)

En ciertos casos es necesario hacer un balance térmico y establecer la demanda en kcal/día o kcal/hora.

Una vez se ha establecido la carga energética, se procede a calcular el área necesaria de colectores; para este fin se puede emplear el nomograma de la figura 5.5, según los pasos siguientes:

1) Establecer la eficiencia del colector. Normalmente, los colectores planos fabricados localmente tienen un 40 por ciento de eficiencia, en tanto que los colectores parabólicos pueden tener hasta un 50 por ciento de eficiencia, en promedio.

2) Establecer un nivel de insolación realista. El promedio anual para Guatemala es de 450 cal/cm²-día (Langley/día).

3) Establecer el Δt deseado, es decir, la diferencia de temperatura entre el agua caliente que se desea, y el agua fría que se usará. Para esto, tendremos

$$\Delta t \text{ (}^\circ\text{C)} = T_{\text{agua cal}} - T_{\text{agua fría}}$$

F = capacidad de calentamiento diario de agua de 20 a 45°C (l/m²-día)

(Usar la gráfica No. 1, de la figura 5.4 con base en insolación y eficiencia, e.)

Si el valor de Δt es 25°C , F no requiere corrección, pero si es mayor o menor que 25°C , sí es necesaria; la gráfica No. 2 de la figura 5.4 permite hallar el factor de corrección necesario (FC).

Calcular el valor de F^1 [Capacidad de calentamiento corregida a otra temperatura ($1/\text{m}^2 - \text{dfa}$)].

$$F^1 = F \times \text{FC}$$

4) Mediante la gráfica No. 3 de la figura 5.5, y con el valor de F^1 ya obtenido, calcular el número de colectores estándar ($2.44 \times 0.90\text{m} = 2.20 \text{m}^2$). En dicha gráfica, se une el valor de F^1 , con la carga de agua caliente ($1/\text{dfa}$), y se lee el número de colectores en las líneas paralelas. El área total puede calcularse así:

$$\text{Area Total} = 2.20 \text{m}^2 \times (\text{No. de colectores estándar})$$

b) Almacenamiento

Otro de los aspectos importantes de un sistema es: la capacidad de almacenamiento. Por lo general se usa un valor de 2 a 2.5 galones por pie cuadrado de colector, o sea 81.8 a 102.2 litros por metro cuadrado de colector. Por lo tanto, para un colector de 24 pies cuadrados, (2.20m^2), el volumen de almacenamiento deberá ser entre 40 y 60 galones (182 a 228 litros).

Cuando sea posible, será mejor disponer un sistema de dos tanques interconectados (agua fría y agua caliente), pero esto duplica la inversión en este rubro.

c) Bomba de recirculación

Se considera apropiado, para usos domésticos e industriales, un flujo de 0.01 a 0.03 gal/min-pie² (0.409 a 1.184 l/min-m²). Para un colector estándar de 8 X 3 pies ($2.44 \times 0.90 \text{mts}$), resulta entonces un caudal de 0.24 a 0.72 gal/min (0.91 a 2.71 l/min).

Para sistemas domésticos, en que el tanque está al mismo nivel que el colector, es adecuada una bomba centrífuga de 1/100 HP (1 750 rpm), ya que produce una carga total de 3 a 4 pies de columna de agua (0.915 a 1.22 metros), que resulta suficiente en este caso.

Cuando se instala el colector por encima del tanque (por ejemplo, en un techo), resulta adecuada una bomba de 1/25 HP (3 500 rpm), ya que produce una carga hidráulica total de 9 a 10 pies de columna de agua (2.745 a 3.05 metros), la cual es suficiente para una diferencia de altura de 3 metros. Para otros casos, es necesario hacer un análisis hidráulico detallado para estimar la potencia de la bomba apropiada, así como el diámetro de la tubería que debe usarse.

5.2.3 Construcción

La construcción de los colectores constituye una operación de la mayor importancia. Independientemente de quién los construya, lo principal en un colector tipo serpentín es que el doblado del tubo de cobre y la fijación del mismo a la plancha metálica del absorbedor, sean hechos de forma totalmente correcta.

En los casos en que se use otro diseño de colector, es importantísimo verificar que no haya fugas en los puntos de soldadura o en las conexiones roscadas internas; para esto, previamente a la instalación, conviene hacer una prueba hidráulica que consiste en llenar el colector a presión y revisar si hay fugas.

Para construir colectores, se requiere herramienta apropiada; si el interesado no puede construirlos, puede acudir a algún taller de su localidad o bien comprarlos ya hechos.

5.2.4 Instalación

La instalación de los colectores requiere tomar en cuenta algunas características geográficas del lugar en que se colocarán: dirección de la línea norte-sur y la latitud.

Para instalar correctamente un colector, debe fijarse primeramente el norte mediante una brújula; con base en esta información se traza una línea este-oeste, y se instala el colector con su eje longitudinal paralelo a ella.

Aunque, dadas las condiciones de la región centroamericana, un colector puede colocarse horizontalmente, lo que tiene la ventaja de no requerir ningún soporte especial, no es aconsejable hacerlo así, porque esta disposición favorece la acumulación de polvo, basura y agua de lluvia en él. Resulta conveniente colocar el colector inclinado respecto al suelo y orientado hacia el Ecuador, es decir, que su cubierta dé al sur. En Centroamérica, la inclinación recomendada es de 0° a 20° (equivalente a la latitud del lugar).

El tanque de almacenamiento debe estar aislado térmicamente, y, si posible, cubierto (bajo techo), ya que así se reducen a un mínimo las pérdidas de energía hacia el aire atmosférico. Si es posible, el tanque debe instalarse por encima de los colectores, para que se produzca el efecto de termosifón y no se requiera bombeo.

La tubería de agua caliente debe aislarse térmicamente en toda su longitud, con fibra de vidrio, duro-pore, espuma de poliuretano u otro material adecuado; con esto se evitan pérdidas de energía que disminuyen la eficiencia del sistema.

5.3.5 Operación

Por regla general, al iniciar la operación de un sistema, se afrontan algunos problemas; en especial ocurre que quedan atrapadas burbujas de aire en los sistemas de conducción; por eso, debe dejar-

se instalado un dispositivo para eliminarlas, el cual puede ser una trampa de aire, un grifo o una unión universal que permite abrir el sistema a la atmósfera.

En los sistemas de tanque abierto a la atmósfera, los principales problemas se presentan en los colectores; en los sistemas a presión, también ocurren problemas en el tanque.

La graduación del flujo puede hacerse mediante la válvula principal de descarga del tanque hacia el colector (o si el sistema tiene una bomba, mediante la válvula principal de descarga del tanque hacia la bomba).

Si el sistema tiene un control diferencial de temperatura, este dispositivo trabaja automáticamente y arranca o para según que la insolación sea suficiente o no. Si no tiene un control diferencial, puede usarse un dispositivo de reloj que arranque la bomba a las 9:00 horas y la pare a las 14:00 horas. Cuando no se disponga de ninguno de esos dispositivos, se puede hacer un control manual.

5.3 ANALISIS ECONOMICO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA

La adopción de un sistema de calentamiento de agua por energía solar, tiene muchas ventajas, algunas de las cuales pueden expresarse en términos económicos.

La cuestión central del aprovechamiento de la tecnología de la energía solar radica en que, aunque la energía solar no cuesta dinero, el equipo necesario para aprovecharla, sí. En esta parte se hará un análisis económico de sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico e industrial, en la Ciudad de Guatemala.

La insolación promedio en la Ciudad de Guatemala puede fijarse en 450 Langley por día, y el sol brilla 7 horas diarias, como promedio anual.

Para analizar económicamente el sistema de calentamiento de agua por energía solar, se hará una comparación entre éste y el calentamiento por medio de energía eléctrica. Los datos de capacidad, eficiencias y temperaturas alcanzadas en los sistemas (eléctrico y solar), son reales y obtenidos en el ICAITI. Los precios y costos en este análisis se expresan en pesos centroamericanos.

Para ambos casos se adopta la siguiente notación:

- i_1 = tasa de interés bancario = 12 %
- i_2 = tasa de inflación general = 16 %
- i_3 = tasa de inflación energía eléctrica = 17 %
- n = número de años (al final del período)

5.3.1 Costo total para calentamiento con energía solar

Datos en que se basan los cálculos hechos para este caso particular y con los que se ha elaborado parte del cuadro 5.1. Para condiciones diferentes, los cálculos se realizan en forma parecida, haciendo las sustituciones correspondientes.

Vol. de agua calentada /dfa	= m_1 = 50 galones (190 l ó 190 kg)
Insolación normal	= I = 450 L/dfa
Temperatura del agua "fría"	= t_1 = 20° C
Temperatura del agua de consumo	= t_2 = 35° C
Eficiencia	= E = 0.35 (*)
Precio del equipo, instalado	= PI_1 = \$ 1 000.00 (aprox.)
Costo anual de mantenimiento	= CM_1 = 5% del valor inicial del equipo

Con base en los valores anteriores, el costo total en el sistema de calentamiento solar es:

Costo total = costo de inversión inicial + costo de mantenimiento.

$$CT_{\text{solar}} = CI_{\text{solar}} + CM_{\text{solar}}$$

Y, para esta ecuación, se aplica:

$$CI_{\text{solar}} = PI_1 (1 + i_1)^n$$

$$CM_{\text{solar}} = \frac{(1 + i_1)^n - (1 + i_2)^n}{i_1 - i_2} CM_1 - PI_1$$

Los resultados están consignados en el cuadro 5.1.

5.3.2 Costo total para calentamiento mediante electricidad

Datos en que se basan los cálculos para este caso particular, y con los que se ha elaborado parte del cuadro 5.1. Para condiciones diferentes, los cálculos se realizan en forma parecida, haciendo las sustituciones correspondientes.

Vol. de agua calentada por dfa	= m_2 = 39 galones (148 l o 148 kg)
Temperatura de agua "fría"	= t_1 = 20° C
Temperatura del agua de consumo	= t_2 = 39° C
Eficiencia	= E = 0.6 (*)

(*) eficiencia: la energía absorbida por el agua, entre energía consumida por el sistema.

- Precio del equipo instalado (incluye instalaciones eléctricas) = $PI_2 = \$ 400.00$ (aprox.)
- Costo anual de mantenimiento = $CM_2 = 8\%$ valor inicial equipo
- Costo unitario de Energía Eléctrica = $\$ 0.11$ kW/hora
- $C_p =$ calor específico del agua = 1 kcal/kg-°C
- $\Delta t =$ diferencia de temperatura = $39^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 19^\circ\text{C}$
- $d =$ número de días del año = 365

$$\begin{aligned}
 \text{Energía consumida} &= \frac{m_2 \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot d}{E} \\
 &= \frac{(148 \text{ l}) (1 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C}) (19^\circ\text{C}) (365 \text{ días})}{0.6} \\
 &= 1.710 \times 10^6 \text{ kcal/año} \\
 &= 1989 \text{ kWh/año}
 \end{aligned}$$

Y el costo base por consumo de electricidad es de:

$$GC = (\text{Energía Consumida}) (0.11) = \$ 218.80$$

Con base en los valores anteriores, el costo total en el sistema de calentamiento por medio de energía eléctrica es:

Costo total = costo de inversión inicial + costo de mantenimiento + costo de electricidad.

$$CT_{\text{elect}} = CI_{\text{elect}} + CM_{\text{elect}} + CB_{\text{elect}}$$

Y, para esta ecuación se aplican:

$$CI_{\text{elect}} = PI_2 (1 + i_1)^n$$

$$CM_{\text{elect}} = \frac{(1 + i_1)^n - (1 + i_2)^n}{i_1 - i_2} \cdot CM_2 \cdot PI_2$$

$$CB_{\text{elect}} = \frac{(1 + i_1)^n - (1 + i_3)^n}{i_2 - i_3} \cdot GC$$

CUADRO No. 5.1

COMPARACION DE COSTOS DE LOS SISTEMAS ELECTRICOS Y SOLAR								
Año	Calentador Eléctrico				Calentador Solar			Diferencia \$ C. A.
	Inv.	Mant.	Elect.	Total Acumulado	Inv.	Mant.	Total Acumulado	
1	448.00	32.00	218.80	698.80	1 120.00	50.00	1 170.00	- 471.20
2	501.76	72.96	501.05	1 075.77	1 254.40	114.00	1 368.40	- 292.63
3	561.97	124.77	860.69	1 547.43	1 404.93	194.96	1 599.89	- 52.46
3.2	574.85	136.63	943.32	1 654.80	1 437.14	213.49	1 650.63	- 4.17
4	629.41	189.70	1 314.41	2 133.52	1 573.52	296.40	1 869.62	263.90
5	704.94	270.40	1 882.15	2 857.49	1 762.34	422.50	2 184.84	672.65
6	789.53	370.06	2 587.71	3 747.30	1 973.82	578.22	2 552.04	1 195.26
7	884.27	492.43	3 459.49	4 836.19	2 210.68	769.42	2 980.10	1 856.09
8	990.39	641.96	4 531.30	6 163.65	2 475.96	1 003.06	3 479.02	2 684.63
9	1 109.23	823.91	5 843.37	7 776.51	2 773.08	1 287.35	4 060.43	3 716.08
10	1 242.34	1 044.47	7 443.49	9 730.30	3 105.85	1 631.98	4 737.83	4 992.47

Conforme al cuadro, resulta que después de 3.2 años, el calentador solar principia a producir ahorros, es decir, que de entonces en adelante, es cuando comienzan a manifestarse las ventajas económicas de un calentador solar respecto a un calentador eléctrico.

BIBLIOGRAFIA

- Hawell, Yvonne & Bereny, Justin A., Engineer's Guide to Solar Energy.
- Tarquin, Anthony J. & Blank, Leland T., Ingeniería Económica Edit. McGraw Hill.
- Farrington Daniels. Uso directo de la Energía Solar. Edit H. Blume
- Asociación Guatemalteca de Energía Solar. Año 1979.

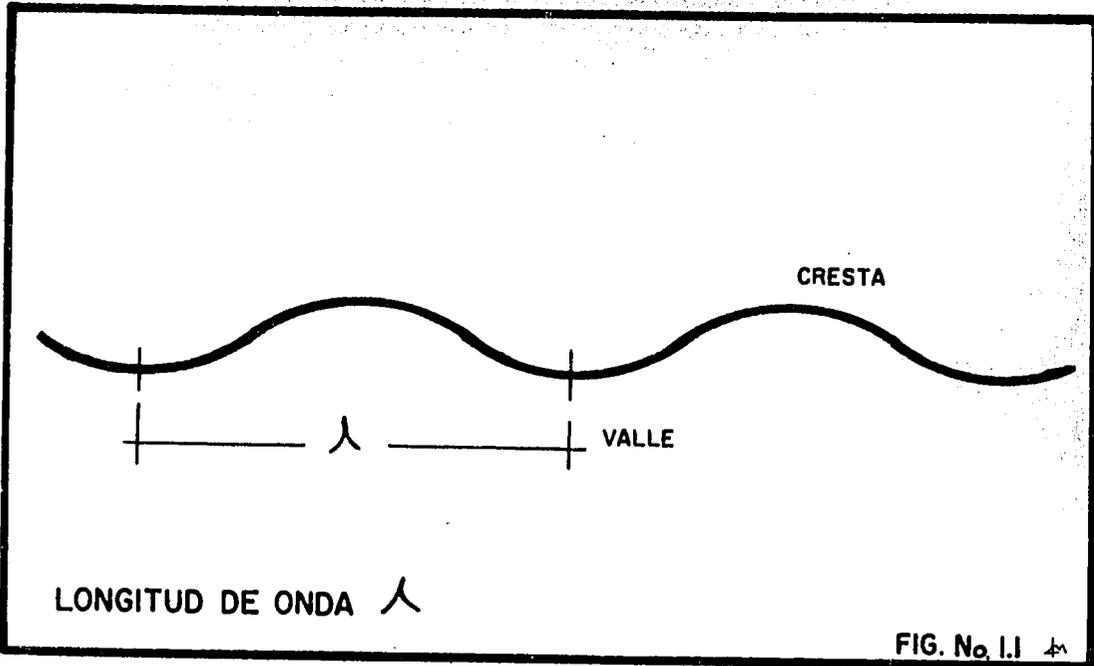
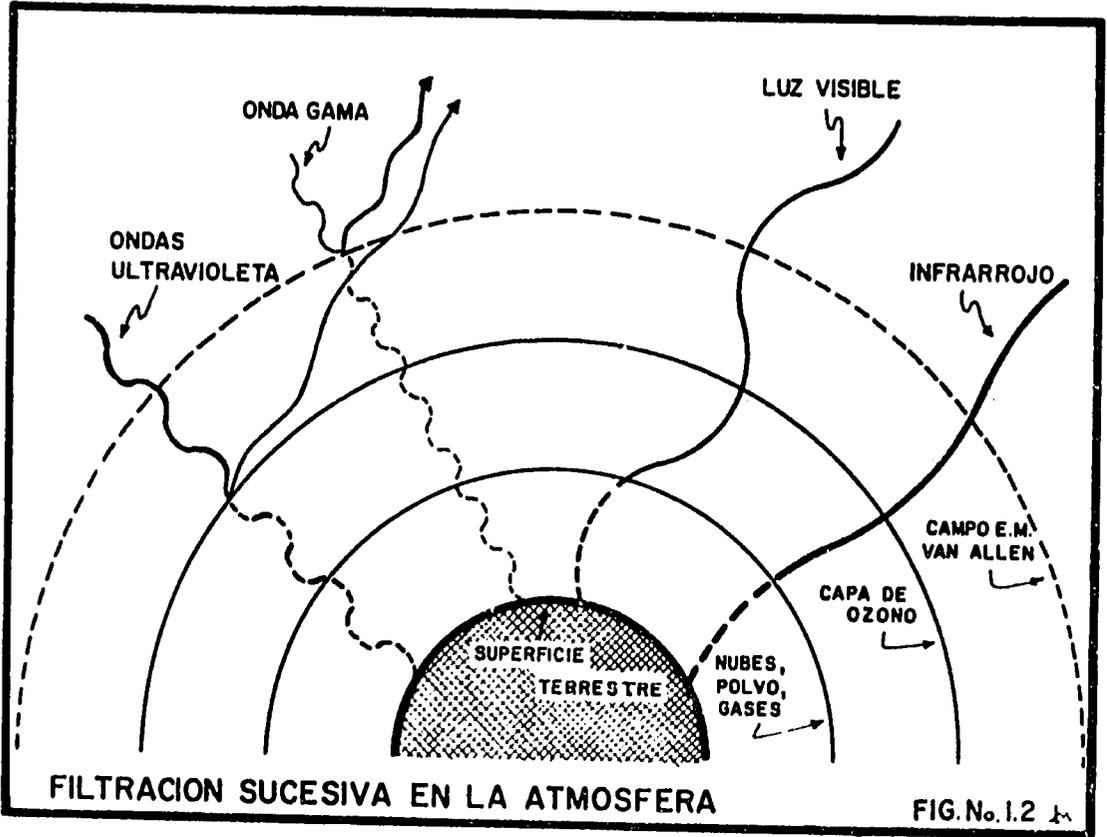
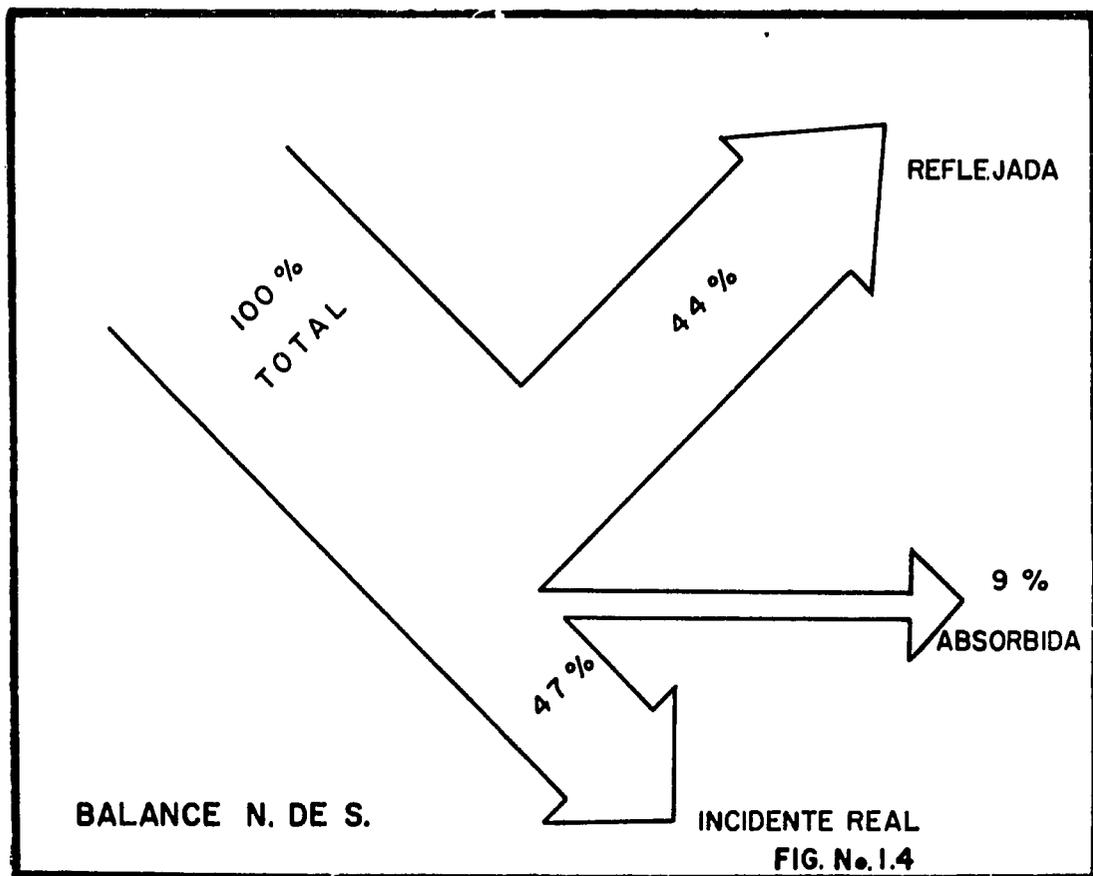
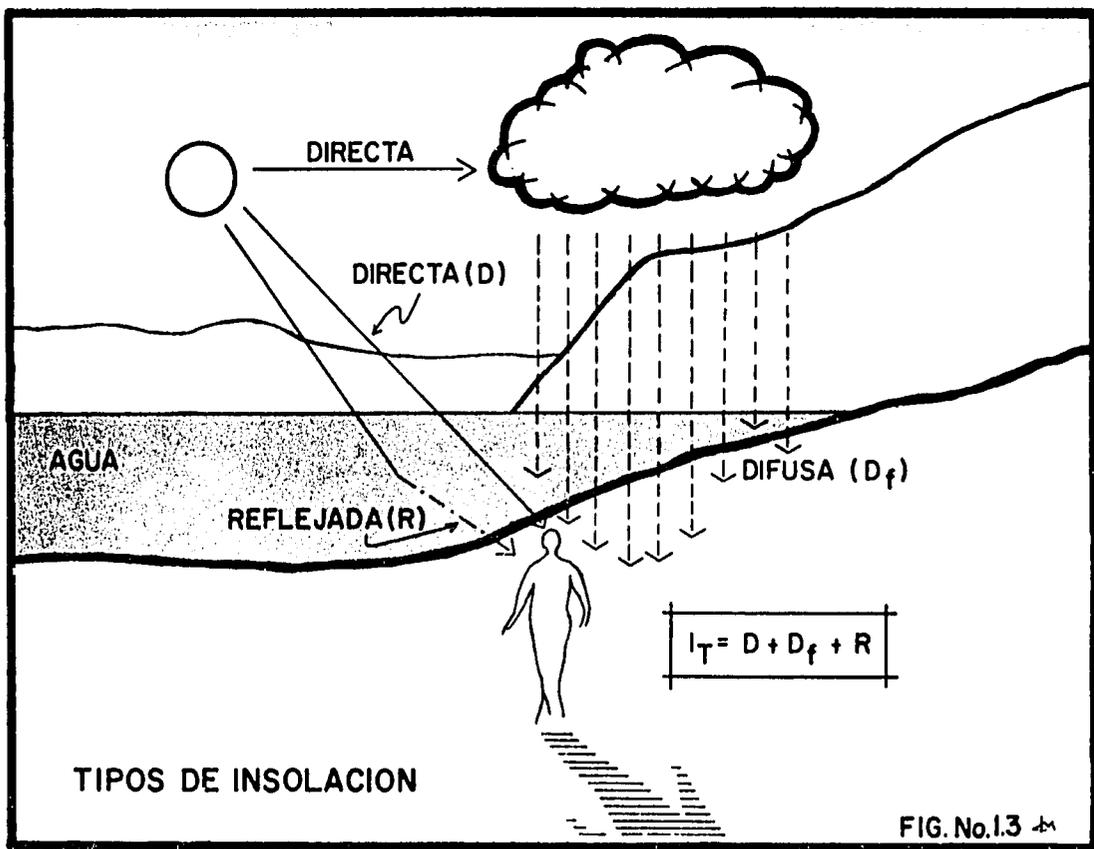


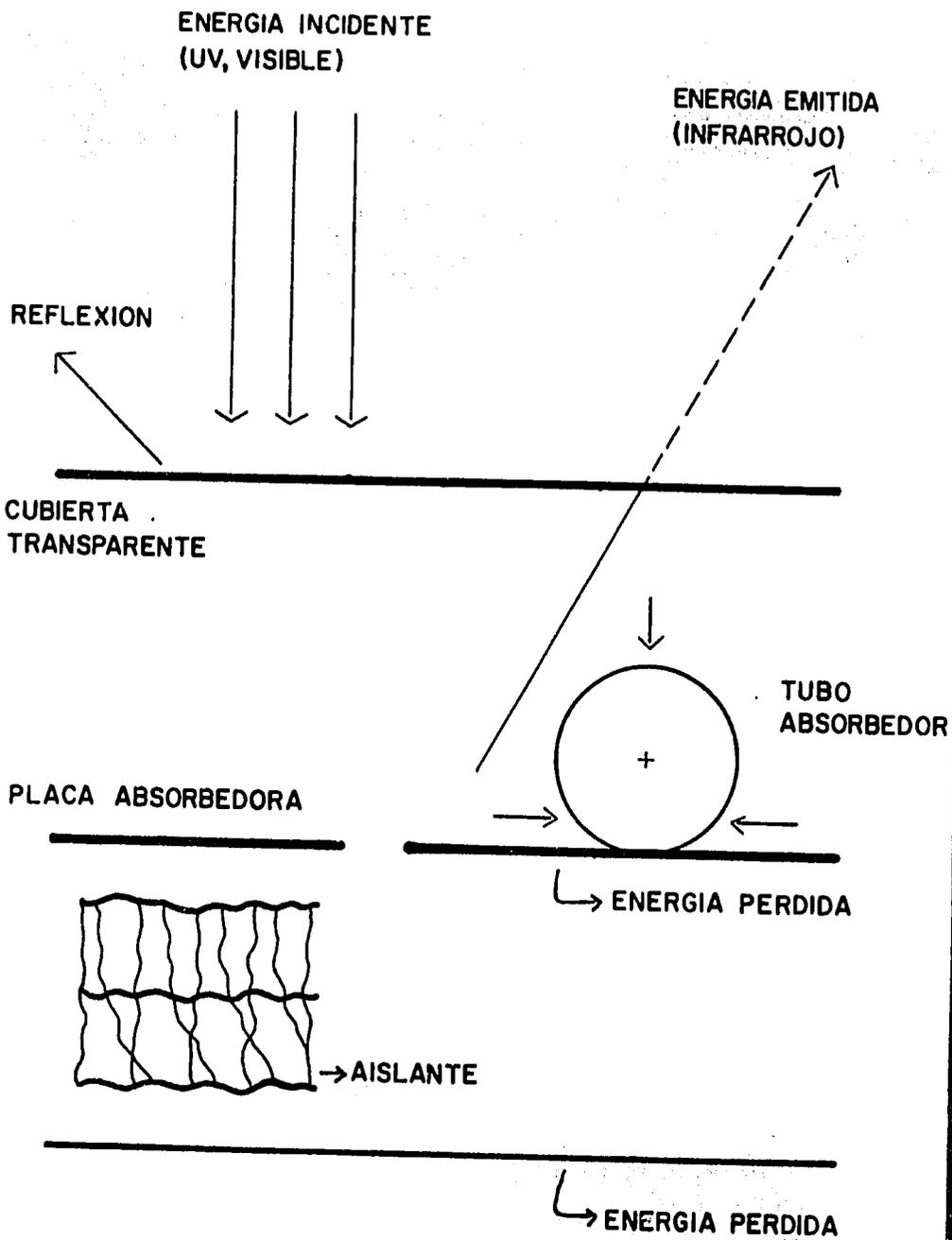
FIG. No. 1.1



FILTRACION SUCESIVA EN LA ATMOSFERA

FIG. No. 1.2





PARTES DE UN COLECTOR
SOLAR PLANO

COLECTOR TIPO PLANO DE ALETAS

LA ALETA DE ALUMINIO SUJETA AL
TUBO DE COBRE POR PRESION.

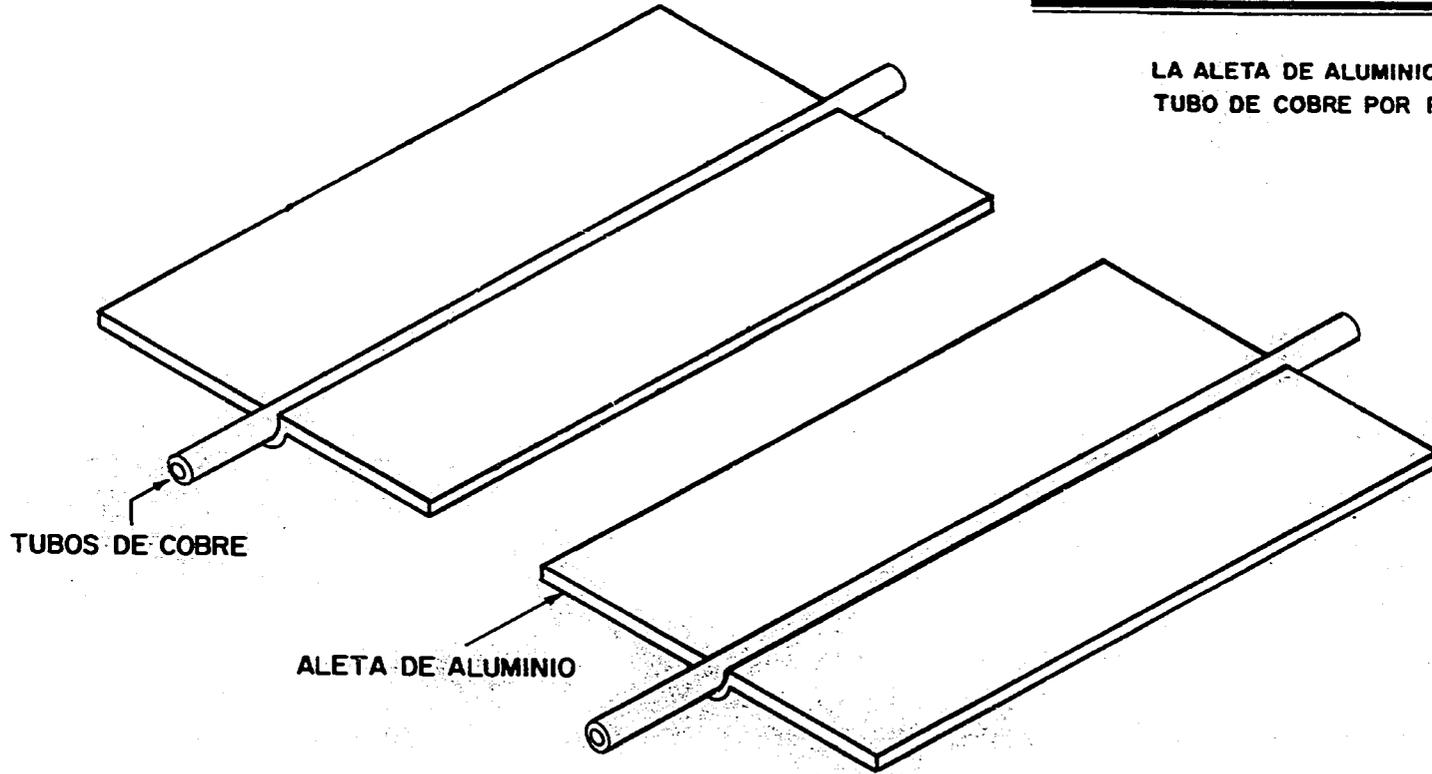
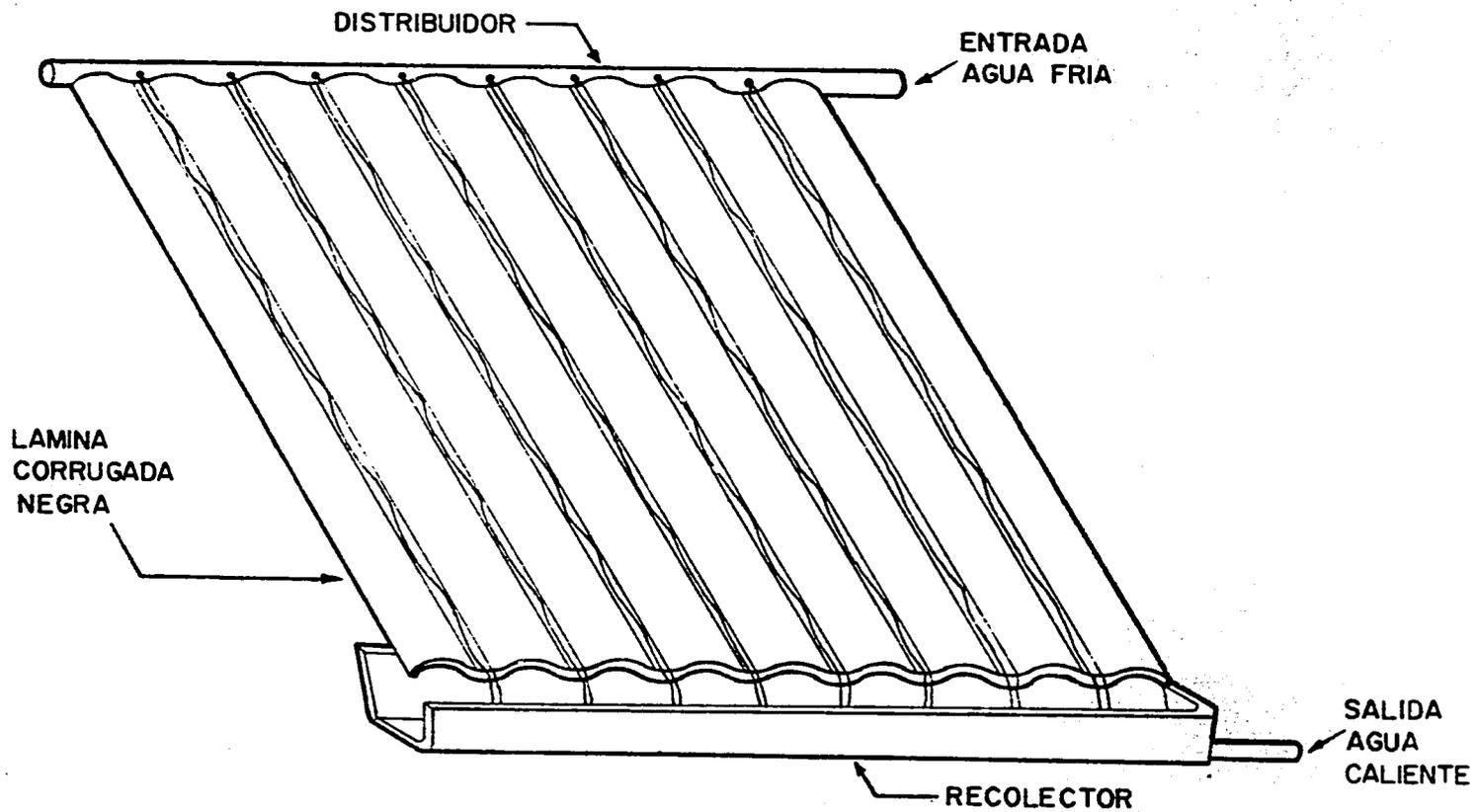
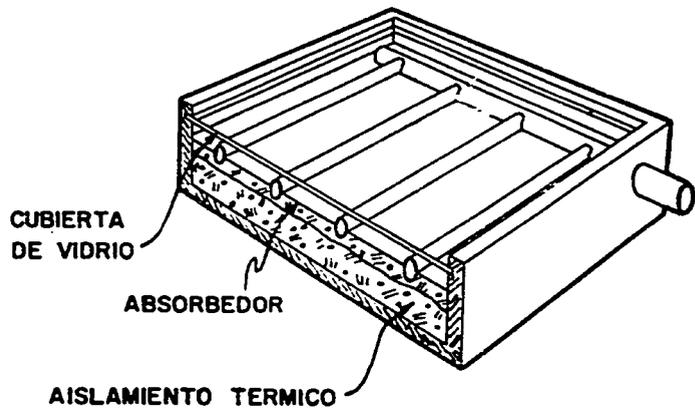


FIG 2.2



COLECTOR TIPO GOTEO (THOMASON'S)

FIG. No. 2.3



COLECTOR PLANO TIPO MULTIPLE
"MANIFOLD"



TUBO ABAJO ABSORBEDOR

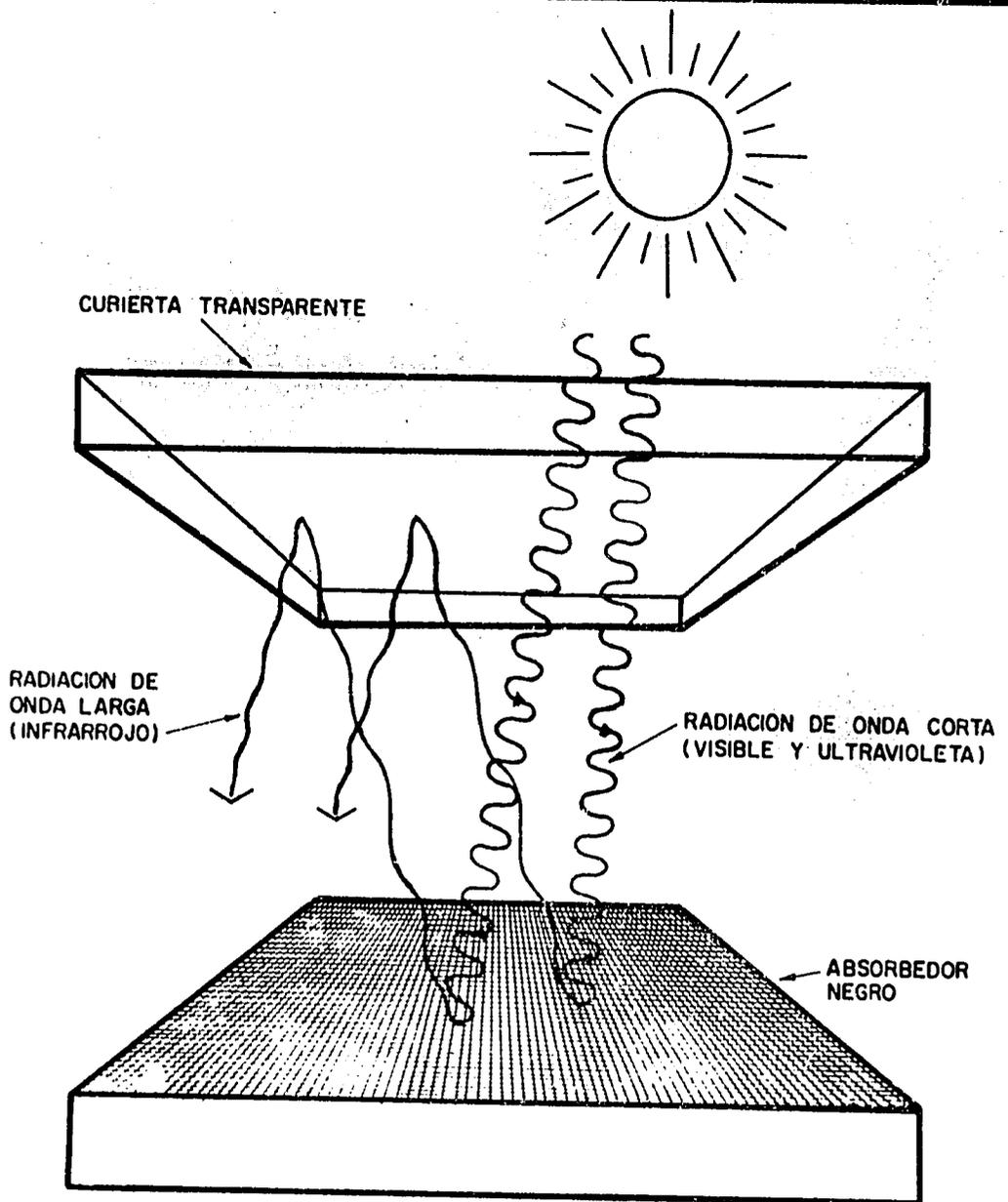


TUBO ARRIBA ABSORBEDOR



TUBO INCLUIDO EN ABSORBEDOR

TRES TIPOS DE COLOCACION DEL
TUBO EN EL ABSORBEDOR

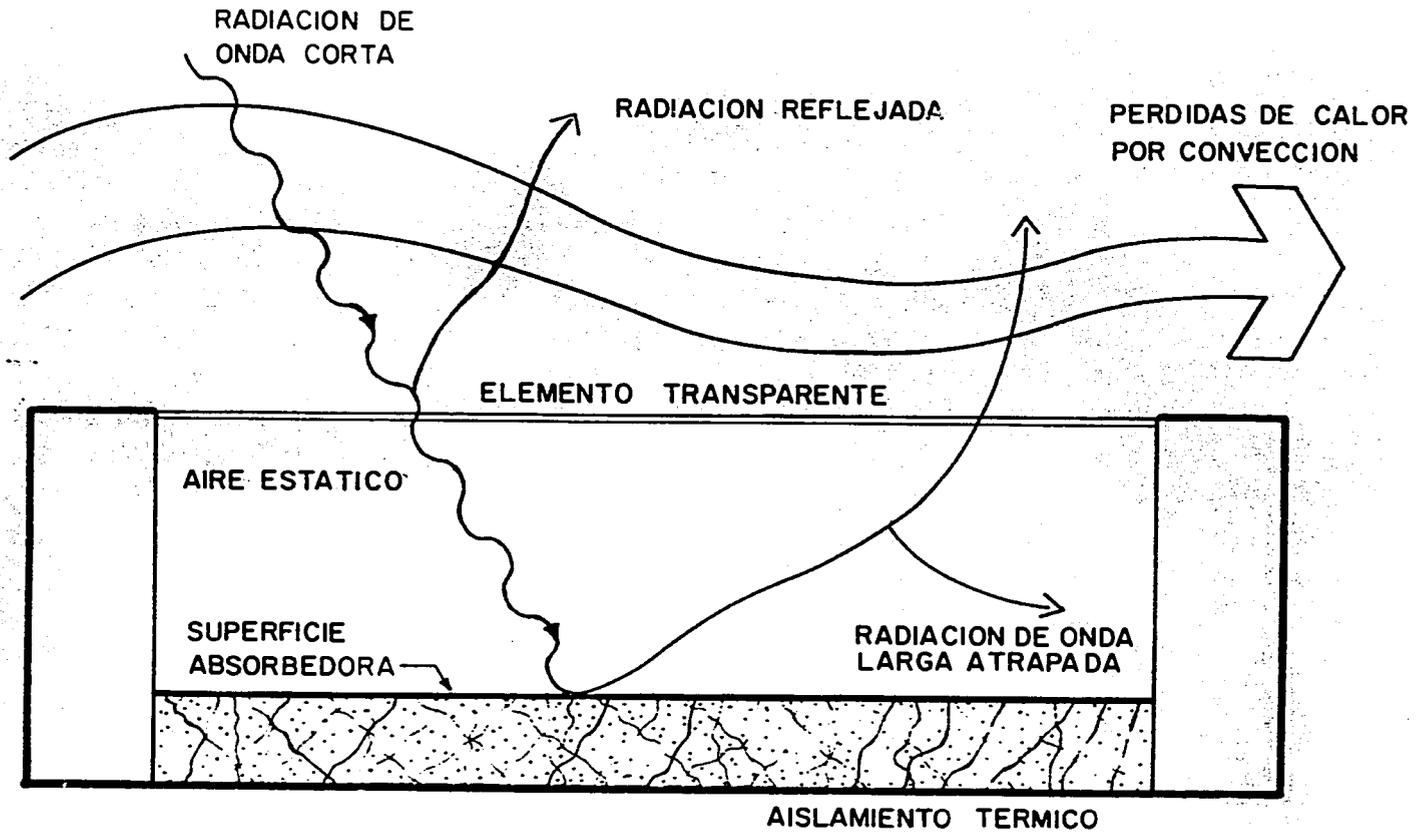


EFFECTO DE INVERNADERO

LA RADIACION SOLAR DE ONDA CORTA PENETRA EL VIDRIO Y CALIENTA LA SUPERFICIE OSCURA, AHI CAMBIA LA LONGITUD DE ONDA, HACIENDOSE DE LONGITUD MAYOR, Y LA PARTE QUE REFLEJA EN EL CUERPO NEGRO DE ESTA RADIACION, NO PUEDE ATRAVESAR EL VIDRIO, QUEDANDO ATRAPADA ENTRE EL VIDRIO Y EL CUERPO NEGRO.

FIG. No. 2.5

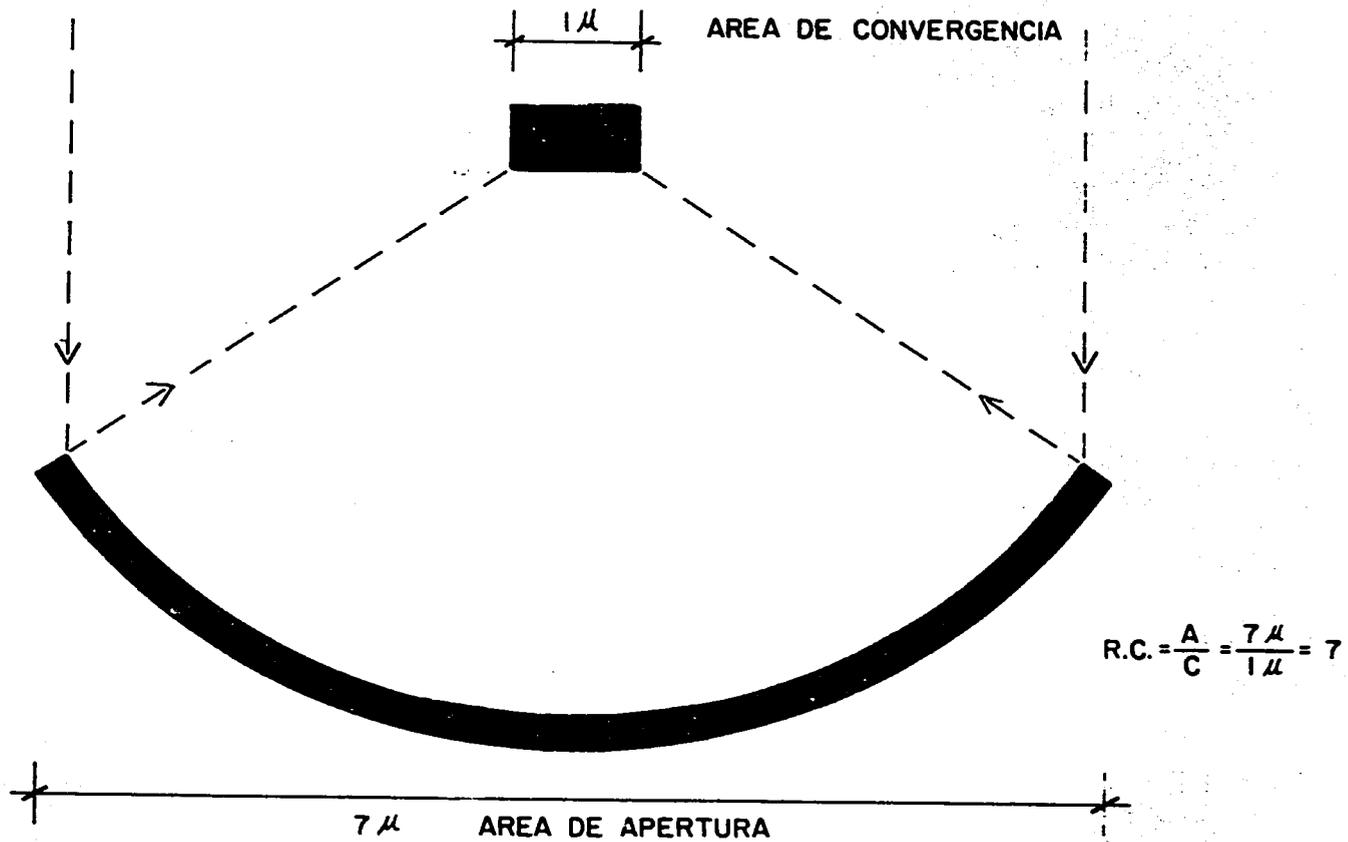
58



EL COLECTOR SOLAR TIENE DOS TIPOS DE AISLAMIENTO TERMICO, LA CAPA DE ABAJO EVITA LAS PERDIDAS POR CONDUCCION, LA CAPA DE ARRIBA, DE AIRE ESTATICO Y CALIENTE, EVITA PERDIDAS POR CONVECCION.

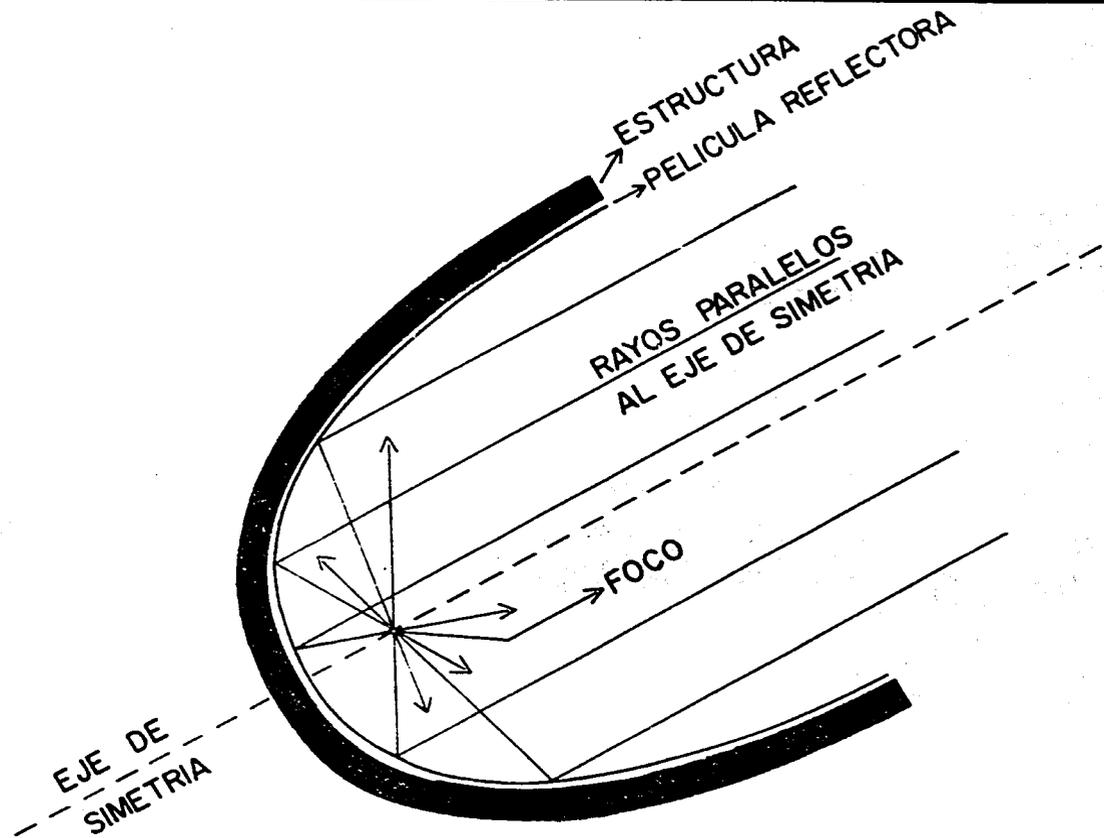
FIG. No.26

63



RAZON DE CONCENTRACION (R.C.)

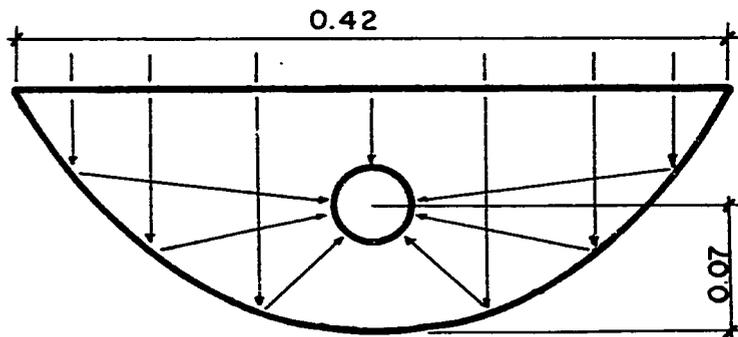
FIG. No. 27



REFLEXION EN LA PARABOLA

FIG 2.8

56



REFLECTOR PARABOLICO DE ALUMINIO CON TUBO DE COBRE TRATADO QUIMICAMENTE, LOCALIZADO EN EL FOCO. EL TUBO TAMBIEN PROVEE UN SOPORTE ESTRUCTURAL EN EL ENSAMBLE DEL REFLECTOR.

COLECTOR SOLAR CONCENTRADOR DE DOBLE PARABOLA

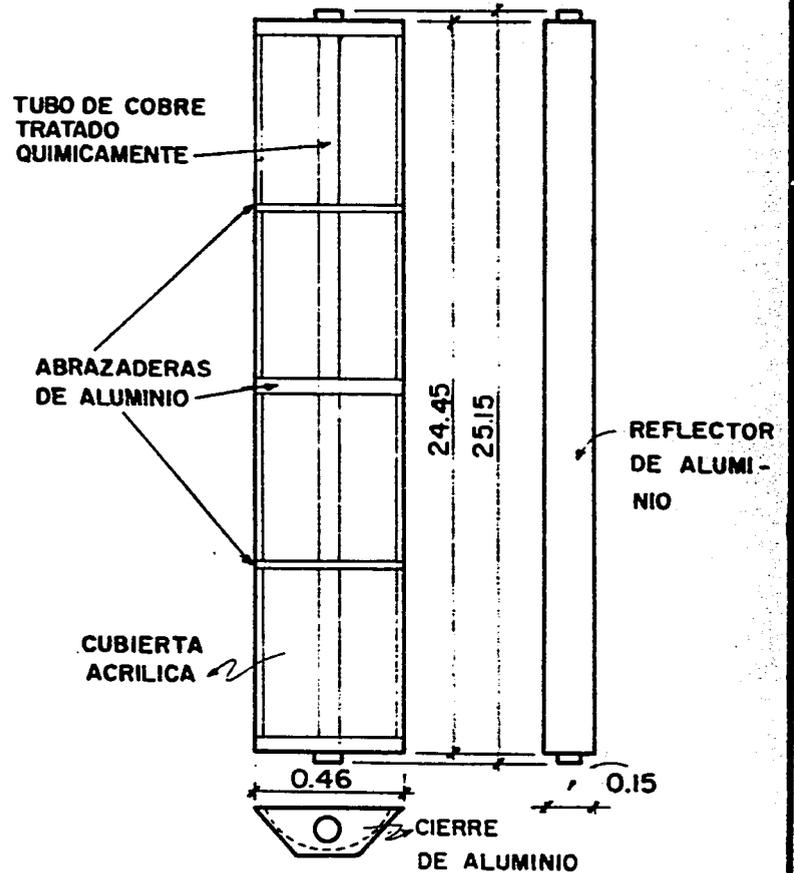
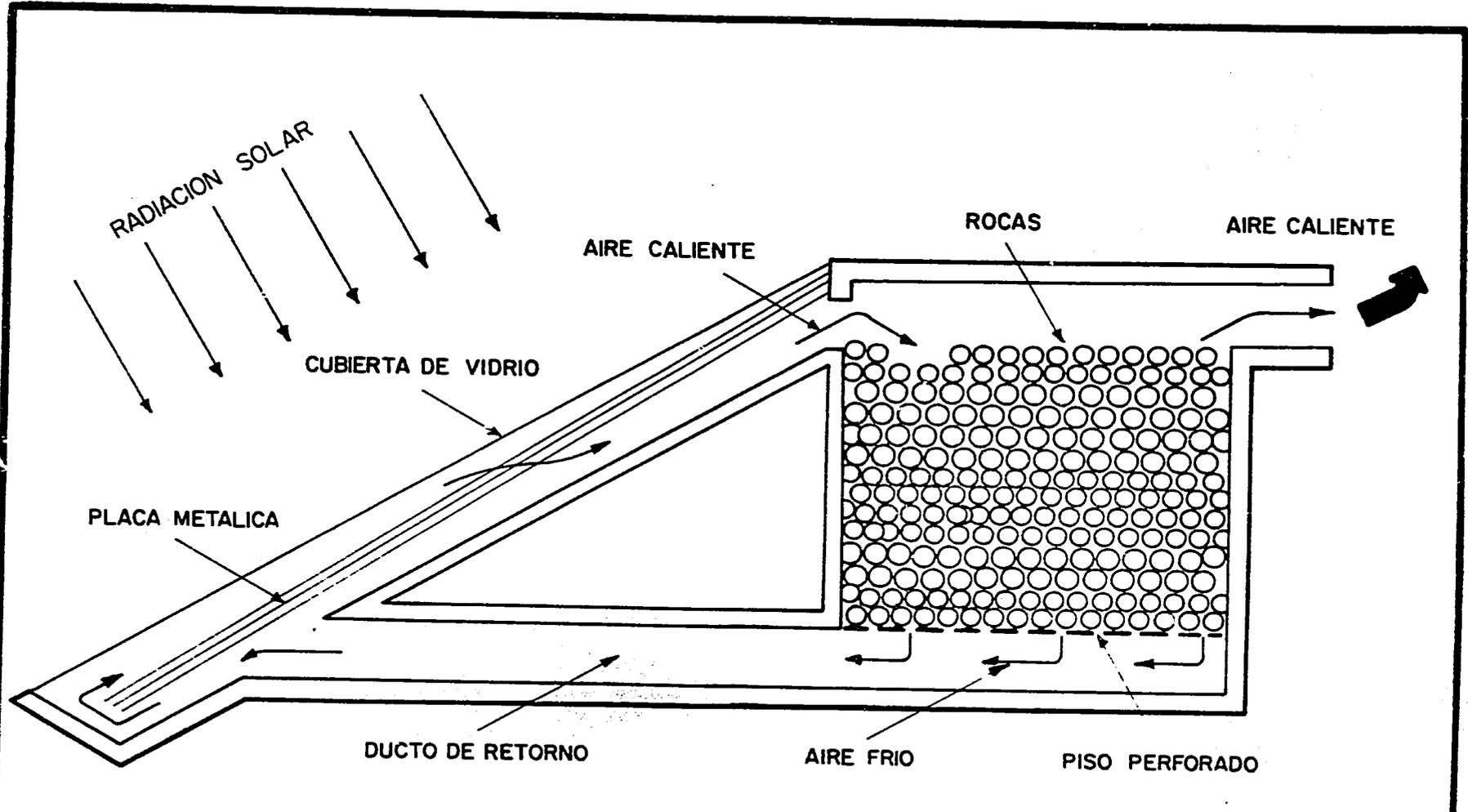
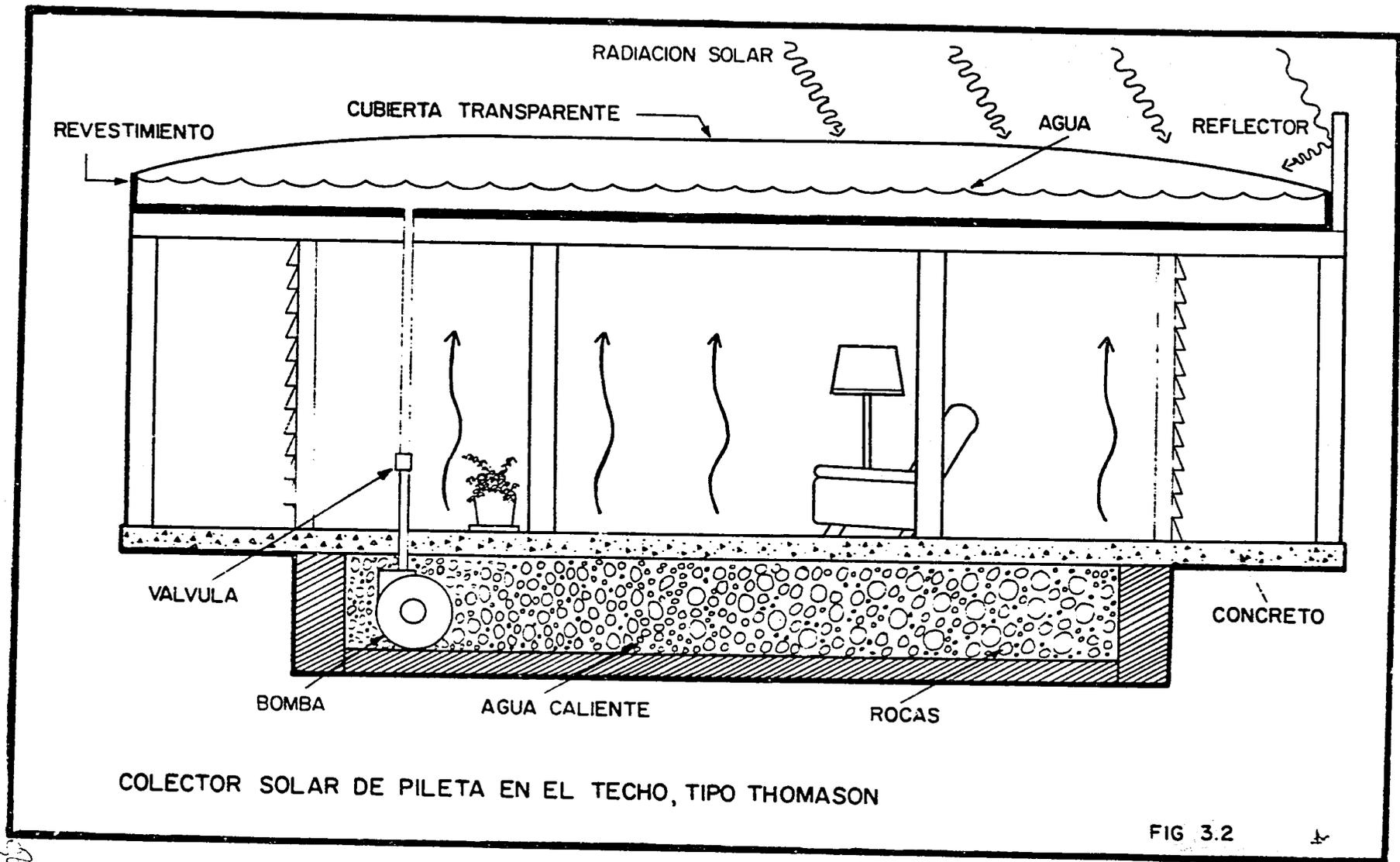


FIG. No.29



SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA EN ROCAS

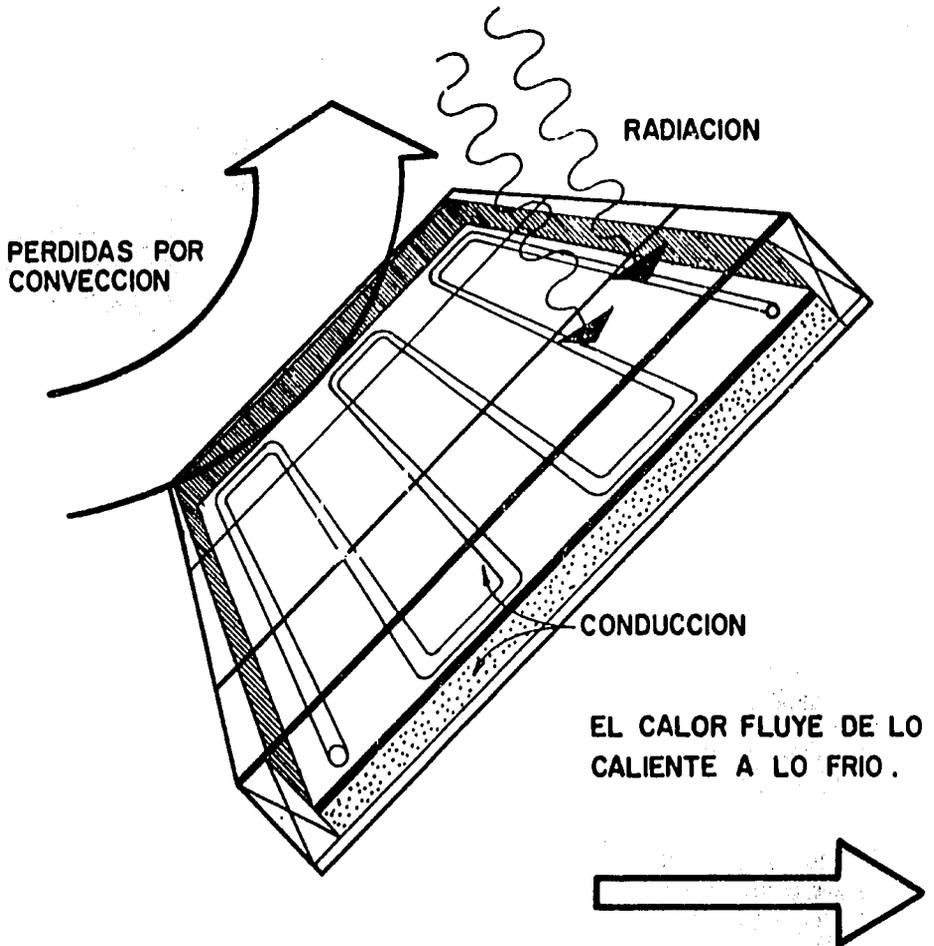
FIG 3.1



COLECTOR SOLAR DE PILETA EN EL TECHO, TIPO THOMASON

FIG 3.2

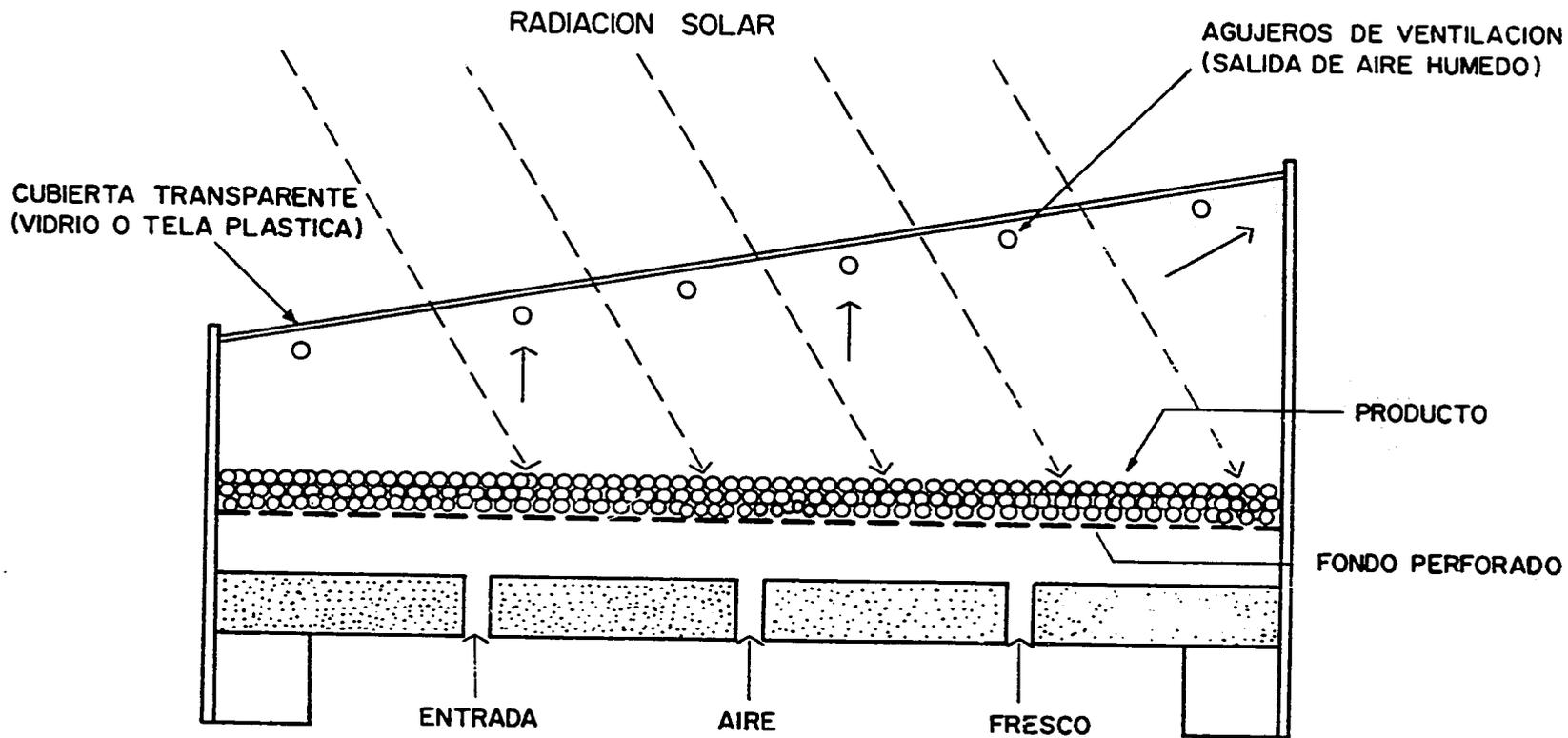
FENOMENO DE TRANSFERENCIA DE CALOR
EN UN COLECTOR SOLAR PLANO, CON
ABSORBEDOR TIPO SERPENTIN



CONVECCION : SOBRE EL VIDRIO

CONDUCCION : A TODAS LAS PARTES DEL COLECTOR

RADIACION : AL COLECTOR Y FUERA DEL VIDRIO, ONDA LARGA



SECADOR DE CAJA CALIENTE (DIRECTO)

FIG 4.1

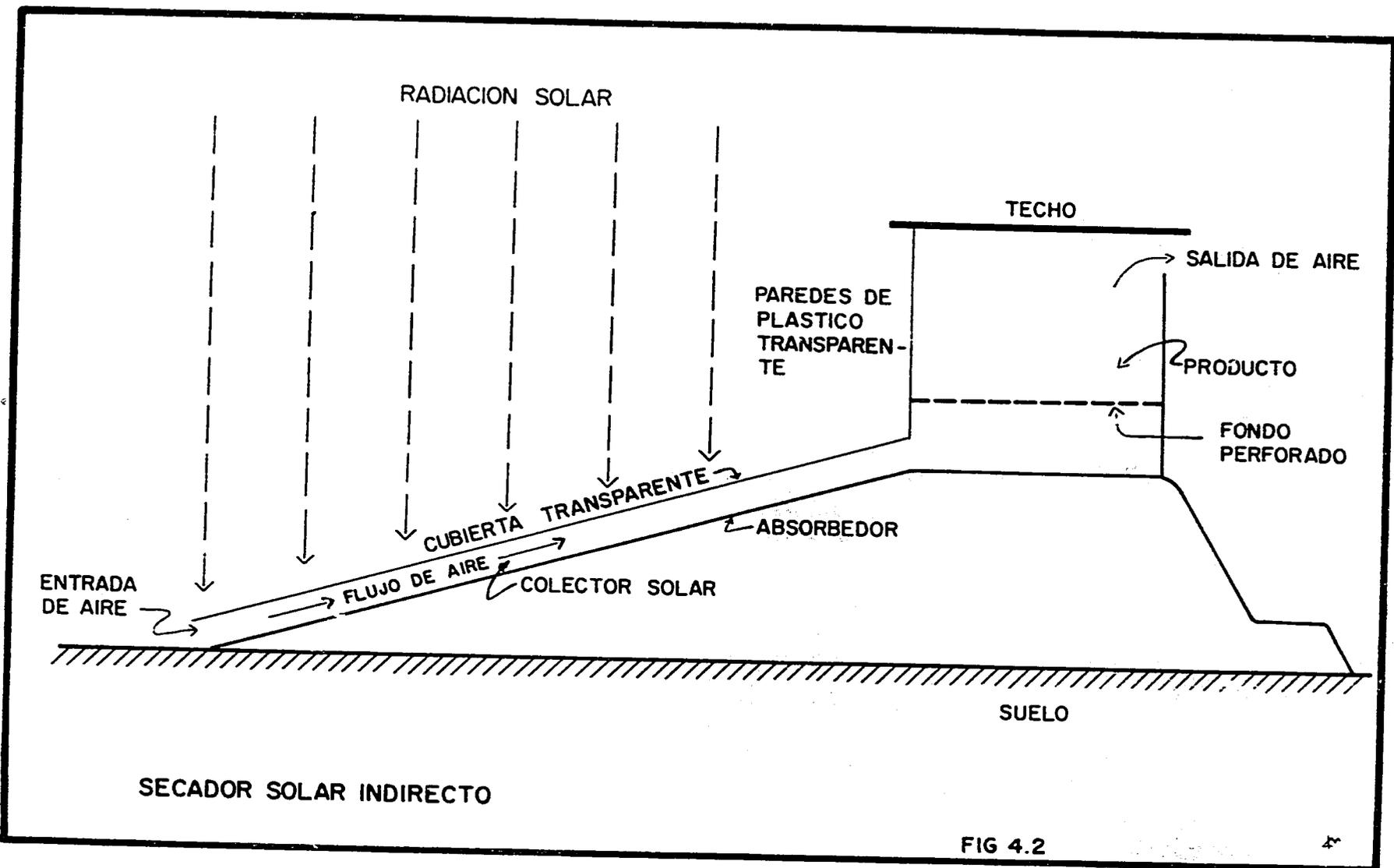
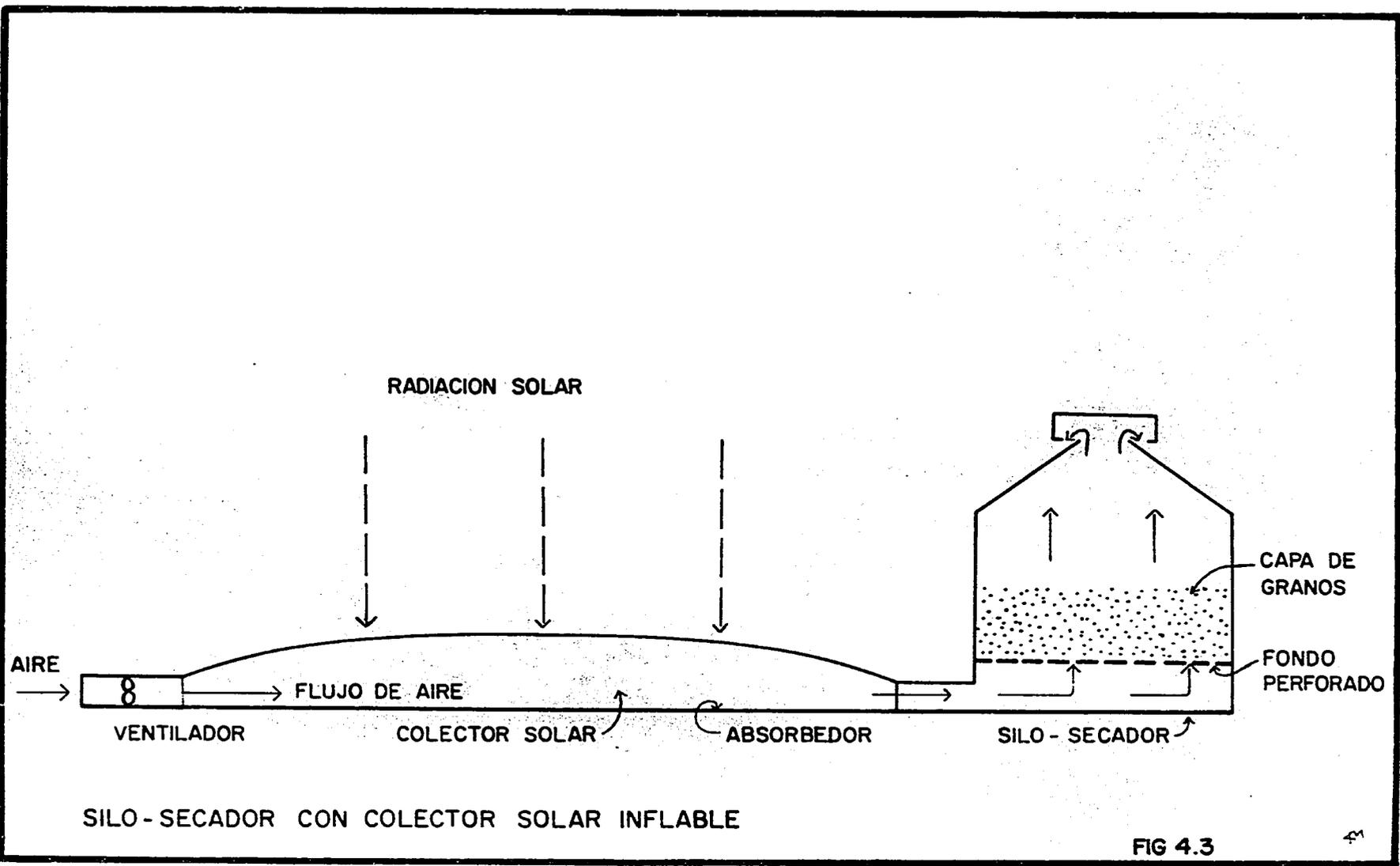


FIG 4.2

61

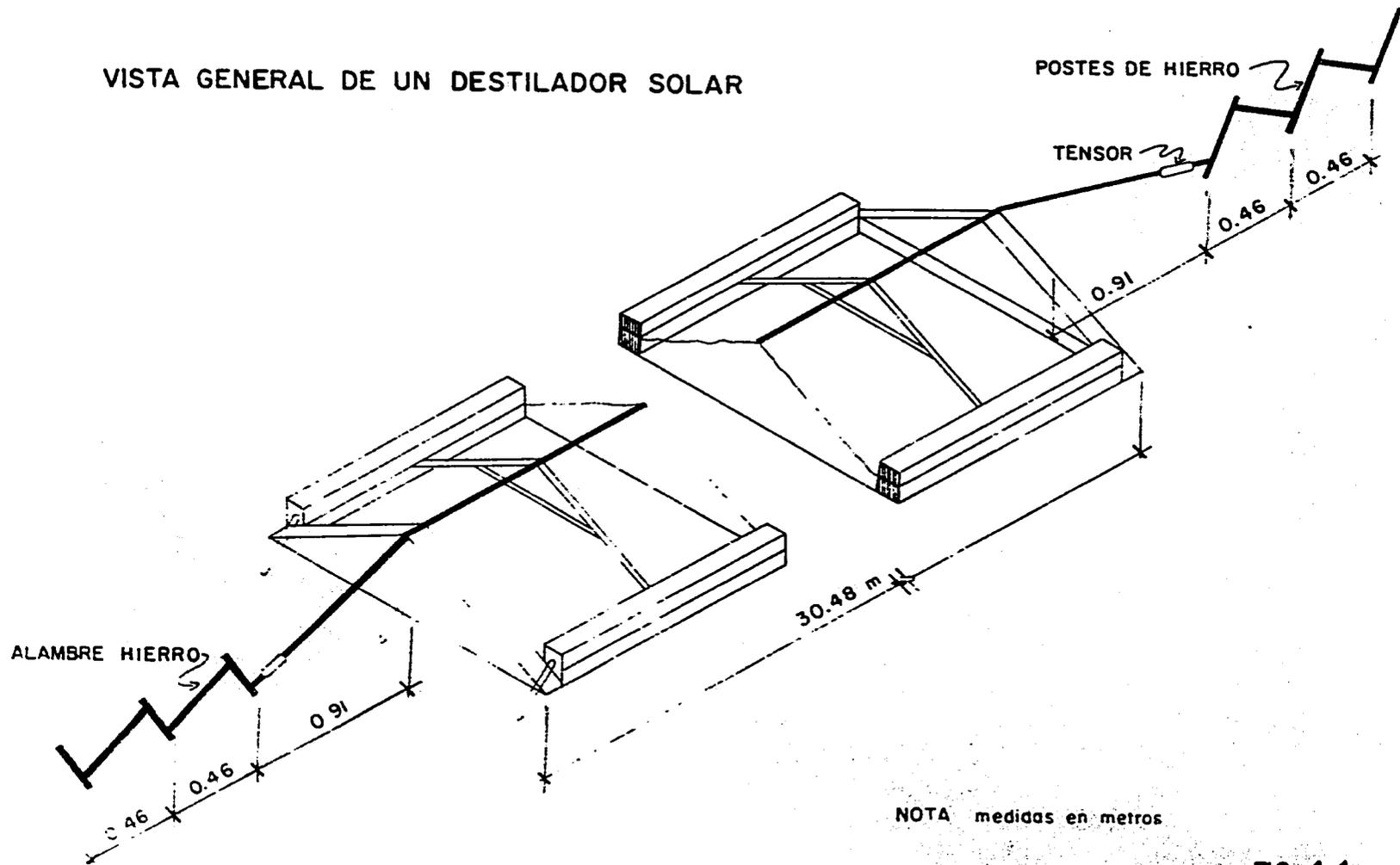
43



SILO - SECADOR CON COLECTOR SOLAR INFLABLE

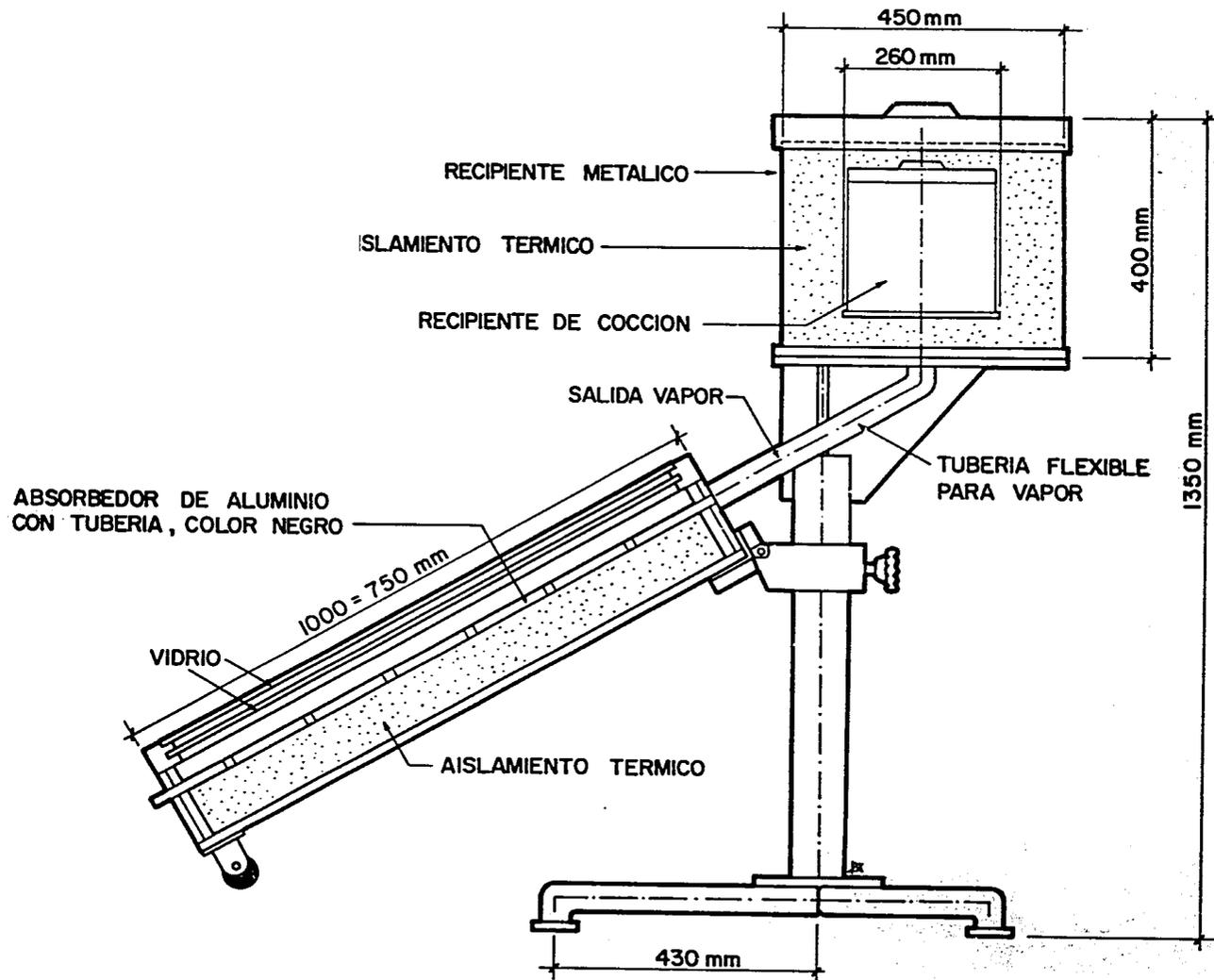
FIG 4.3

VISTA GENERAL DE UN DESTILADOR SOLAR



NOTA medidas en metros

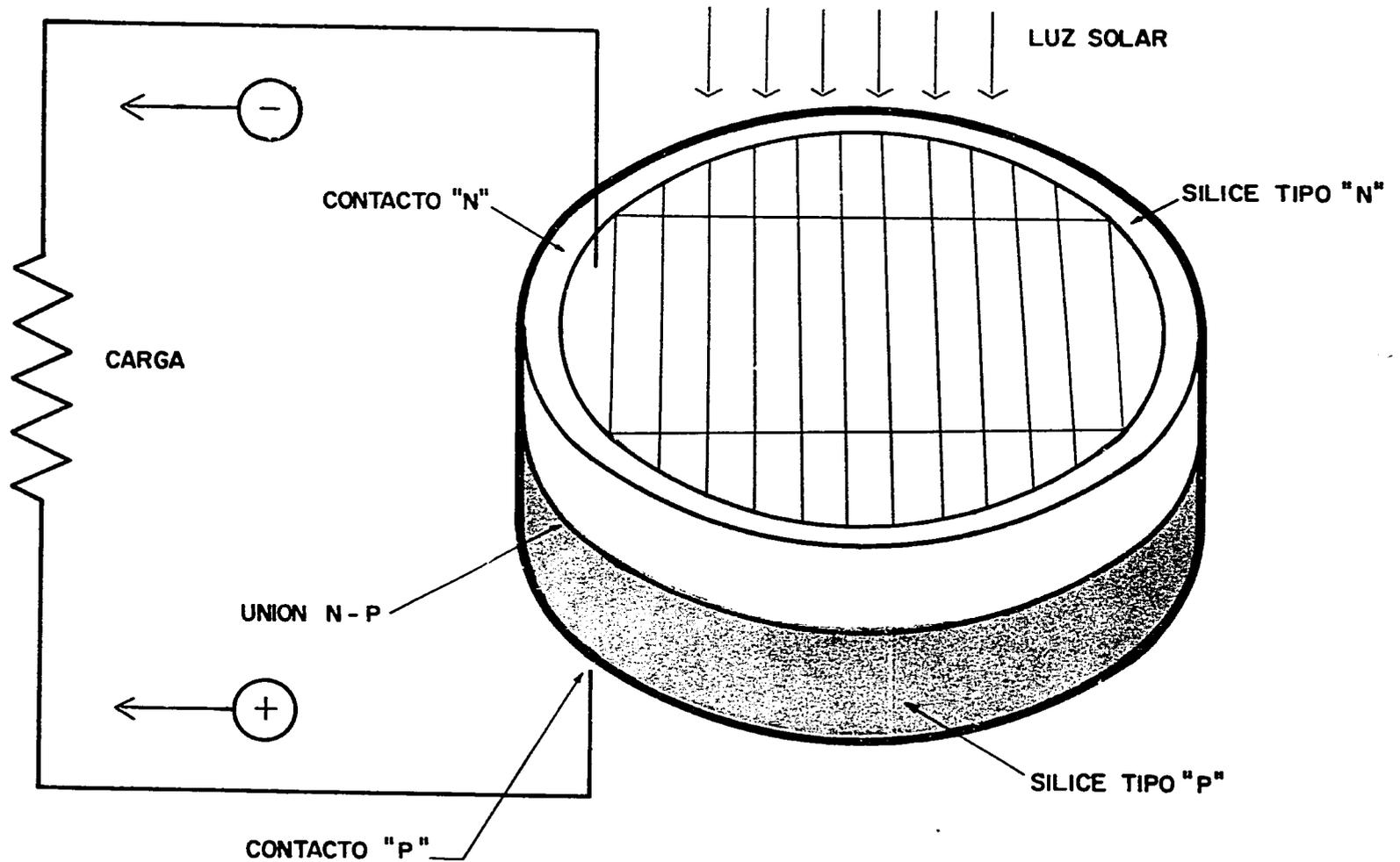
FIG 4.4



COCINA SOLAR DE VAPOR

FIG 4.5

64



CELDA FOTOVOLTAICA

FIG 4.6

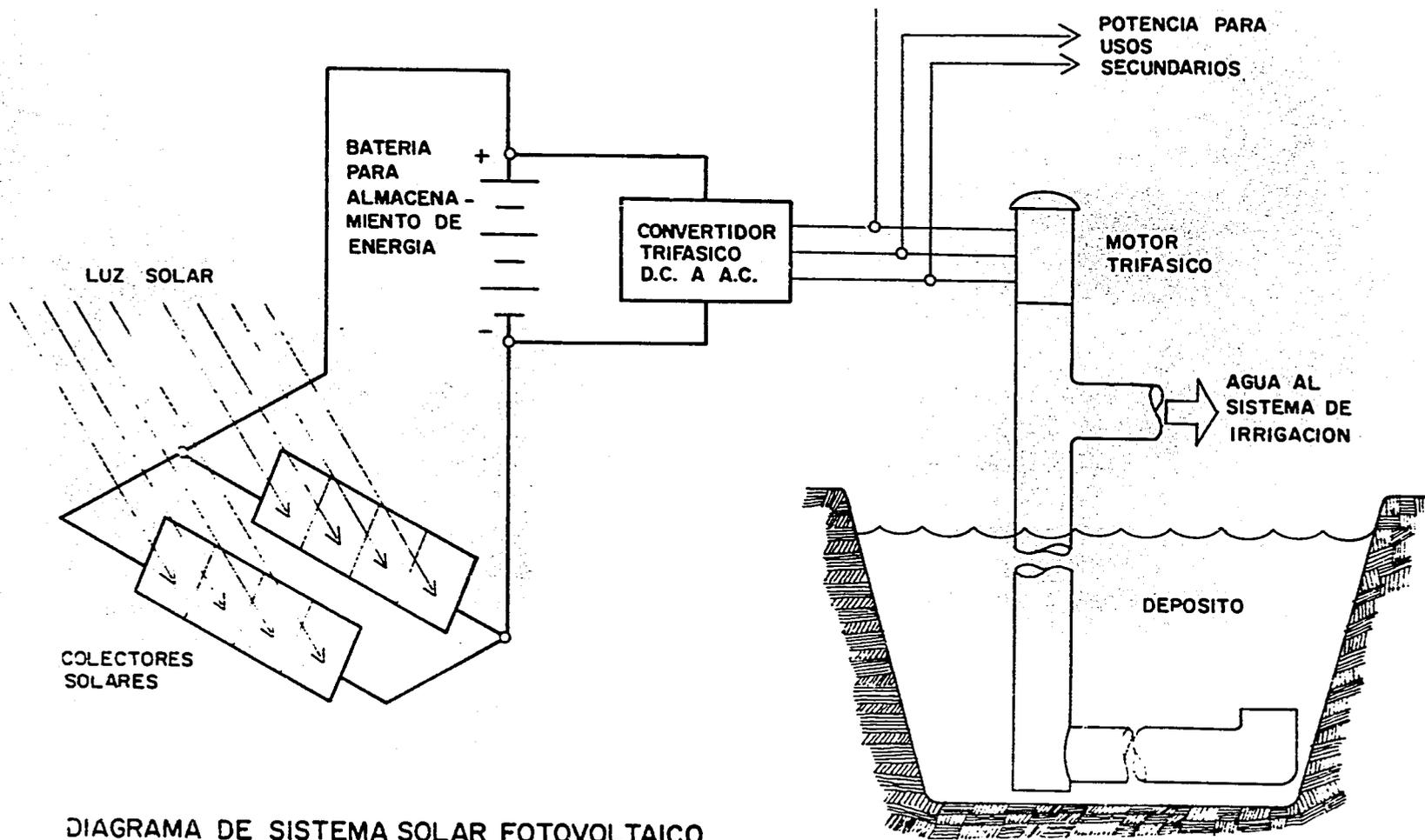


DIAGRAMA DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

FIG 4.7

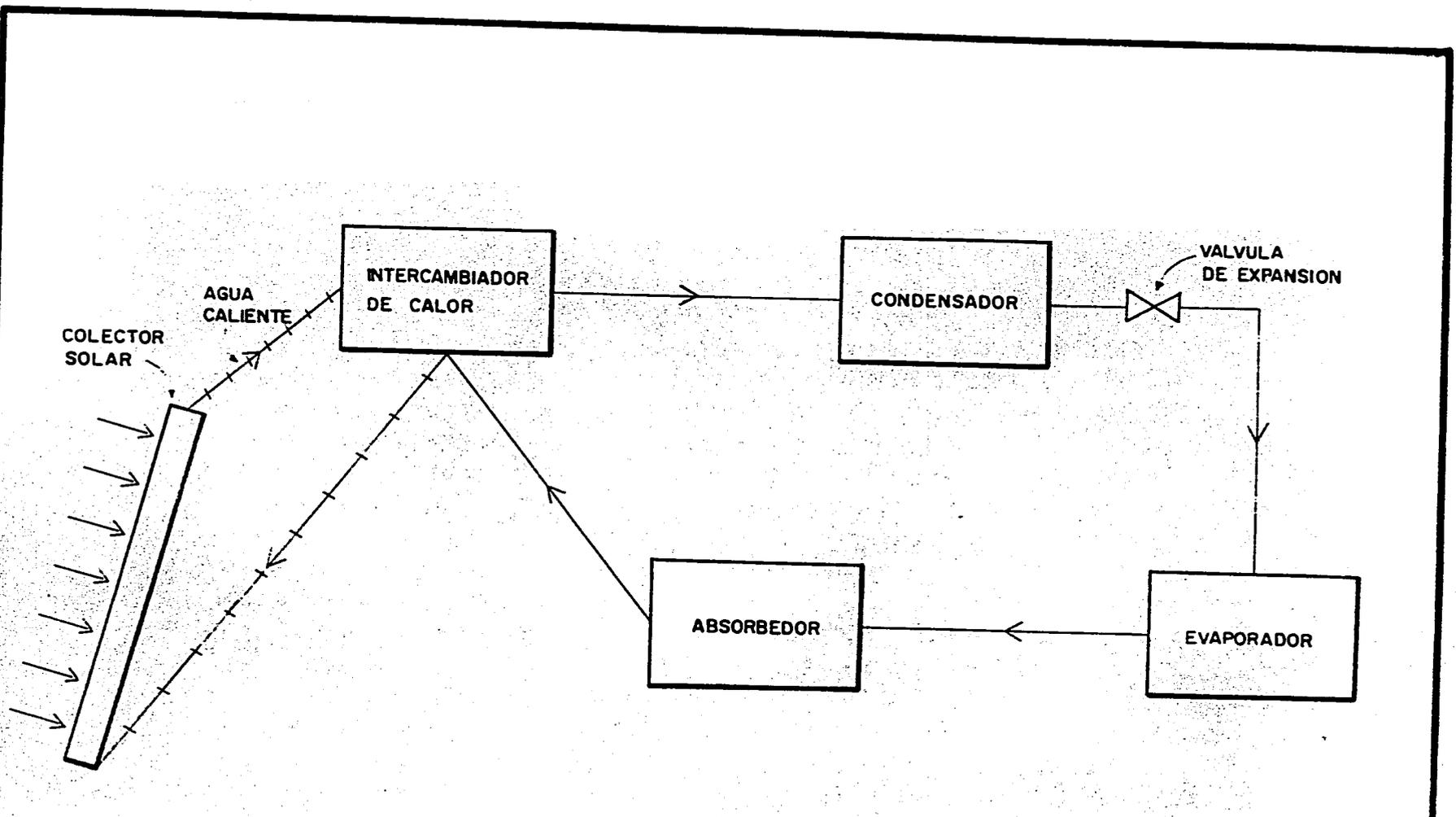


DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION (SOLAR)

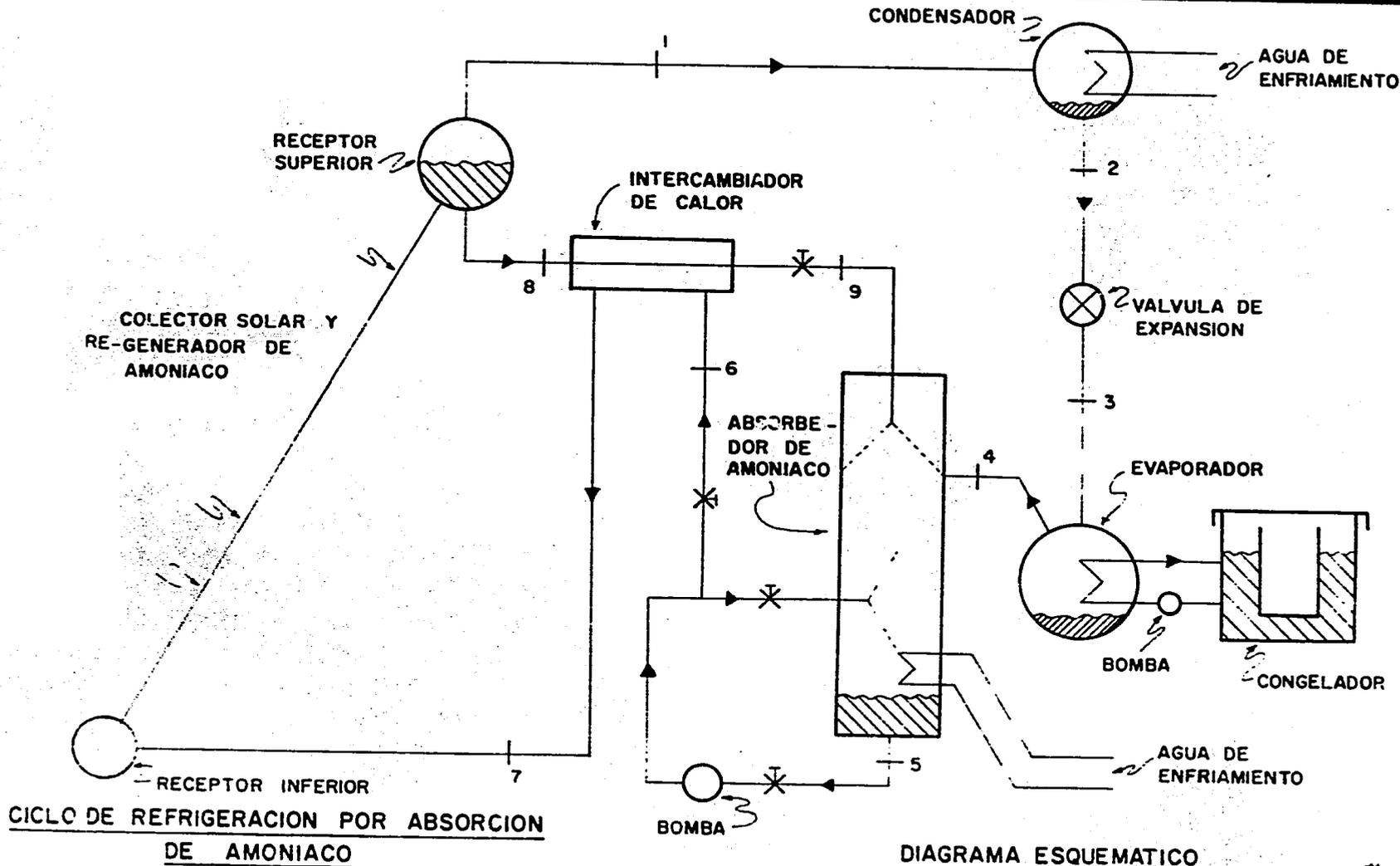
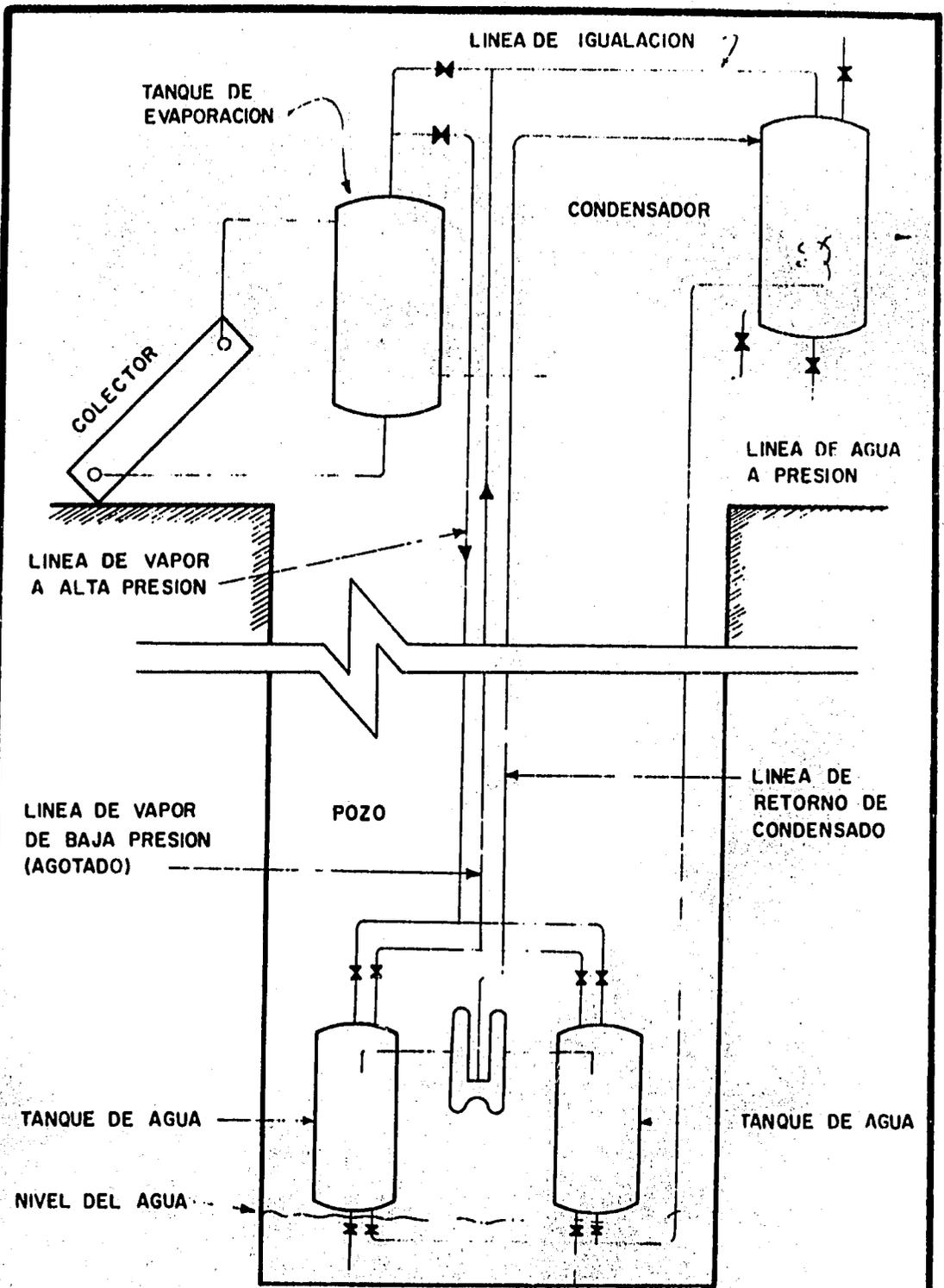
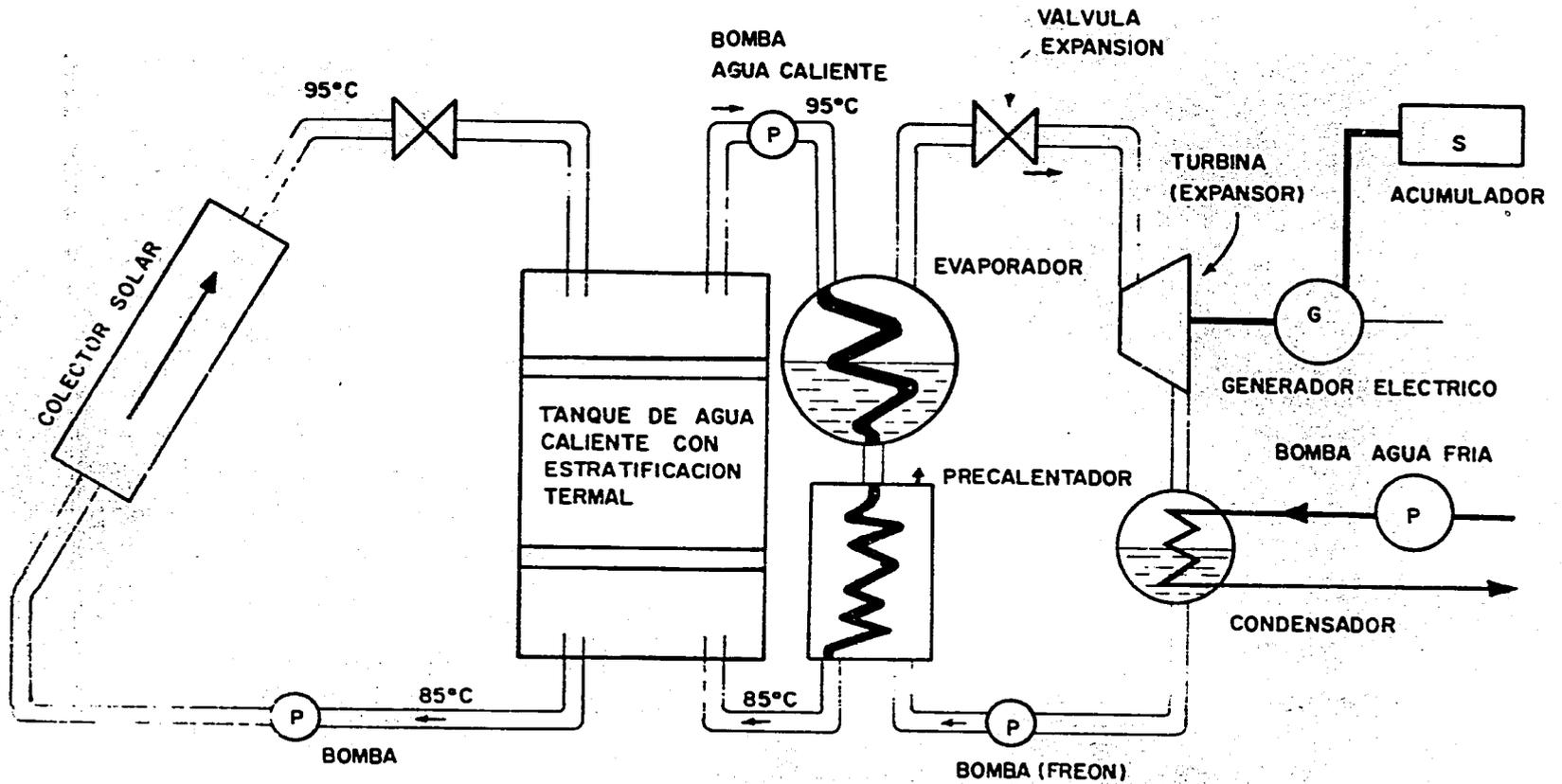


FIG 4.9



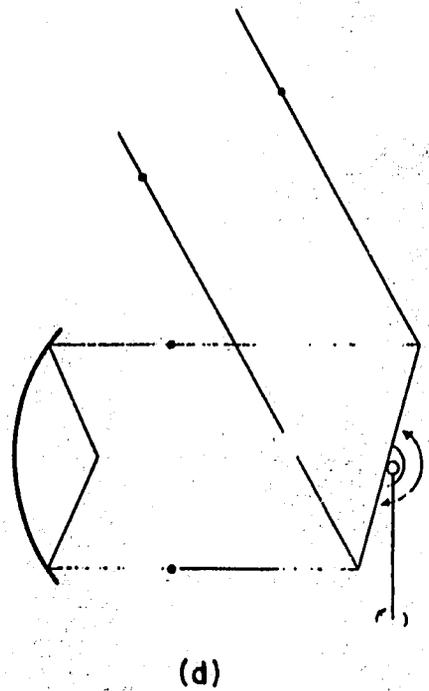
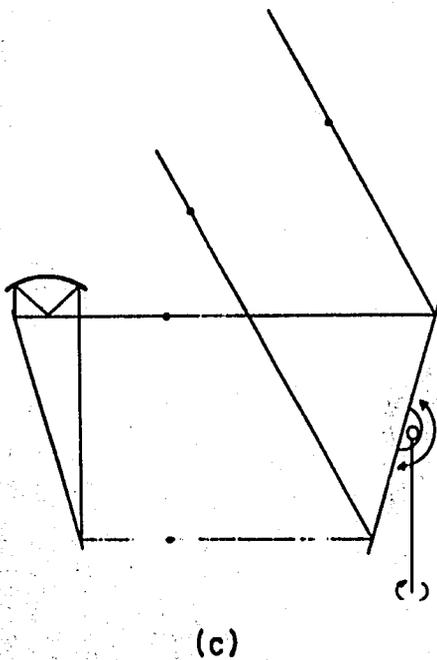
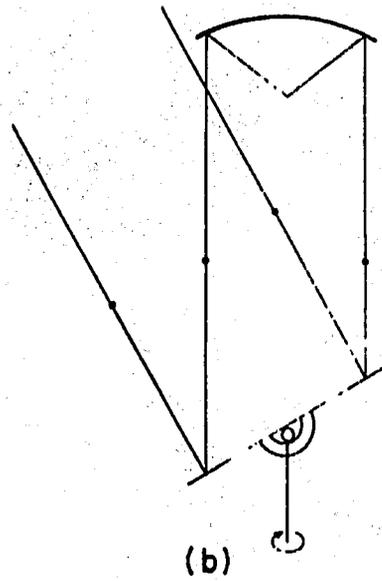
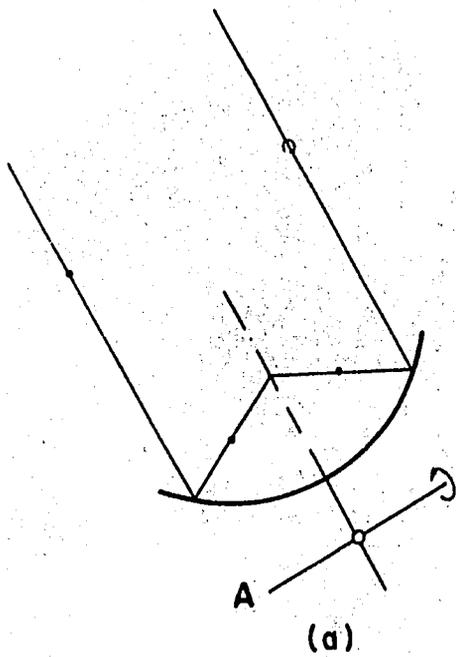
BOMBA SOLAR PARA AGUA

69



ESQUEMA DE PLANTA ELECTRICA CON ENERGIA SOLAR

FIG 4.II

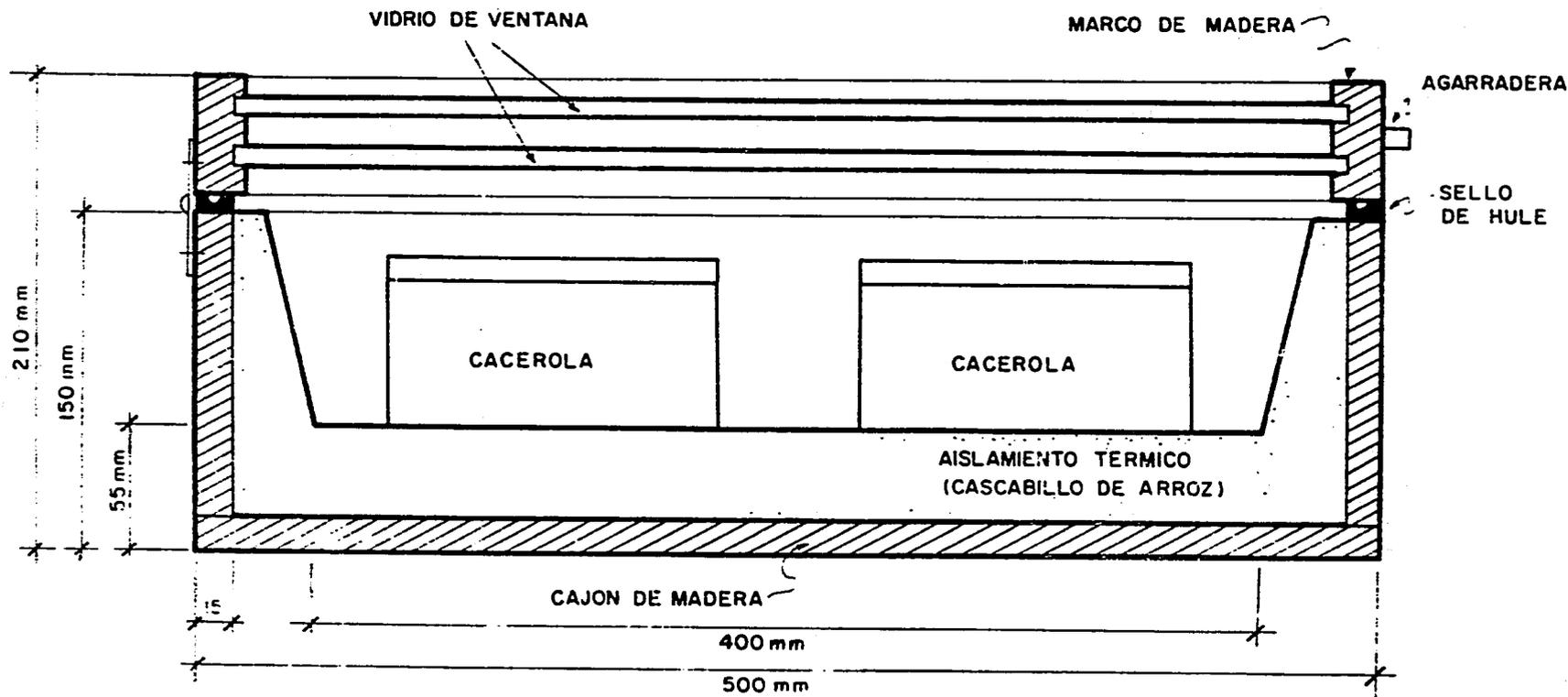


VARIOS TIPOS DE HORNOS SOLARES:

a) DE INCIDENCIA DIRECTA

b), c) Y d) HELIOSTATOS

EL EJE A SE DISPONE PARALELO AL EJE TERRESTRE



COCINA TIPO CAJA CALIENTE / INDIA , 1 2 , CORTE TRANSVERSAL , ESCALA 1:250

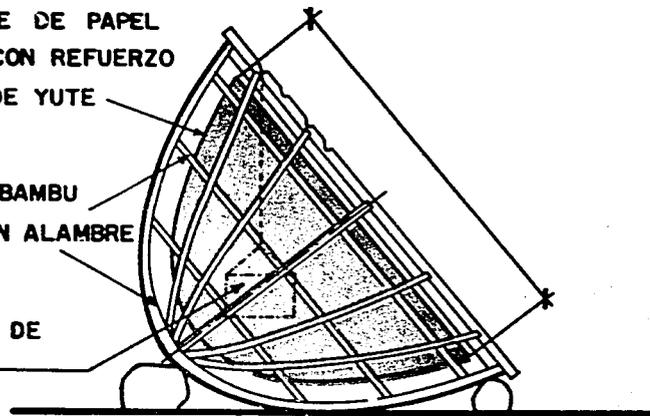
FIG 4.13

72

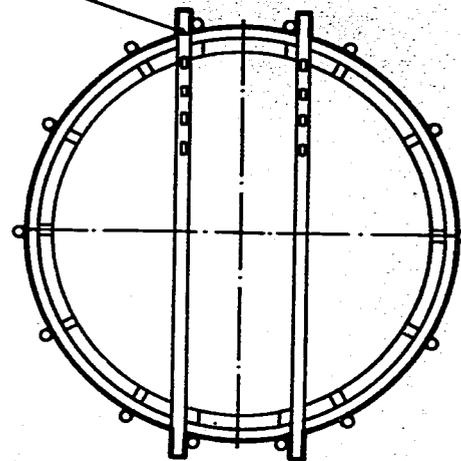
PARABOLOIDE DE PAPEL
MASCADO, CON REFUERZO
DE TELA DE YUTE

VARAS DE BAMBU
ATADAS CON ALAMBRE

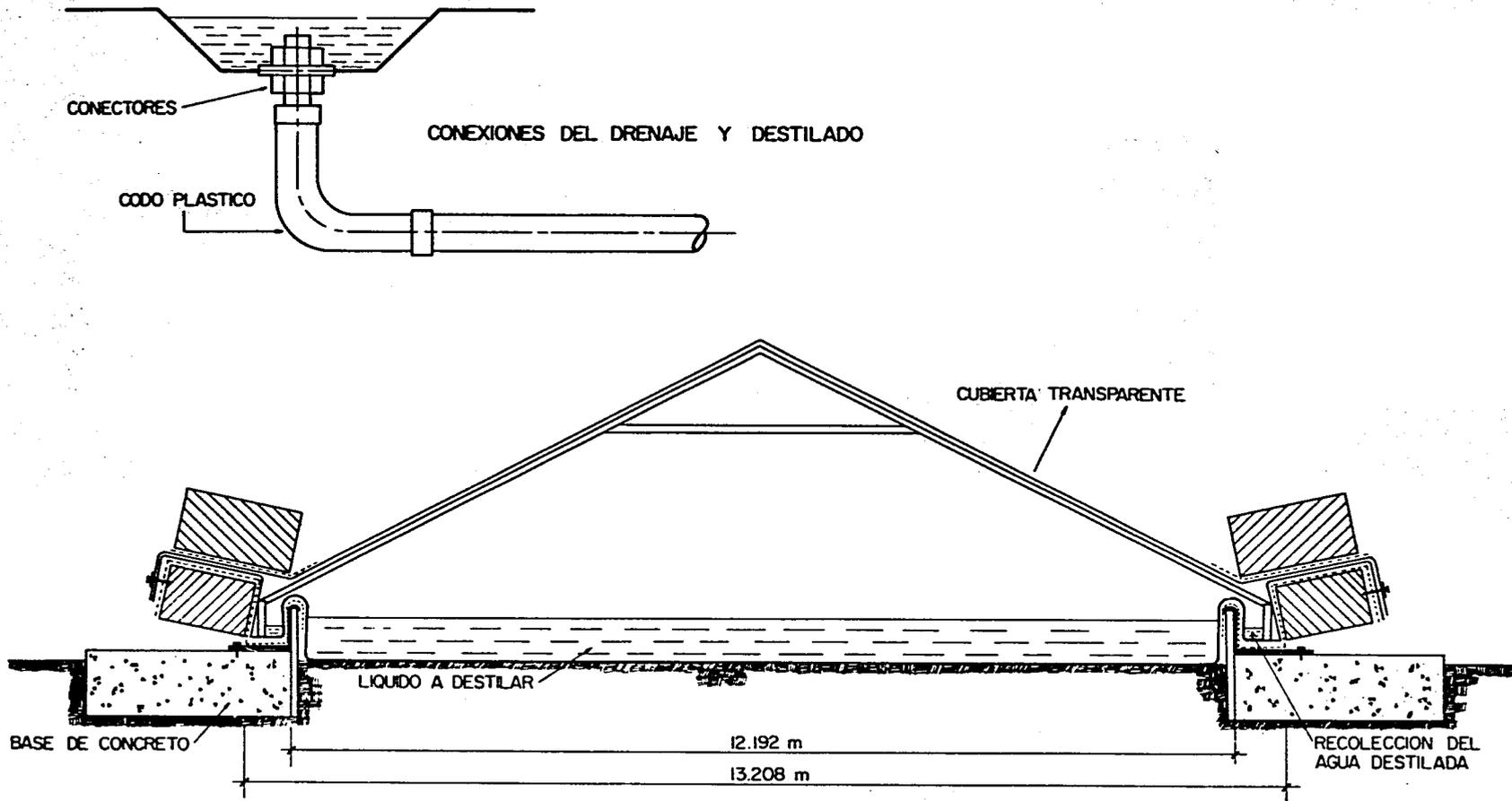
RECIPIENTE DE
COCINA



VARAS DE BAMBU

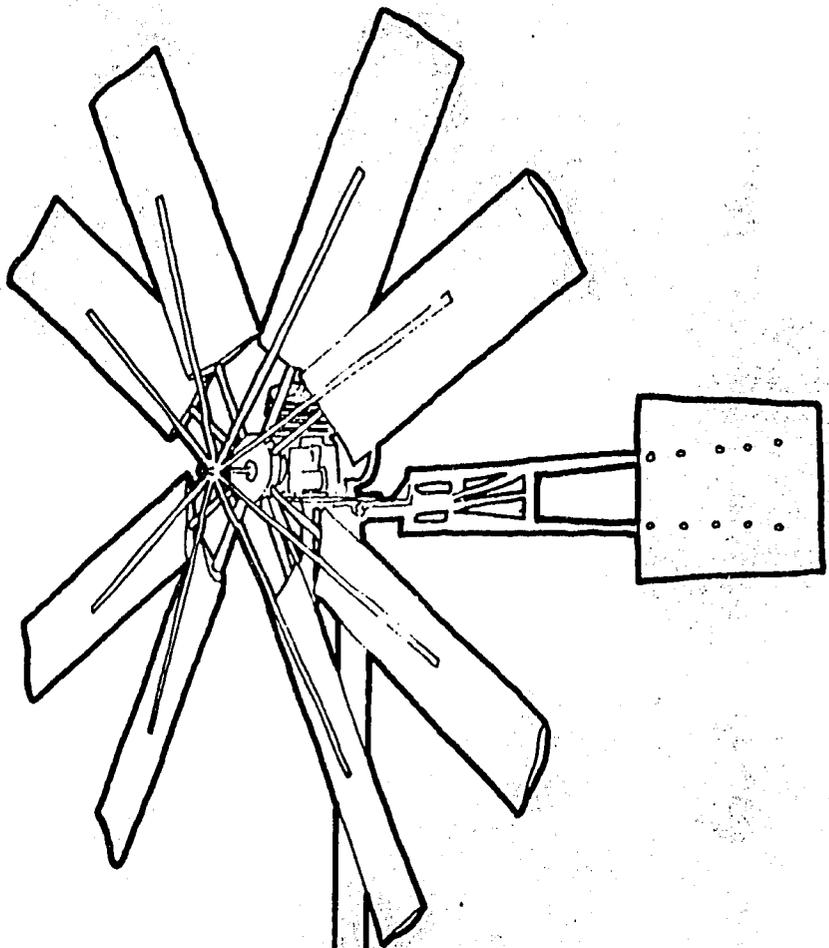


CANASTA SOLAR . ESCALA 1:15



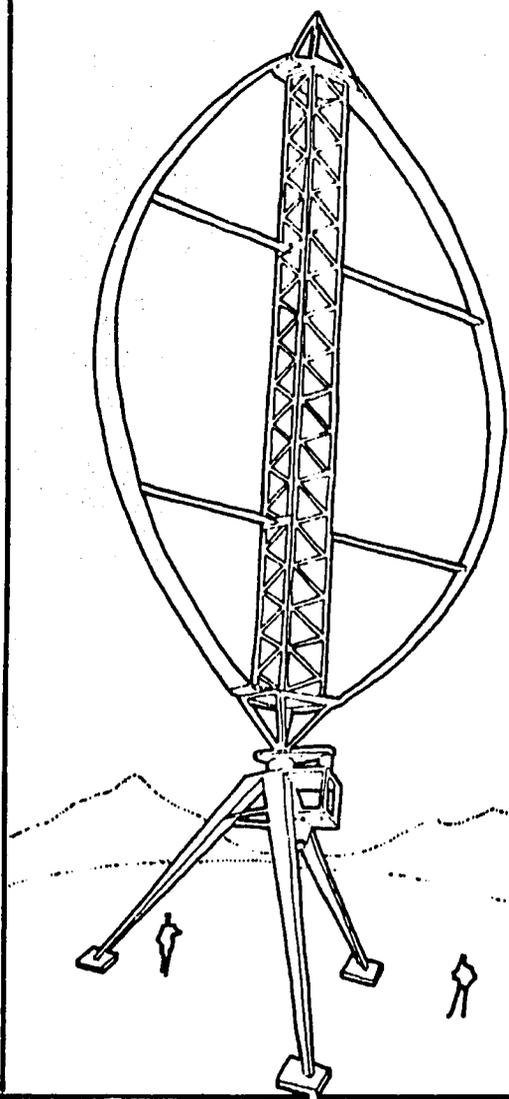
SECCION TRANSVERSAL DE UN DESTILADOR SOLAR

FIG 4.15



MOLINO DE EJE HORIZONTAL
PARA BOMBEO.

FIG 4.16



MOLINO DARRIEOUS
(eje vertical)
generación de electricidad

MOLINO DE EJE HORIZONTAL
generación de electricidad

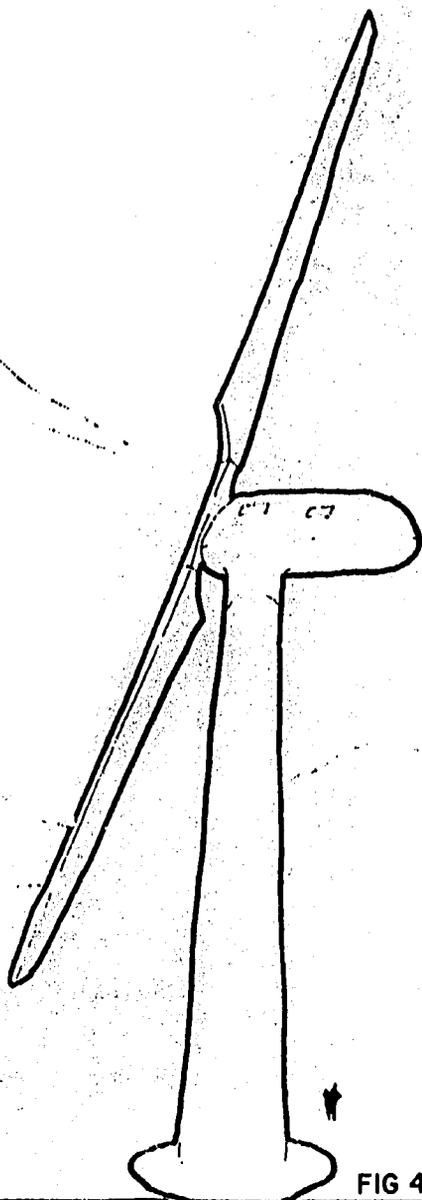


FIG 4.17

**SISTEMA DE
CALENTAMIENTO
DE AGUA DOMESTICO
O RESIDENCIAL**

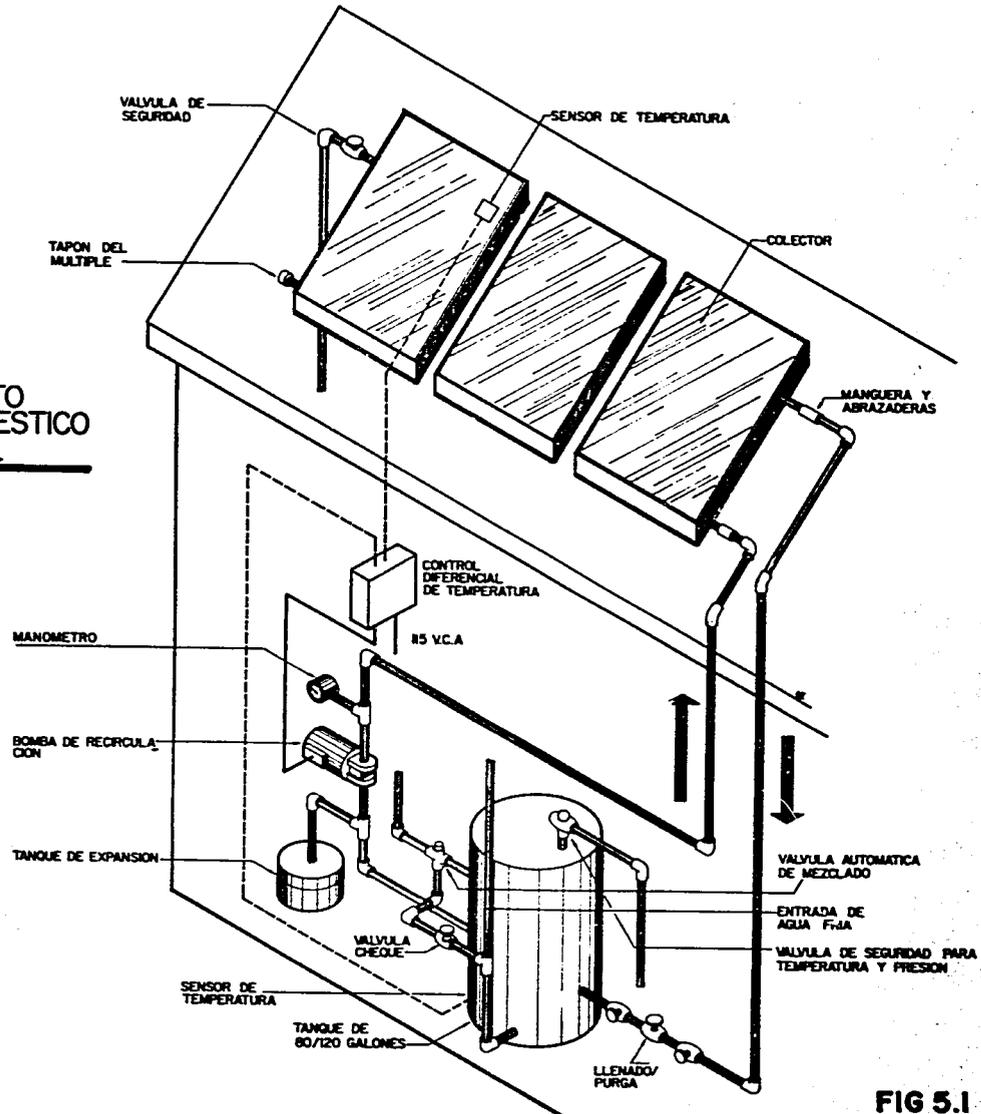
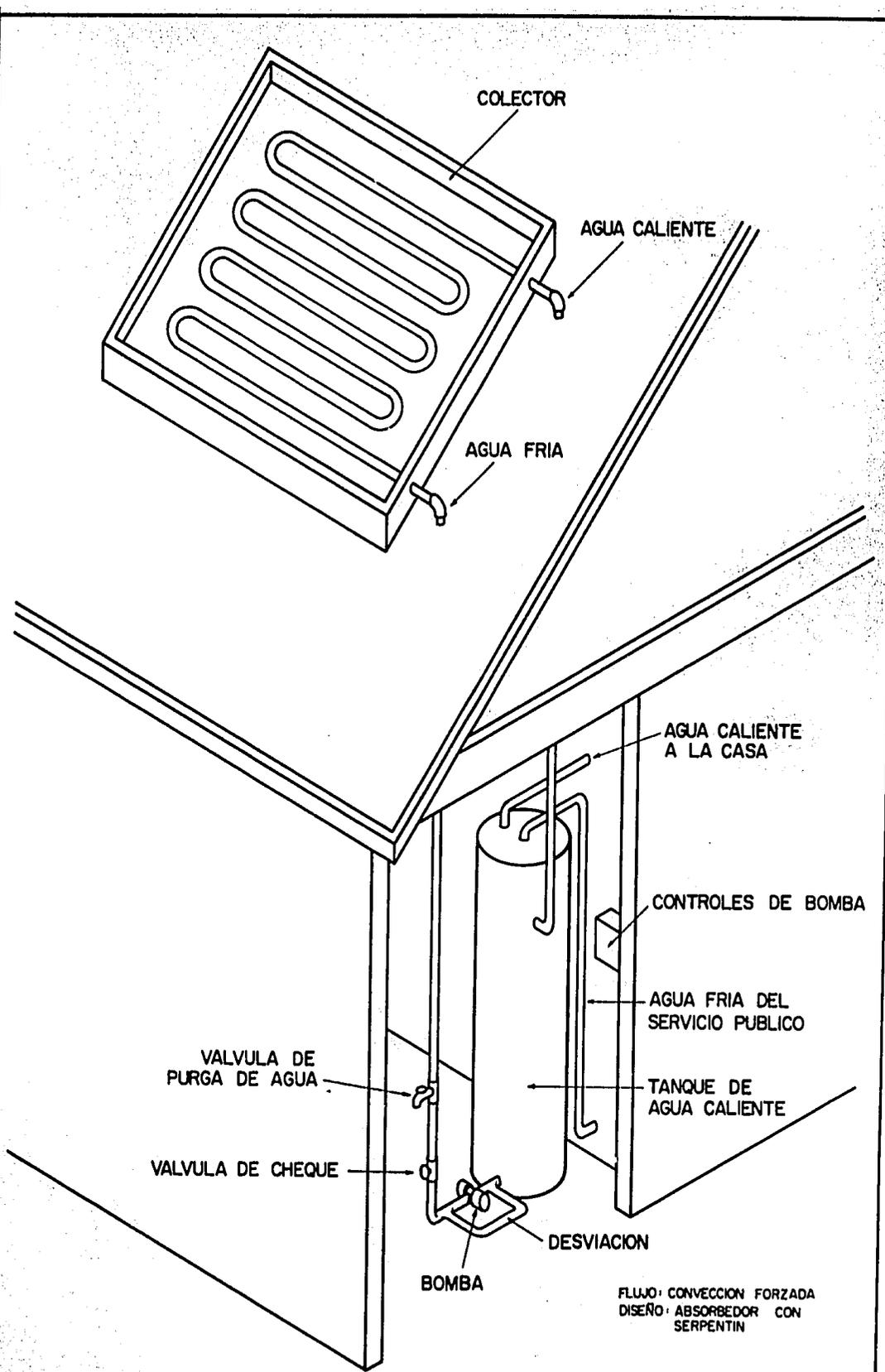


FIG 5.1



SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA USANDO BOMBA DE RECIRCULACION

FIG 5.2

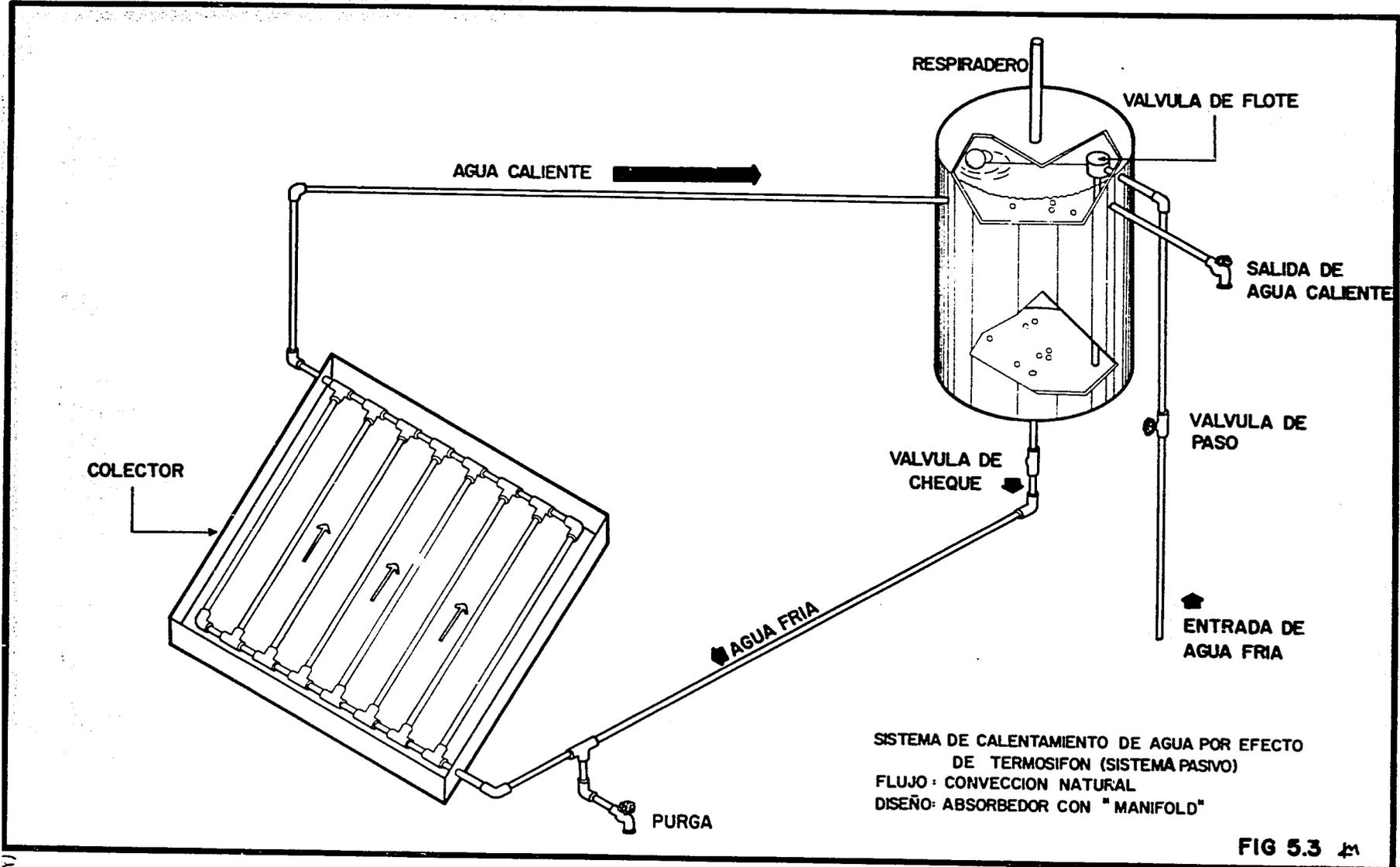
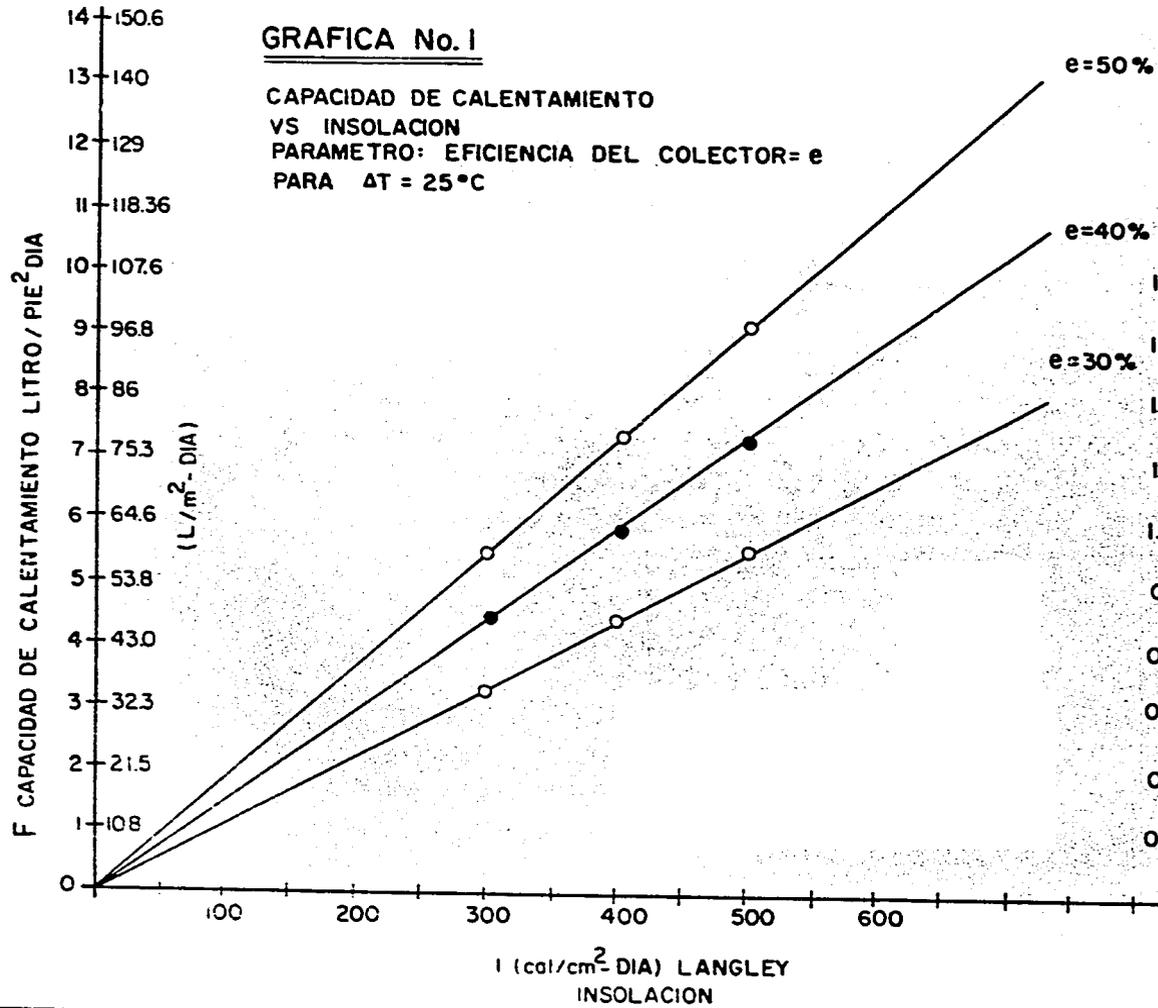


FIG 5.3 41

GRAFICA No. 1

CAPACIDAD DE CALENTAMIENTO
VS INSOLACION
PARAMETRO: EFICIENCIA DEL COLECTOR = e
PARA $\Delta T = 25^\circ C$



GRAFICA No. 2

FACTOR DE CORRECCION FC

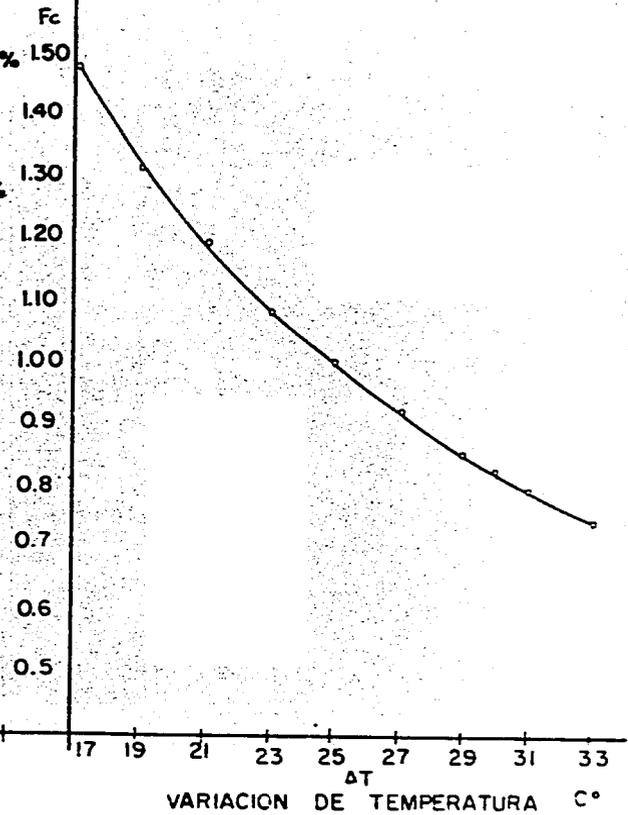


FIG 5.4

CALCULO DE COLECTORES SOLARES

GRAFICA No. 3

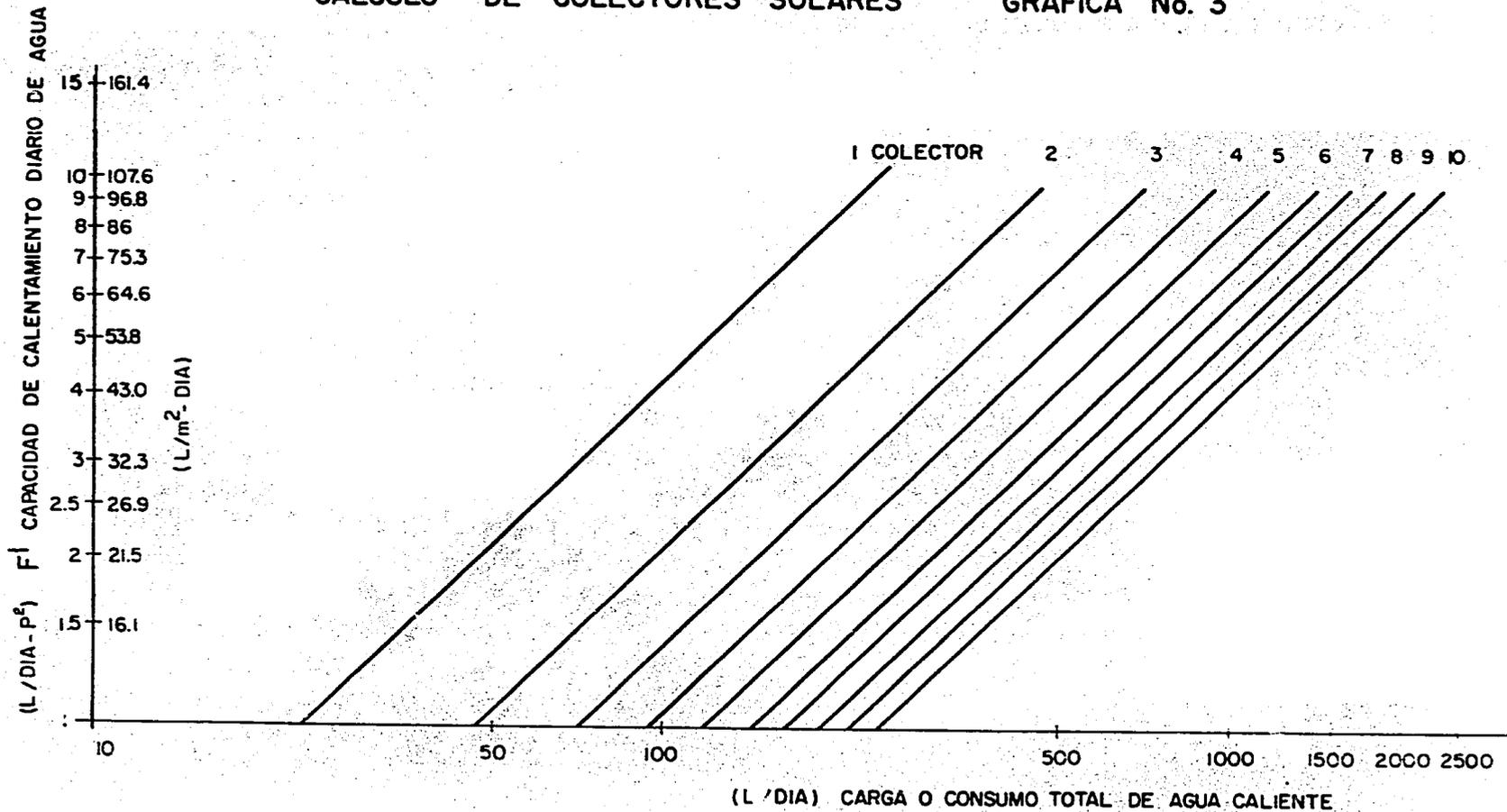


FIG. 5.5

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

COLECTORES SOLARES TIPO PLANO			
Elemento	Material recomendado y opciones	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
Marco de Madera	Madera de pino de ciprés, recta y, preferiblemente, cepillada	pie tablar	\$ 0.40-\$ 0.42
Caja de lámina	Lámina galvanizada calibre 26 Lámina galvanizada calibre 28 Lámina de aluminio de 1/32"	plancha de 3x8 pies plancha de 3x8 pies plancha de 4x8 pies	\$ 8.00-\$10.00 \$ 5.00-\$ 6.00 \$28.00
Absorbedor térmico	Lámina galvanizada calibre 24 Lámina de aluminio de 1/32" Lámina de cobre de 1/64"	plancha de 3x8 pies plancha plancha	\$13.00-\$14.00 \$28.00 \$30.00
Aislamiento en la base	Lana de fibra de vidrio de 2" ó 3" de espesor. Cascarilla de arroz o equivalente	plancha de 3x4 pies	\$ 8.00
Pintura absorbente	Pintura negro mate, nacional Pintura negra especial (mayor resistencia térmica)	galón galón (Un panel usa entre 1/8 y 1/6 galón)	\$16.00 \$29.00
Tubo de cobre	Tubo flexible de \varnothing 1/2" Tubo flexible de \varnothing 3/8"	pie lineal pie lineal (Un panel de 8 pasos usa de 58 a 60 pies de tubo).	\$ 0.70-\$ 0.84 \$ 0.54-\$ 0.60

10

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

COLECTORES SOLARES TIPO PLANO (continuación).			
Elemento	Material recomendado y opciones	unidades	Costo en Pesos Centrocamericanos en Guatemala 1982
Canaleta	Lámina galvanizada calibre 28 Lámina galvanizada calibre 30	plancha plancha (Un panel usa 50 pies de canaleta)	
Sello	Esponja "bitrite" # 9 (1/8" espesor)	pliego (Un panel usa 1/5 pliego)	\$ 4.25
	Suela sintética para zapatos Hule para parche de llanta	libra	\$ 2.00
Cubierta transparente	Fibra de vidrio (FRP) llamado plano liso, de 1 mm de espesor	plancha 3x8 pies	\$28.00
	Lámina acrílica (Crilux)	plancha 3x8 pies	\$50.00
	Vidrio corriente de 3 mm espesor	pie cuadrado	\$ 0.60 - \$ 0.80
Refuerzo metálico	Platina/hembra de hierro de 1/2"x 1/8"	20 pies lineales	\$ 1.75
	Angular aluminio 3/4"x3/4"x1/32"	12 pies lineales	\$ 2.60
Tornillos	Tornillo aluminio cabeza hexagonal ranurada (la longitud depende del tipo de materiales usados como empaque, cubierta y refuerzo).	ciento	\$ 2.00 - \$ 3.00

12

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

TANQUE AISLADO TERMICAMENTE			
Elemento	Material recomendado y opciones	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
Tanque	Tonel (estañón) de 54 galones, hierro. (Requiere soldadura en las diferentes conexiones)	Unidad	\$ 12.00 - \$ 15.00
	Tonel de 32 galones, plástico	Unidad	\$ 18.00
	Tanque de lámina negra de hierro de 1/8", 55 galones	Unidad	\$ 70.00 - \$ 90.00
Pintura	Pintura epóxica	galón (Un tanque usa 1/4 galón, dos aplicaciones en el exterior y una en el interior)	\$ 30.00
Aislante	Lana de fibra de vidrio 2"	plancha de 3x4 pies.	\$ 8.00
Revestimiento del aislante	Plástico de polietileno negro	metro (largo) x 1.0 - 1.50 m ancho	\$ 1.25 - \$ 1.50

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

TUBERIAS Y ACCESORIOS (exteriores al panel)			
Elemento	Material recomendado y opciones	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
a) Tuberías para zonas de circulación humana o en tramos con subidas y bajadas. Almacenamiento hasta 50 galones	Tubería y accesorios de hierro galvanizado de 1/2", con aislamiento térmico.	Tubería: pie lineal. Accesorios: unidad.	
b) Condiciones análogas. Almacenamiento de más de 50 galones	Tubería y accesorios de hierro galvanizado de 3/4", con aislamiento térmico.	Tubería: pie lineal. Accesorios: unidad.	
a) Tuberías para zonas con poca circulación o con cargas pequeñas (techos planos, bajadas). Almacenamiento hasta 50 galones. Agua a 30° C o menos.	Tubo y accesorios de PVC de 1/2"	Tubo: pie lineal. Accesorios: unidad	
b) Condiciones análogas. Almacenamiento de más de 50 galones.	Tubo y accesorios de PVC de 3/4"	Tubo: pie lineal. Accesorios: unidad.	
a) Tuberías para zonas con poca circulación o con cargas pequeñas (techos planos, bajadas). Almacenamiento hasta 50 galones. Agua a más de 30° C.	Tubo y accesorios de CPVC de 1/2" con aislamiento térmico.	Tubo: pie lineal. Accesorios: unidad.	

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

TUBERIAS Y ACCESORIOS (exteriores al panel). (Continuación)			
Elemento	Material recomendado y opciones	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
b) Condiciones análogas. Almacenamiento de más de 50 galones.	Tubo y accesorios de CPVC de 3/4" con aislamiento térmico.	Tubo: pie lineal Accesorios: unidad	

Notas:

- No se recomienda usar tubería de cobre o de aluminio porque su costo es elevado y porque facilitan pérdidas elevadas de calor y requieren aislamiento térmico exagerado.
- En toda unión entre tubo metálico y tubo plástico, en especial en conducciones con agua caliente, debe tenerse especial cuidado, ya que las dilataciones diferentes que ocurren en los materiales pueden provocar goteos y hasta fugas importantes. En las roscas metal-plástico de estas uniones debe usarse cinta de teflón en cantidad adecuada, o bien usar adaptadores especiales con empaques de hule.
- Los costos de cada tipo de material deberán consultarse en catálogos especiales, pero en general se tiene que para diámetros iguales, la tubería de CPVC cuesta el triple que la de PVC y la tubería de hierro galvanizado cuesta el cuádruple que la tubería de PVC.

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

RECUBRIMIENTOS AUXILIARES PARA SISTEMAS SOLARES			
Material	Características	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
plástico polietileno negro de bolsa agrícola	Sirve de protección contra la lluvia. Es grueso y barato. Para las uniones se requiere usar cemento de contacto (pegamento de zapatos). en doble capa.		
Plástico de vinilo	Excelente transparencia y duración		
Plástico de polietileno	Es más barato que el vinilo, pero tiene menos resistencia y transparencia. El sol lo daña rápidamente.		

MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en C. A.

AISLANTES TERMICOS			
Material	Características	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
<p>Lana de fibra de vidrio</p> <p>$K = 0.0974 \text{ a } 0.195 \frac{\text{kcal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$</p> <p>$R = 10.2 \text{ a } 5.17 \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$</p>	<p>Es un material termo-resistente, pero frágil y difícil de manejar.</p> <p>Se puede usar en el fondo del panel y en tanques (2" a 3" es adecuado).</p> <p>Se puede usar en tuberías (existen cánulas ya hechas, con cubierta metálica y fajas de sujeción).</p> <p>Este material sirve para interiores, y si se usa en exteriores, se debe proteger de la humedad, recubriéndolo con plástico enrollado.</p>		
<p>Asbesto</p> <p>$K = 0.39 \text{ a } 0.58$</p> <p>$R = 2.56 \text{ a } 1.72$</p>	<p>Es un material termo-resistente, pero es frágil y pesado; requiere una estructura de refuerzo (malla) y requiere también una protección contra la humedad.</p> <p>En capas de 1/2" a 1" puede usarse en tanques y tapaderas.</p>		
<p>Duopore</p> <p>$K = 0.087 \text{ a } 0.097$</p> <p>$R = 11.5 \text{ a } 22$</p>	<p>Liviano y fácil de trabajar, pero no muy resistente al calor intenso (más de 90°C).</p> <p>Se puede usar con ventaja en tanques y tapaderas, en capas de 1" de espesor.</p>		



MATERIALES. Se indican denominaciones y medidas en unidades que se usan comercialmente en U. A.

AISLANTES TERMICOS			
Material	Características	Unidades	Costo en Pesos Centroamericanos en Guatemala 1982
Poliuretano (esouma) K = 0.058 a 0.073 R = 17.2 a 13.7	Es el mejor aislamiento (ver K), pero es frágil y requiere equipo especial de aplicación.		
Papel periódico y cartón	Materiales baratos pero combustibles; su capacidad de aislamiento no se conoce bien. Pueden resultar muy pesados. Conviene tratarlos con soluciones de bórax para hacerlos incombustibles: su uso debe limitarse a los paneles.		
Granzas, cascabillos vegetales y aserrines	Son pesados, y no se conoce bien su capacidad de aislamiento. Pueden resultar los materiales más adaptables cuando ya se conozcan sus propiedades.		

BIBLIOGRAFIA:

- Solar Catalog, 1982, Solar Component Corporation
- Johnstone Supply, Catalog 1982 Johnstone Supply Inc.
- Grainers Catalog 1982
- Dayton Catalog, Dayton Electric MFG Co.

129

INSTRUMENTOS

Elemento	Material/tipo	Disponibilidad Mercado C. A.	Observaciones
Sensores de temperatura	Termopar Termistor	poca ninguna	\$ 6 - 20 c/u FOB USA
Controles	Diferencial Termostato Reloj (timer)	ninguna poca poca	\$ 60 - 150 FOB USA sistema dom. \$ 250 - 300 FOB sistema mediano.
Termómetros	Vidrio Carátula metálica digital	buena buena ninguna	\$ 200 - 250 FOB USA para 6-8 canales
Rotámetros	vidrio polisulfone	ninguna ninguna	\$ 100 - 150 FOB USA 0.5 gpm - 5 gpm \$ 40 - 60 FOB USA 0.5 - 5 gpm
Manómetros	carátula metálica	poca	

Elemento	Tipo de equipo	Disponibilidad Mercado C. A.	Observaciones
Bombas de recirculación de Agua	Bomba de recirculación 1/20 HP AC	ninguna	S 100 - 120 FOB USA 15 pies de columna de agua 20 gpm flujo
	Bomba recirculación 1/12 HP AC	ninguna	S 150 - 175 FOB USA 22 pies, 20 gpm flujo
	Bomba recirculación DC	ninguna	S 100 FOB USA, 11 pies 6 gpm (sistemas fotovoltaicos)
	Bomba alimentación y/o distribución, hidroneumática	buena	Q 270 (Guatemala) 3/4 HP, 220 v
Ventiladores para Aire	Ventilador Booster	poca	S 20 - 40 FOB USA 70- 300 CFM, 14 - 28 w
	Soplador (Blower)	poca	S 70 - 110 FOB USA 1/10 - 1/5 HP, 500 - 700 CFM

TEXTOS EN BIBLIOTECA ICAITI

Enumeración Parcial

- A. Generales de introducción a energía solar (en español)
- Halacy, D. S. Tierra, Agua, Viento y Sol. Edit. Tres Tiempos
- Hayes, Denis. Rayos de Esperanza. Edit. Nuevo Mar.
- FAO. Energía para la Agricultura Mundial.
- B. Básicos, sencillos y prácticos (Estudiantes Básico y Pre-universitario)
- Howell & Bereny. Engineers Guide to Solar Energy. SEIS
- McVeigh. Sun Power. Pergamon Press.
- Messel & Buttler. Solar Energy. Pergamon Press.
- Rohe. The Integral Way. Solar Business Office.
- Montgomery. The Solar Decision Book. Dow Corning.
- Williams. Solar Energy. Ann Arbor Science.
- Daniels. Direct Use of the Sun's Energy. Yale University Press.
- Brink-Worth. Solar Energy for Man. The Compton Press.
- Cheremisoff-Resino. Solar Energy. Ann Arbor Science.
- Eggers & Luna. Solar Energy. Pergamon Press.
- McPhillips. Solar Age. Everest House.
- C. Generales de nivel técnico-teórico (Ingenieros y similares)
- Kreider & Kreith. Solar Heating and Cooling. McGraw Hill.
- Kreider. Medium and High Temperature Solar Processes. Ac. Press.
- McNell & Meinel. Applied Solar Energy. Adison Wesley.
- Duffie-Beckmann. Solar Energy - Solar Processes. Wiley Science.
- Belton. Solar Power and Fuels. Academic Press.
- Cox. Sun. Pergamon Press.
- Behrman. Solar Energy. Little Brown and Company.

D. Temas específicos

Wengert, E. (Secado de madera) Practical Applications of Solar Energy To Wood Processing. Forest Products Research Society.

Golding. (Energía Eólica) Boletín No. 37. FAO.

Anderson & Riordan. (Seguimiento Solar y Arquitectura) The Solar Home Book. Cheshire Books.

Palz. (Celdas Fotovoltaicas) Solar Electricity. UNESCO.

Backus. (Celdas Fotovoltaicas) Solar Cells. IEEE Press.

Boer. (Colectores solares) Solar Collectors. ASISES. Vol. II.

Mitsui-Miyachi. (Conversión biológica de energía solar) Biological Solar Energy Conversions. Academic Press.

Meaps. (Invernaderos) Greenhouse Solar Heating. University of Florida

Kreith & West. (Economía aplicada a Energía Solar) Vd. 1, 2 y 3. CRC Press.

Wilbur & Karaki. (Enfriamiento) Solar Cooling. Institute Press.

Salazar, Humberto. (Insolación) Insolación en Guatemala. Serviprensa de C. A.

