

ENERGIA SOLAR- CONCEPTOS BASICOS Y SU UTILIZACION.



Shyam S. Nandwani (*) Ph.D.

Profesor,
Laboratorio de Energía Solar, Departamento de Física,
Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica (Centro América)

Tel: (506)- 2773 482, 2773 345 Fax: 2773 344

E mail: snandwan@una.ac.cr

- *) Miembro- International Solar Energy Society (ISES), Alemania.
- Miembro- International Society on Renewable Energy Education (ISREE), EUA.
- Miembro- Solar Cookers International (SCI), Sacramento, CA, EUA
- Miembro- Red Iberoamericano de Cocción Solar de alimentos (Argentina, RICSA/CYTED), Fotovoltaico (Peru, RIASEF/CYTED) y Transferencia Tecnología con Energía Renovable (Brasil RITTAER/CYTED).
- Miembro Asociado, Senior: the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy.
- Miembro- South- South Net Work on Renewable Energy, England/Italy.

Junio del 2005.

ENERGIA SOLAR- CONCEPTOS BASICOS Y SU UTILIZACION.

1. INTRODUCCION:

Por razones economicos, ambientales y politicos, es necesario buscar otras fuentes alternativas de energía que sean a la vez económicas, abundante, limpio y que preserven el equilibrio ecológico.

Energía proveniente del Sol, Viento y de la Tierra (geotérmica) son las opciones, pero la energía del sol tiene una ventaja extra con respecto a otras dos fuentes. Se pueden construir dispositivos solares de cualquier tamaño, pequeño que sea (hasta 0.5 Vatios y de 0.25 m²), y por ser tipo modular también se pueden ampliar. Esto daría la posibilidad de llevar energía a las casas remotas, áreas protegidas, donde no pueden instalarse proyectos convencionales y por ende podría electrificar el 100% del país.

Además la energía del sol es un excelente candidato porque:

- Sol emite energía 24 horas al día, 365 días al año a nuestra planeta. Todos lugares reciben esta energía según la ubicación (latitud),
- es abundante y gratuita,
- no es contaminante, como el petróleo y el carbón,
- no tiene desechos radioactivos, como la nuclear, etc.
- ocupa menor área por watio de la producción de energía,
- nadie puede aumentar su precio,
- no necesita algún tipos de cables o tanques, para su transportación.
- no se puede secuestrar este gran fuente,
- Sol es responsable de que en nuestro planeta existan las condiciones adecuadas para la supervivencia de la vida humana, animal y vegetal.

2. POTENCIAL DEL SOL:

La potencia solar que recibe el planeta Tierra (fuera de la atmósfera) es cerca de 173×10^{12} kW o una energía de 15×10^{17} kWh por año. Al atravesar la atmósfera, cerca de 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto al pasar estas radiación por una distancia de 150 millones de km, se reduce esta cantidad y el final planeta recibe energía promedio a 3×10^{17} kWh al año, equivalente a 4000 veces el consumo del mundo entero en un año (7×10^{13} kWh/año), lo cual nos indica la enorme potencia del Sol.

Además de aprovecharla, de manera natural (vientos, evaporación de los mares para energía hidroeléctrica, fotosíntesis para la producción de biomasas, gradiente térmico de los mares, etc), la energía solar se puede convertir en energía cálórica y energía eléctrica, y por lo tanto puede usar para todos los usos donde se puede funcionar cualquier otra fuente convencional de energía. Sin embargo para mostrar el concepto explicaremos la utilización para siguientes usos donde el autor ha tenido algunas experiencia práctica:

- Calentar agua para ducha, lavar trastos y para piscina etc. (Calentador del Agua),
- Cocinar/ hornear los alimentos y pasteurizar agua, (Horno/Cocina Solar),
- Secar todos tipos de productos, agrícolas, marinas etc., hasta excrementos de animales, (Deshidratador / Secador Solar),
- Destilar un líquido para separar los componentes sólidos y liquidas, (Evaporador /Destilador Solar) y
- Producir electricidad directamente (Efecto Fotovoltaico) para

alumbrar, TV, Radio, bombear agua, ventilación, nevera y cargar baterías, etc.

Una familia/ un agricultor/ un empresario etc. dependiendo de su actividad puede usar una o varias de estas o otras aplicaciones.

3. CANTIDAD DE LA RADIACION SOLAR:

Antes de aprovechar la energía solar en una localidad es muy importante conocer la cantidad de radiación solar en aquel lugar.

En Costa Rica existen cerca de 80-100 estaciones meteorológicas distribuidas en todo su territorio, las cuales cuentan con equipos para medir la cantidad de radiación y brillo solar. Universidad Nacional cuenta con los aparatos para medir Cantidad de Radiación Solar Global, Directa, Ultra Violeta etc. (Fig. 1 a). Aunque los datos para diferentes estaciones se pueden conseguir con el Instituto Meteorológico Nacional, sin embargo la Figura 1b muestra, la radiación global anual medida en varios lugares de Costa Rica. El valor oscila entre 1320 (San José) y 1970 (Taboga) KWh/m²-año y son muy importantes como base para cualquier simulación de sistemas solares.



Fig. 1 a. Instrumentos para medir diferentes tipos de Radiación solar- Global, Directa y Ultra Violeta.

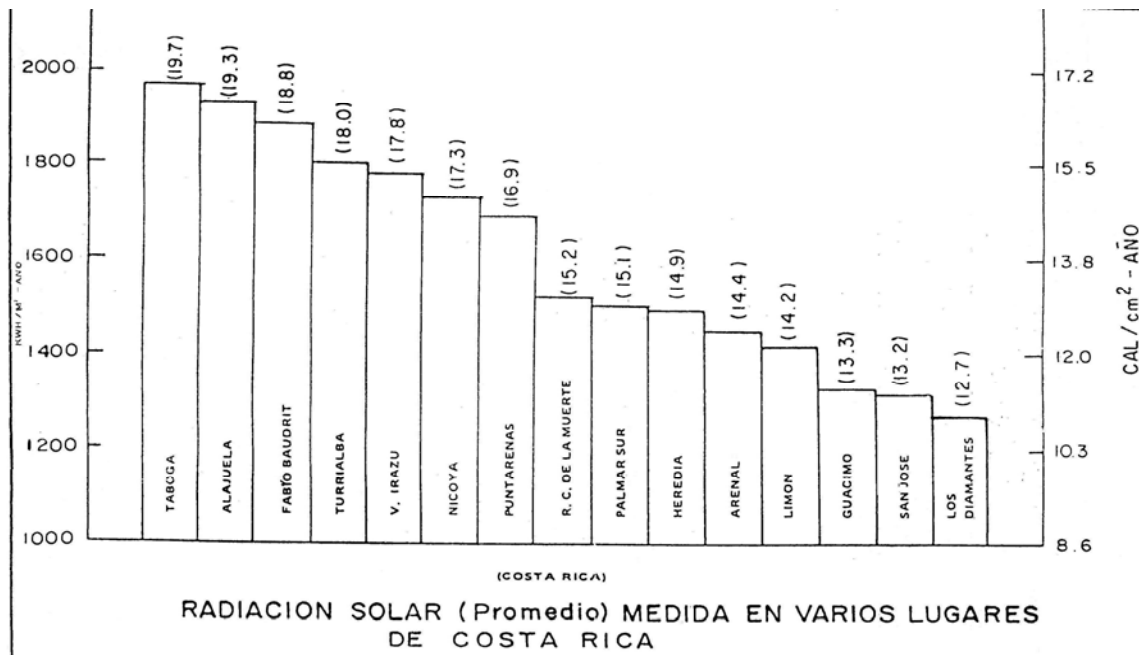


Fig. 1b: La Radiación Solar (Promedio) medida en algunos lugares de Costa Rica (unidad lado izquierda, kWh/m²- año).

Para apreciar estos datos si tomamos que el promedio de Radiación Solar para Costa Rica es de 1500 kWh/m²-año. Ahora suponiendo rendimiento para convertir energía solar en energía cálórica, es de 50%, por lo tanto una superficie captadora con una área de 40 Km², el total de energía cálórica aprovechable será de 3000 X 10⁶ kWh/año. Esto es equivalente de 16.8 X 10⁶ barriles de petróleo, cantidad que importa Costa Rica anualmente, pero con un costo cerca de \$450- 500 millones.

Además, la radiación solar tiene una variación mensual. En el caso de Costa Rica esta variación mensual es el orden de 25-30% (máximo) con respecto al valor promedio, lo cual indica que no hace falta mucho grado de almacenamiento de energía del Sol. Es muy ventajoso tomando en cuenta el alto costo del almacenamiento de energía calorica o eléctrica.

4. CAPTACION DE ENERGIA SOLAR:

Para cualquiera de las aplicaciones de la energía solar la parte principal del sistema es el COLECTOR - el artefacto que capta energía solar y convierte en energía útil- sea en forma cálórica o eléctrica.

Para la conversión de energía solar en energía eléctrica se utilizan las CELDAS SOLARES proveniente de los materiales semiconductores -tipo silicio principalmente. Se usan en relojes, calculadores y hasta en naves espaciales etc. Debido a la requerimiento de inversión inicial y complejidad de fabricación, muy pocos países del mundo están fabricando las celdas solares. En este artículo solo se informa un breve concepto de ensamblaje de paneles solares (conjunto de celdas solares) para una sistema.

Por otro lado la energía solar puede ser transferida en calor empleando captadores sencillos, los cuales pueden fabricar fácilmente y con los materiales disponibles en el mercado local. Existen dos tipos de captadores o colectores:

- tipos Planos (Fig. 2) y
- tipos Concentradores (Fig. 3 y 4).

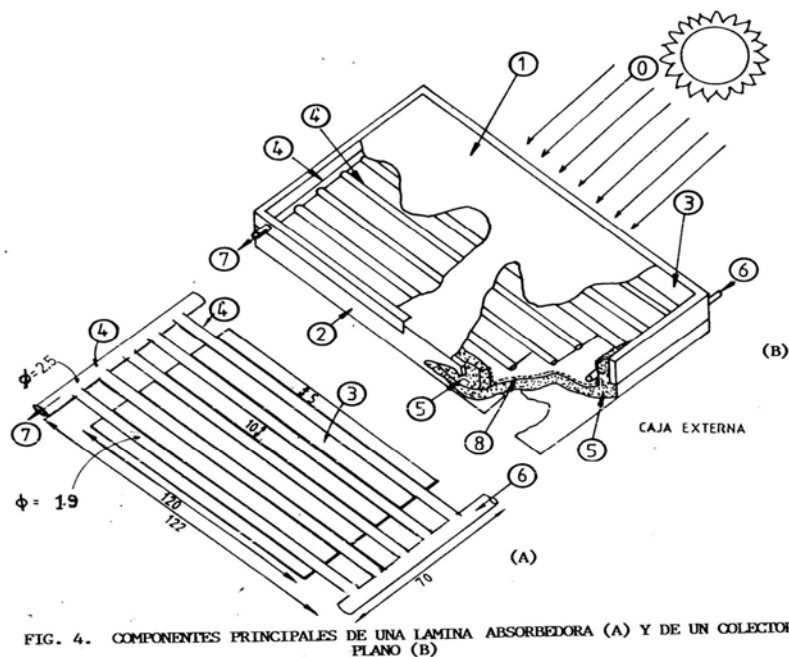


FIG. 4. COMPONENTES PRINCIPALES DE UNA LAMINA ABSORBEDORA (A) Y DE UN COLECTOR PLANO (B)

Fig. 2 a. Componentes Principales de un Colector Plano.

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------|
| 0- Rayos Solares | 1- Cobertor(es) | 2- Caja Exterior |
| 3- Lamina metálica | 4- Dos tubos horizontales | |
| 4'- Varios tubos verticales | 5 y 8- Aislante Térmico | |
| 6- Entrada del fluido frio | 7. Salida del fluido caliente | |

COLECTOR PLANO: ellos pueden dar temperaturas entre 50°-200°C, con una eficiencia promedio entre 40 al 60%.

La Figura 2a muestra el principio básico de uno de los más comunes diseños de colectores solares planos. Es esencialmente una placa metálica (que puede ser de acero, hierro galvanizado, aluminio o preferiblemente de cobre) pintada de color negro mate, con el fin de absorber al máximo la radiación directa (proveniente de disco solar) y también la difusa (proveniente de cielo). La radiación solar después de ser absorbida es transformada en energía térmica. Sin embargo, como el ambiente se encuentra a una temperatura inferior a la de la placa, ésta placa comienza a perder la radiación, aunque sólo en la región del infrarrojo. Para reducir las pérdidas de energía en la parte posterior y laterales, la placa está encerrada en una caja (de madera o metálica etc.) bien aislada al fondo y lateralmente (usando lana de vidrio, estereofón, poliuretano o cáscara de arroz, aserrín etc.). Para reducir las pérdidas de energía por la parte superior, la fachada del colector está cubierta con una o más láminas de vidrio o de plástico transparente, permitiendo que penetre la luz solar pero evitando el escape de la radiación infrarroja emitida de la placa caliente. Por lo tanto aire dentro del caja alcanza alta temperatura. Después el calor neto absorbido por la placa es transferido a varios tubos de metal, verticales separados por una distancia de 10-15 cm entre ellas, y unidos estrechamente a la placa, por los que el fluido se hace circular. Dichos tubos se colocan longitudinalmente de manera que el fluido (aire o agua) frío entre por la parte baja y salga, una vez caliente, por la alta, debido a su menor densidad. La Foto 2b muestra uno de varios colectores planos diseñado e estudiado por el autor, en la Universidad Nacional.

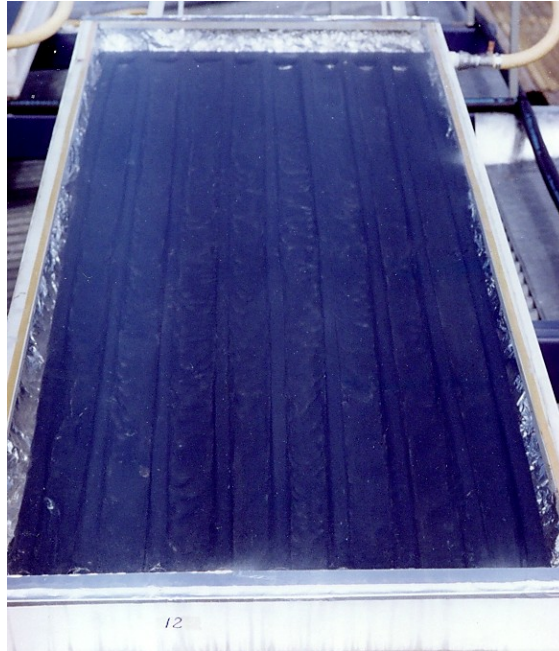


Fig. 2 b: UN Colector Solar del tipo plano.

COLECTORES CONCENTRADORES:

Son de tipo parabólico (Fig. 3a/ Foto 3b) capaz de dar temperaturas entre 500-2000 °C o tipo cilíndrico (Fig. 4a/ Foto 4b) el cual puede generar temperaturas entre 200 a 500 °C, ambos con una eficiencia de 30- 50%

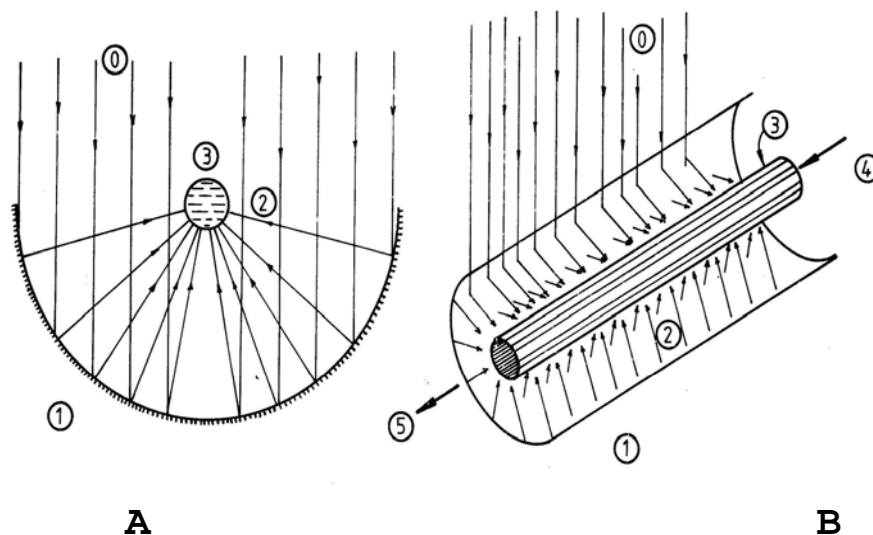
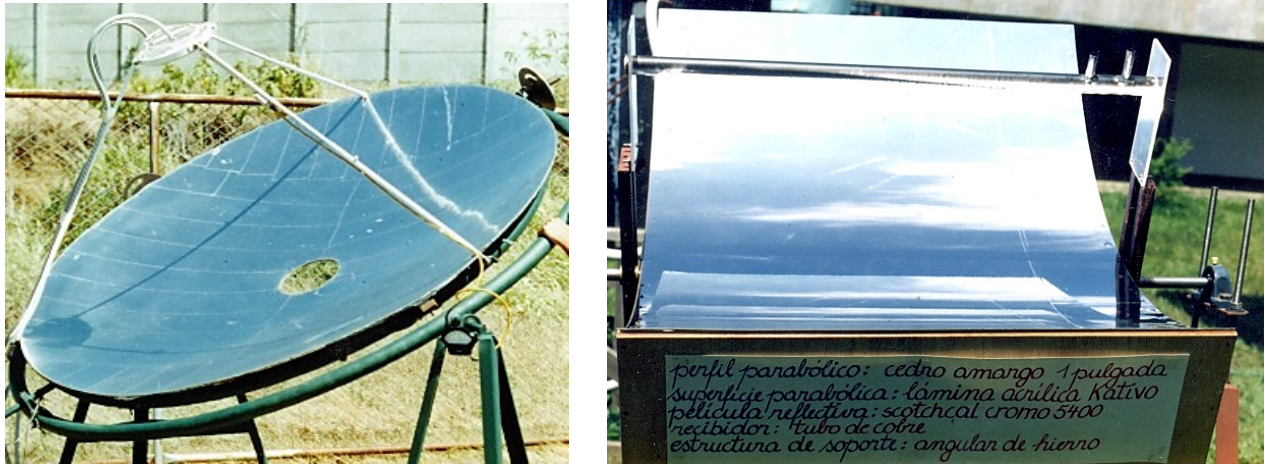


Fig. 3: Colectores Parabólicos (A) y Cilíndrico (B)

- 0- Rayos Solares
- 1- Reflector
- 2- Rayos Reflejados
- 3- Recipiente metálico
- 4- Entrada del fluido frío
- 5- Salida del fluido caliente

Esto tipos de colectores usan en su confección materiales altamente reflectivos, tales como papel aluminio, un espejo o acero inoxidable etc. Aquí solo la componente directa de la radiación solar que cae sobre el superficie reflectora

es reflejada concentrándose los rayos en un único punto (en colectores parabólicos o de tipo lupa) o en una línea (en colectores cilíndricos).



A **B**
Fig. 4 Colectores- Parabólicos (A) y Cílicndrico (B).

En los focos se colocan un tubo metálico, la parte exterior es pintada de negro. De nuevo para disminuir la pérdida de energía, el tubo negro ésta rodeado por un cobertor de vidrio (preferiblemente bajo vacío pero no indispensable). El calor neto recolectado aquí es transferido al fluido que circula dentro del tubo (en el caso colector cilíndrico) o un recipiente (en el caso de colector parabólico).

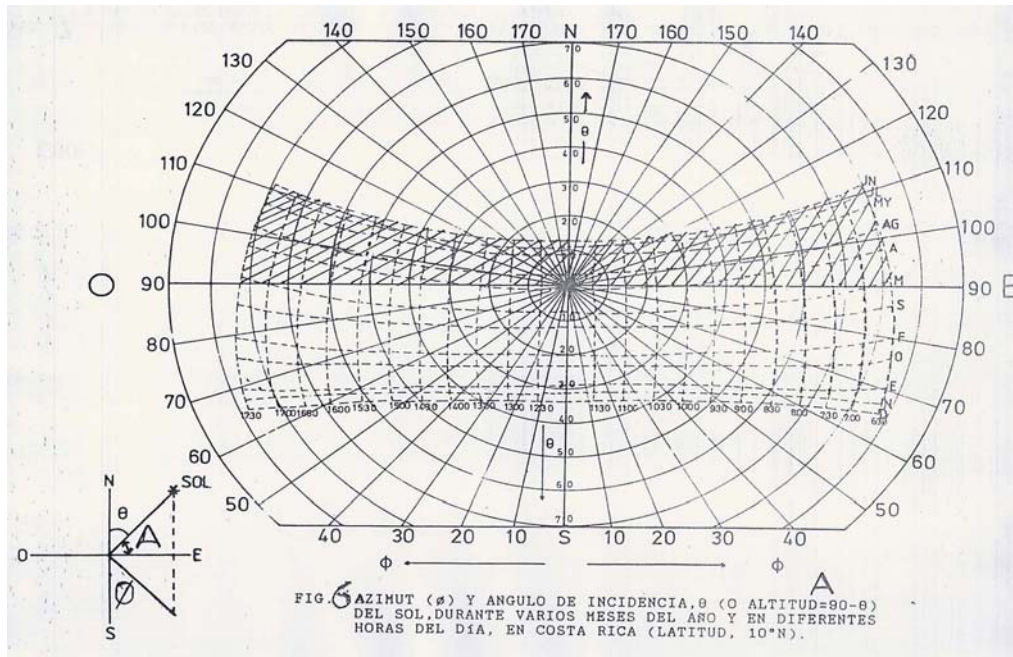
Debido a que existen algunas limitaciones como: la vida del material de reflexión y refracción, más cantidad de la radiación difusa en Costa Rica, etc. los colectores concentradores son preferidos para aplicaciones donde se necesita alta temperatura o específicamente donde no se puede usar los colectores planos. En otro lado por sus costos, fácil de fabricar y usar, los colectores planos son más recomendable para las mayorías de las aplicaciones. Por lo tanto solo informará sobre estos tipos de captadores.

5. UBICACION DE LOS CAPTADORES:

Dependiendo de aplicación todo el colector está puesto al techo del edificio o en el patio donde quiera, para recibir máxima la radiación solar. Además es necesario evitar la presencia de obstáculos (edificaciones, árboles u otras estructuras etc.) en la línea de incidencia de los rayos solares.

La Figura 6 muestra la trayectoria aparente del Sol sobre Costa Rica (latitud de 10 grados Norte), indicando ángulo de incidencia y azimut del Sol, durante diferentes horas del día y diferentes meses del año. Para fines prácticos este dibujo se puede usar para todos los países de Centroamérica.

En relación con la ubicación de los captadores, aunque es muy recomendable que los colectores se ubiquen de manera tal que los rayos solares inciden perpendicularmente sobre ellos usando la Figura 6, pero no es siempre posible mover el colector/ captador para satisfacer esta condición. En mayorías de los casos el colector va estar fijado a una estructura.



Con el fin de obtener el máximo provecho energético anual, en Costa Rica, el ángulo promedio recomendado para un colector es cerca de 15 a 20° respecto a la horizontal durante todo el año, (hacia el Sur) excepto en el caso de sistemas pequeños, los cuales pueden orientar cada mes, diariamente o horario.

En la realidad el calor así obtenido, sea por un colector plano o por un colector concentrador, puede ser utilizado con un arreglo apropiado para varios usos, como se explico anteriormente. Ahora hablaremos en breve las aplicaciones más importante para Costa Rica y muchos países en vías de desarrollo. Aparte tenemos otros folletos para fabricar algunos de estos dispositivos.

6. CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA:

Agua caliente se necesita para varios fines, como aseo personal, uso domestico, en lecherías, ganadería, restaurantes, hospitales, hoteles, lavanderías, embotelladoras y centros de recreación etc. En general existen dos tipos de calentadores de agua.

SISTEMA INTEGRADO:

Aquí la colección de la energía solar y almacenamiento de energía calorífica (en forma de agua caliente) se hace en la misma unidad (Fig. 5 a y Foto 5b).

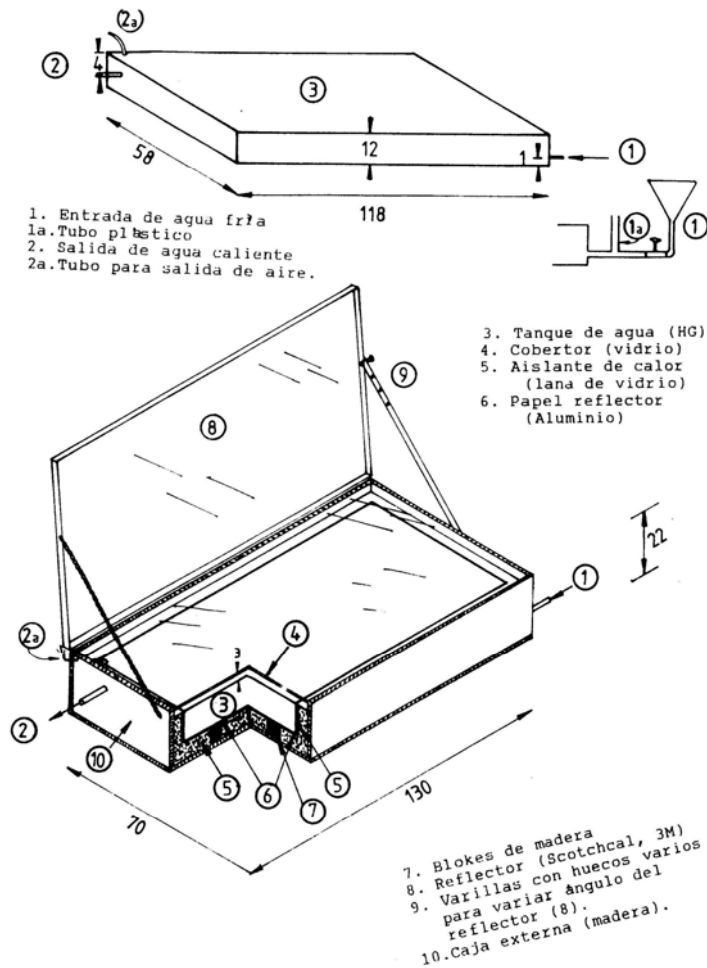


Fig. 5a: Esquema de un Calentador Solar de Agua: Todas las dimensiones son en cm.

Como se muestra en la Figura 5a este tipo de calentador consiste en un tanque de hierro negro (118 X58X12 cm, calibre 18) con un tubo de entrada de agua fría y otro tubo de salida de agua caliente. Con el fin de aumentar la absorción de los rayos solares la parte superior de este tanque está pintada de color negro mate. Una vez que la lamina metálica absorbe la radiación solar, esto se calienta. Para reducir la perdida de calor por conducción hacia al fondo y partes laterales, se coloca el tanque dentro de una caja de madera (o metal) y el espacio (laterales y el fondo) entre el tanque de hierro y caja están llenos con lana de vidrio como aislante de calor (5-6 cm, laterales y fondo).

Para minimizar la perdida del calor, la parte superior de la caja tiene un vidrio transparente (3 mm) como cobertor y el espacio entre la parte superior del tanque y el cobertor es de 3 cm. Para aumentar la radiación sobre el colector, colocamos un reflector (papel aluminio, espejo o acero inoxidable etc.), el cual puede variar su ángulo con respecto al colector.

La Foto 5b muestra el sistema de este tipo de calentador. El reflector además de aumentar la radiación solar tiene otra ventaja, la de minimizar la perdida de calor en la noche o en época lluviosa (tapando el colector con el reflector). La temperatura de agua puede alcanzar entre 30-50 °C dependiendo del clima.



Fig. 5b: Calentador solar de agua- sistema integrado (Pasivo).

SISTEMA DE CIRCULACION NATURAL:

Este tipos tienen separados los sistemas de captación de la energía solar y de almacenamiento del agua caliente (Fig. 7a, Foto 7b).

La Figura 7a indica un esquema del calentador que funciona sin bomba para la circulación de agua. La Foto 7b muestra un calentador solar. El colector plano (mencionado anteriormente), se coloca mirando hacia el sur con una inclinación de 15-20° respecto a la horizontal. Los tubos del colector por los que circula el agua, se colocan longitudinalmente de manera que el agua fría (la cual proviene de un tanque, ubicada encima de los colectores) entra por la parte baja y una vez que se calienta por la radiación solar, sale por la parte superior del colector debido a su menor densidad. Dicho proceso (de entrada y salida de agua) continúa hasta que haya una cantidad mínima de la radiación solar. De esta manera, el agua caliente se acumula en el tanque, la cual puede ser utilizada cuando y donde exista la necesidad.

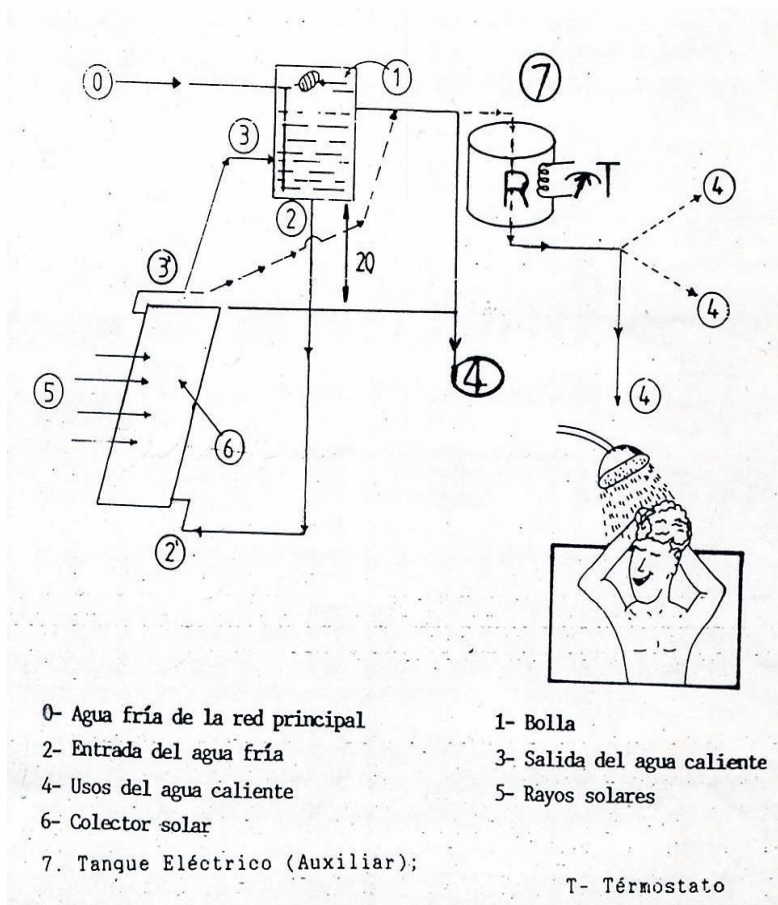


Fig. 7a: Calentador solar- Uso domestico (termosifón/ circulación natural).

Temperatura alcanzada por una sistema solar depende de la cantidad de agua que necesite calentar, área del sistema y el clima del lugar; sin embargo nuestros estudios nos permiten afirmar que con 1 m² de un colector plano, en el clima de varios lugares de Costa Rica, se puede calentar un promedio de 60-75 litros de agua, diariamente, aumentando su temperatura de 20° (en la mañana) hasta 50-55 °C a las 5 pm. Durante la noche el agua del tanque pierde calor equivalente 0.5-1.5 °C por hora, dependiendo del velocidad de viento, temperatura ambiente y grueso del aislante.

Debido a que la radiación solar no es siempre suficiente para calentar agua a la temperatura necesaria, todo los días durante el año, es recomendable interconectar el sistema solar con un sistema convencional de calentamiento de agua (e.g. tanque eléctrico o gas pero con termostato). En este sistema, el agua precalentada por la energía solar, pasa al tanque auxiliar donde termina de alcanzarse la temperatura requerida, con el uso de fuente convencional. Por lo tanto con el sistema mixto se puede asegurar una temperatura predefinida, pero siempre economizando el uso de la energía convencional (Fig. 7b) en el país ya existen varios sistemas para calentar agua en las casas, hoteles, piscinas.

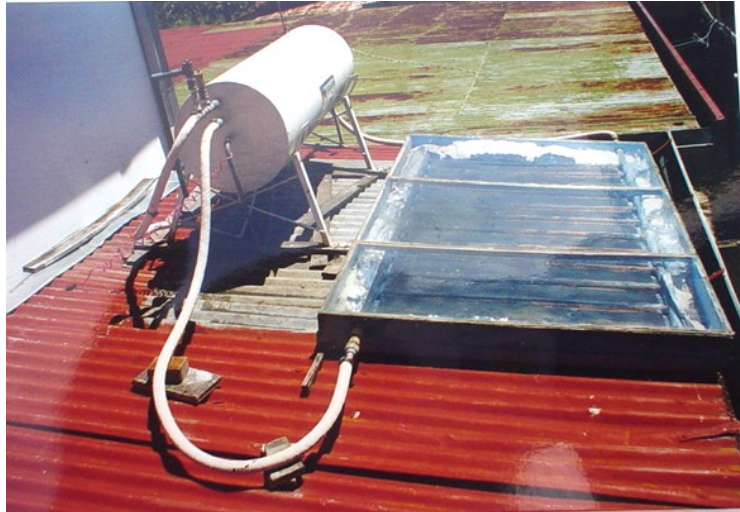


Fig. 7b: Calentador solar de agua para uso familiar, (termosifón) de 2 m², instalado en la casa del autor

Para los sistemas grandes, como hospitales, hoteles etc., donde no es siempre posible colocar el tanque encima de los colectores (requisito muy necesario para la circulación natural), se puede usar una pequeña bomba para la circulación del agua (circulación forzada). En este caso los colectores se pueden ubicar encima del techo y el tanque puede colocar algún lugar dentro del edificio.

Un calentador solar de agua de 2m² en una clima normal de Costa Rica (1500 kWh/m²- año) puede ahorrar cerca de:

2250 kWh de electricidad o
3870 kg de leña o
830 kg de carbono o
220 kg de gas butano ANUALMENTE

Esto puede reducir la emisión de 0.5-1 tonelada de dióxido de carbono y 55 kg del otros productos contaminantes, SO₂, CO, NO_x. por año, dependiendo del tipo de fuente convencional usados.

Aunque los calentadores solares, están en usos prácticamente en todos los países del mundo a diferente escala, pero países como Cipre, Israel y Grecia, ocupan primeros 3 lugares en sus usos por capita. En Cipre, un país pequeño (población 650,000) esta usando cerca de 190,000 calentadores solares de agua (área total de 560,000 m², datos año 2000). Esto equivale 0.86 m²/ persona.

En Costa Rica, varias casas particulares. cabinas, hoteles (como Hotel Fiesta, Hotel del Sur, Hotel América, Playa Tambor,), empresa como Deproma etc. utilizan o han usados energía solar para calentar agua.

7. HORNO-COCINA SOLAR:

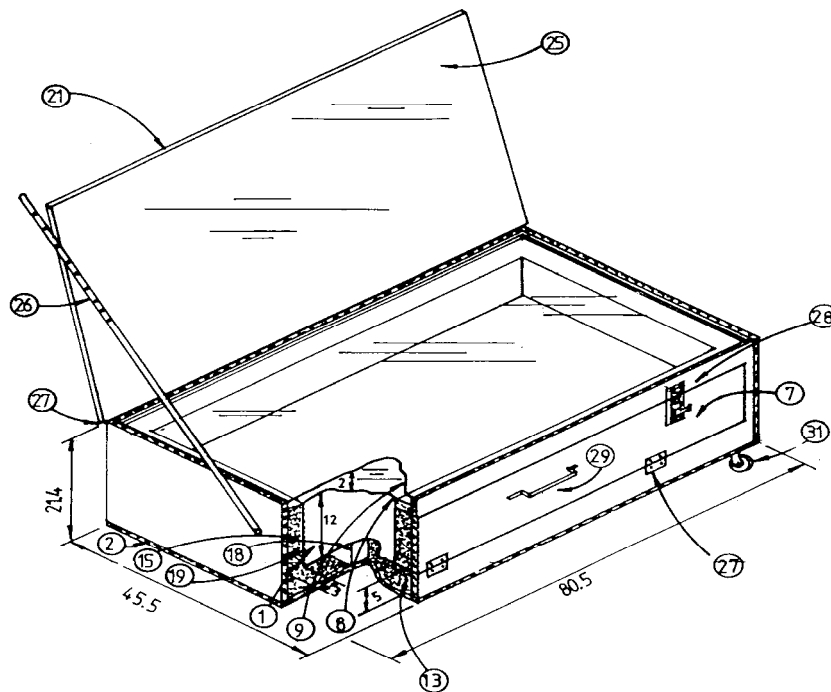
De la energía que consume una casa, un gran porcentaje (del 30 al 90 por ciento) se emplea para cocinar alimentos. En el caso particular de Costa Rica donde el 35-40 % de la población a nivel nacional todavía usa leña para cocinar los alimentos el cual es parcialmente responsable para deforestación y muchas personas quienes no tiene capacidad para comprar leña, están obligado a caminar cada día más distancia para conseguir esta fuente contaminante de energía.

Ahora explicaré en breve el procedimiento para la construcción de un horno

solar, diseñado y estudiado, por el autor por primera vez en Costa Rica, a principios de 1979, con materiales y tecnología nacional. Fue patentado a nombre de la Universidad Nacional en 1984, la cual en su versión mejorada sigue funcionando satisfactoriamente.

Consiste en una caja de madera (Fig. 8 a) con doble vidrio plano en la parte superior, separadas por una distancia de 2 cm. Dentro de la caja hay una lamina metálica de hierro galvanizado (calibre 20- 24) pintada por la parte superior, de negro mate. La radiación solar después de ser absorbida por la lamina negra, es transformada en energía térmica, sin embargo, como el ambiente se encuentra a una temperatura inferior a la placa, ésta comienza a perder la radiación, aunque sólo en la región del infrarrojo (calor).

Para reducir las pérdidas de energía en la parte posterior y lateral de la lamina, hemos usado un aislante de calor; lana de vidrio, en la parte del fondo una capa de 5 cm, y a los lados de 3.8 cm. Además dicho aislante esta forrado con papel aluminio en todo el perímetro y abajo de la lámina con el fin de minimizar la pérdida de la energía y también para protegerlo de (cualquier) humedad proveniente de los alimentos.



1- Lámina metálica (#24); 7- Puerta para introducir y sacar los alimentos; 8,9- Vidrios transparentes (3 mm); 13,15- Lana de vidrio; 19- Papel aluminio; 25- Reflector, 26- Varilla para ajustar el reflector (N-S); 31- Rodines para orientar el Horno (E- S).

Fig. 8a: Estructura del un Horno Solar Convencional.

Para reducir las pérdidas de energía por la parte superior, la fachada del colector se cubre con dos vidrios transparentes (tipo ventana), como ya se ha mencionado anteriormente. Dichos vidrios permiten la penetración de la luz solar, pero impiden el escape de la radiación infrarroja de la placa metálica. Es muy importante sellar los vidrios (interior y exterior), en todo su perímetro contra la caja de madera, con el fin de evitar fugas de calor o entradas de agua

de lluvia.

Para aumentar la radiación sobre la placa usamos un reflector de papel aluminio (preferiblemente metálico), pegado a la lamina de plywood fuera de la caja. El reflector, como en el caso de calentador de agua, además de aumentar la radiación solar durante el período de cocción también sirve para tapar el horno con el fin de mantener la comida caliente una vez se hayan cocinado los alimentos, y no se desee comer todavía.

Dicho reflector puede variar su ángulo con respecto a la horizontal usando una varilla con varios huecos. Además el horno puede orientarse hacia el Sol (este-oeste) usando rodines al fondo de la caja exterior. En la parte frontal de la caja existe una puerta, forrada (en la parte interior) con lana de vidrio y papel aluminio; para introducir y sacar los alimentos.

La Foto 8b muestra un modelo típico de horno solar usado por el autor. El tiempo de cocción depende de la cantidad de radiación solar, temperatura del ambiente, velocidad del viento, calidad y cantidad de los alimentos, y orientación del horno etc. Aunque los resultados detallados se pueden observar en otros folletos más completos, sin embargo en un día normal, la temperatura de la placa metálica puede alcanzar hasta 100- 150 °C.



Fig. 8b. Horno/ Cocina Solar.

Dicho horno de área 0.25 m² cuesta cerca de 10,000- 12,000 colones (US\$25-35), en materiales solamente y se puede cocinar una comida para 4-5 personas en 2-3 horas y dos comidas para la familia con 4-5 horas de brillo solar.

El autor y su esposa han cocinado durante los últimos veinte tres años, alimentos como: arroz, frijoles, varios tipos de lentejas y legumbres (garbanzos, arveja amarillas, arveja verde, fríjol de soya, etc.), papas, zanahorias, vainicas, coliflor, ñampí, yuca, remolacha, rábanos, ayote, huevos, pollo, carne de res, cerdo, pescado, pan, queque, pizza etc.

ALGUNAS VENTAJAS/ LIMITACIONES DEL HORNO SOLAR:

i. Es barato, cómodo y puede ser construido fácilmente usando materiales

disponibles en el mercado local y con tecnología sencilla.

ii. Aparte de usarse para cocinar y hornear todo tipo de alimentos también se puede calentar agua para pasteurizar, hacer café y secar frutas.

iii. No produce humo, ceniza, no contamina la atmósfera, por lo que contribuye a mantener la buena salud.

iv. Cocinar con un horno solar necesita menos agua y grasa, se pierde menos vitaminas, mantiene los minerales etc.

Un horno solar de tamaño familiar (0.25 m²), utilizado 7 meses al año, puede ahorrar cerca de 1200 kWh de electricidad o 650 kg/año de leña por familia.

Dicho horno solar como cualquier otro artefacto que usa fuentes no convencionales de energía, tiene sus limitaciones:

i. Cocinar los alimentos lleva relativamente más tiempo, por lo tanto no se puede usar cuando se necesita comida de urgencia.

ii. No se puede freír los alimentos.

8. SECADOR SOLAR:

El secado es el proceso comercial más utilizado para la preservación de la calidad de los productos agrícolas/ forestal o marino. La finalidad del secado es la separación parcial del agua contenida en la materia sólida. Cuando los productos se secan (deshidratán) hasta el 14-20%, mediante alguna técnica adecuada, se disminuye sensiblemente su actividad respiratoria y se controlan los microorganismos asociados, lo que permite el almacenamiento del producto (bien cerradas) en el ambiente por un período de uno hasta dos años.

El secado de volúmenes comerciales de granos se lleva a cabo en Costa Rica por combustión de diesel y de desechos biomásicos. El uso del diesel se está haciendo siempre más oneroso para la agro industria del país, debido a continuas alzas en su precio, y el uso de la biomasa muchas veces presenta problemas de abastecimiento por su escasez.

Aparte del secado natural, en el espacio abierto, (el cual consiste en la exposición de la materia húmeda a las corrientes naturales de aire y a los rayos solares); se usan dos métodos de secado con energía solar.

CIRCULACION NATURAL: El sistema más sencillo de secado solar es el que se hace en forma de gabinete. La Figura 9 a muestra un esquema para sistema de secadora de este tipo, el cual consiste en una caja de madera/ metálica, cuyo fondo está aislado y tiene un cobertor de vidrio inclinado, el cual está dispuesto sobre la caja para recibir la radiación solar. En la base de este gabinete se coloca una lámina metálica pintada de negro. Los materiales para secar se ponen en bandejas perforadas, por una puerta que se encuentra atrás de la caja. Se hacen varios huecos en la base, la parte superior y lateral. Los huecos en la parte del fondo y lateral son para la entrada de aire ambiental y salida de aire húmedo, de modo que el aire húmedo y caliente pueda desprenderse por huecos de la parte superior. Así hay un continuo flujo de aire sobre el producto a secar. Por la absorción de la radiación solar el aire se calienta y quita la humedad de los productos. Cuando el contenido de humedad del producto ha descendido a un valor predeterminado, se retira del secador.

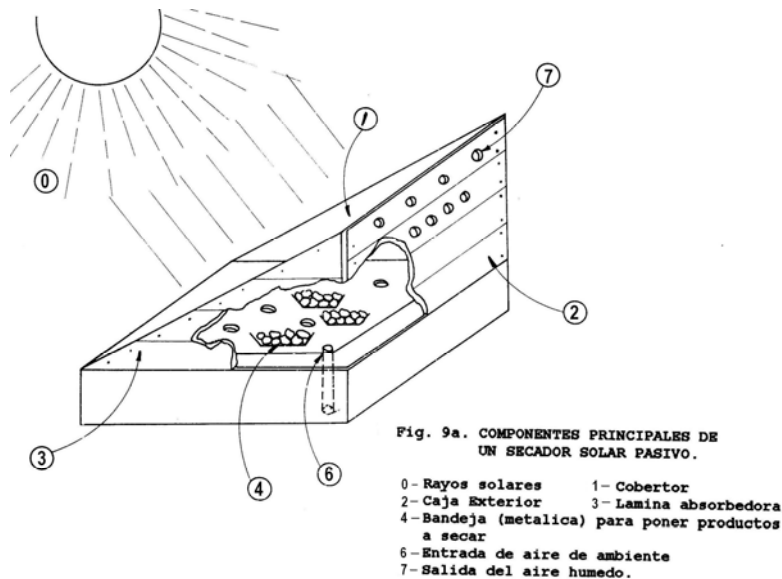


Fig.9a. Componentes principales de un Secador Pasivo.

La Foto 9b muestra un modelo diseñado y estudiado en 1991 por el autor y Otoniel Fernandez en la Universidad Nacional. Dependiendo de la radiación solar, la temperatura del gabinete puede llegar a 50-70 °C. Casi todos los productos pueden secarse con esta secadora; que resulta útil, sobre todo, al campesino/ nivel casero, que producen a baja escala.



Fig. 9b. Secador Solar Pasivo.

CIRCULACION FORZADA:

En el sistema explicado anteriormente (circulación natural) la temperatura dentro del secador no puede controlar el cual puede tener desventaja con algunos productos. Para resolver este problema se usan un pequeño ventilador para extraer/ cambiar el flujo de aire húmedo (Circulación forzada). Foto 9c muestra modelo de este tipo diseñado e estudiado en 1994, por el autor en colaboración con los estudiantes (Magdalena y Asa) de Suecia.



Fig. 9c. Secador solar tipo activo (parcialmente) con un abanico (parte atrás).

En otros tipos de secadores solares para usos en las cooperativas o pequeños o grandes industrias, los colectores para calentar el aire y cámara para poner granos están en diferentes unidades. Con el fin de aumentar el flujo de aire se usa una bomba o un extractor de aire, el cual por lo tanto aumentará el rendimiento del secador.

La velocidad del secado, ya sea natural o artificial, depende de los factores internos y externos. Los factores internos son, sea en el caso de madera (como ejemplo), la especie, el tipo, el espesor de madera, y el contenido de humedad inicial y final. Entre los factores externos están la intensidad solar, temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad o circulación del aire etc.

Para dar una idea, con una secadora de 1 m² y con una radiación solar de 3.5 kWh/m²-día, se puede secar en tres días, 20-30 Kg de granos con humedad inicial de 40-50% hasta 10-15%.

9. DESTILACION DEL LIQUIDO:

En Costa Rica, a lo largo de nuestras costas, hay un elevado número de comunidades que carecen de agua potable. También varias familias dentro de la ciudad no tienen agua de buena calidad. En estos casos es necesario recurrir a la purificación del agua, que es sumamente caro debido a los altos costos, tanto de los combustibles como del transporte. Es en este sentido que la destilación solar se presenta como una alternativa atractiva: ya que, la demanda energética es en forma de calor de baja temperatura (40 - 60 °C). Utilizando la radiación solar y una tecnología, relativamente sencilla, es posible obtener la evaporación del agua de mar o agua del pozo. En la condensación se produce agua potable dejando el producto sólido, que es la sal de cocina (NaCl) mezclada con los cristales de otras sales.

Las Figura 10a y Foto 10b muestran esquemas simplificados y modelos actuales de sistemas diseñado y estudiados por el autor.

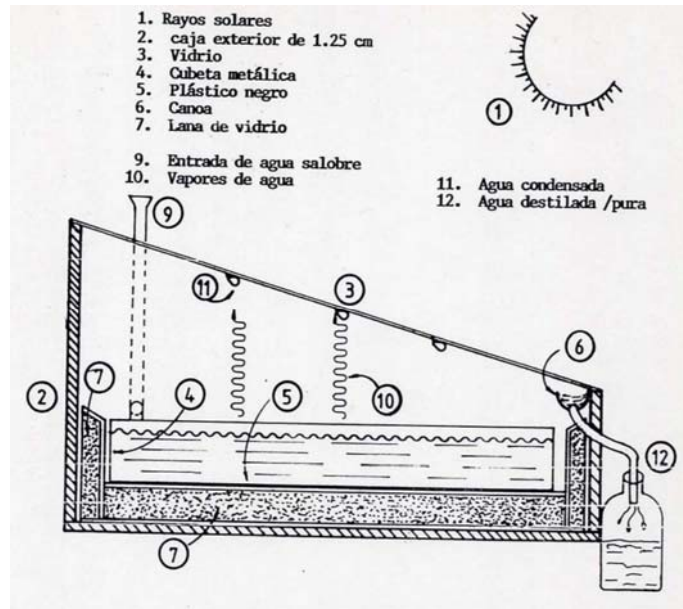


Fig. 10a. Esquema del un Destilador Solar.



Fig. 10b. Un Destilador solar con una àrea de 1 m².

El agua salada entra en la cubeta, situada en el fondo, donde se calienta por la absorción de la radiación solar. Se ha pintado la cubeta con pintura negra mate, para facilitar este proceso, ya que el agua es prácticamente transparente para las radiaciones de onda corta procedentes del sol.

Conforme aumenta la temperatura, el agua comienza a evaporarse. El aire húmedo, más caliente, asciende hasta la cubierta, más fría, en cuya superficie, parte del vapor de agua se condensa, se desliza hacia abajo y cae goteando en el canal destinado para recoger el agua, dejando la sal o algún otro minerales en la cubeta.

Un destilador de 1 m² de área de absorción puede destilar entre 3-5 litros de agua por día. Aunque la primera destilación elimina varios minerales, si fuera necesario se puede destilar una vez más, con el fin de usar el agua en laboratorios o en las baterías etc. Si es necesario también puede agregarse otros minerales necesarios para la bebida, aunque la comida puede ofrecer varios minerales perdidos por la evaporación.

10. OTRAS APLICACIONES:

En forma semejante energía solar puede utilizarse para otros fines como calefacción, acondicionamiento de edificios, refrigeración, invernaderos, bombeo de agua para tomar o irrigación y hasta para producir electricidad por medio de efecto termo-eléctrico (Energía Solar ---> energía calórica ----> energía mecánica -----> Energía Eléctrica).

11. CONVERSION DIRECTA DE LA ENERGIA SOLAR EN ELECTRICIDAD:

La radiación solar se puede transformar directamente en electricidad (efecto fotovoltaico) por medio de aparatos, celdas solares o pilas solares, los cuales son semiconductores puros dopados con cantidades diminutas (1ppm) de otros elementos. Varios conductores pueden emplearse, pero se prefiere el de silicio por razón de abundancia, costo (~US\$10/Watio), y principalmente por estabilidad y rendimiento (~10-15%). Es decir la electricidad producida por una celda solar de 1m², la cual está expuesta a radiación solar de 1000 Watios/m², será de 100 Watios.

Una celda solar típica está formada por dos capas delgadas de silicio, cada una de ellas con un alambre (+ y -) incorporado cuyo extremo sale al exterior.

En una de las capas, algunos de los átomos de silicio están reemplazados por átomos de fósforo (formando negativo o tipo N) y en la otra, por átomos de boro (formando positivo o tipo P). La unión entre dos capas crea una diferencia de potencial. La luz solar o visible induce a los electrones libres a moverse por el alambre de la capa tipo N hacia la capa de tipo P, con lo que se produce una corriente eléctrica (Fig. 11a). Cada celda de silicio produce cerca de 0.58 voltios y varias celdas pueden conectarse eléctricamente en serie y/o paralelo, para formar un módulo (con mayor voltaje o mayor corriente), que es una unidad básica de los sistemas eléctricos solares.

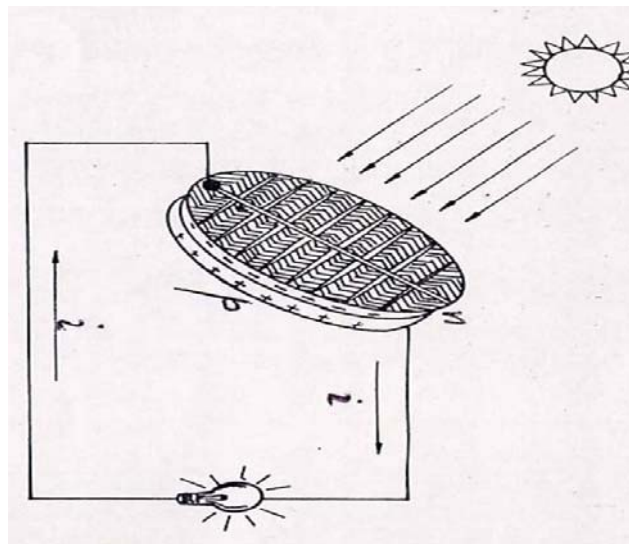


Fig. 11 a. Principio de un celda solar para la conversión directa

de energía solar en electricidad.

Por la acción de la energía solar sobre la celda solar la corriente producida es almacenada en baterías, para utilizar esta energía después de la hora del sol.

La Tabla 6 indica la corriente y la potencia máxima consumida por varios dispositivos comunes usados en la casa.

Tabla 6. Corriente pasado en varios artefactos (12 Voltios).

Artefactos	Potencia (Vatios)	Corriente máxima (Amp)
Luz Fluorescente	20	1.2
Televisor (B y N, 12")	20	1.4
Grabadora	35	2.5
Bomba de agua (100 lph)	35	2.6
Teléfono	13	1.0
Refrigeradora	100	5.0

Dependiendo de la capacidad del almacenamiento de la batería y utilizando la Tabla 1 se puede calcular el tiempo aproximado de funcionamiento de varios dispositivos y el área necesaria del panel solar para usos específicos.

Una instalación, además requiere controlar del voltaje, mediante un regulador, y dirigir la corriente hacia una batería, para almacenarla. Como la corriente eléctrica producida es directa, es necesario, para algunas aplicaciones, un inversor para convertirla en corriente alterna.

La Figura 12 muestra un esquema completo para la utilización de la panel solar y la Foto 13 muestra varios artefactos pequeños, que utilizan las celdas solares para su funcionamiento, e.g., cargador de baterías, alumbrado etc.

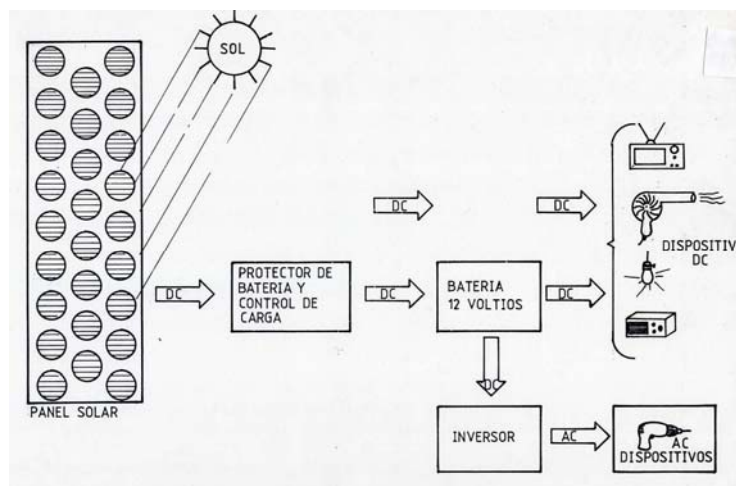


Fig. 12. Esquema para utilizar celdas solares.

Las celdas solares fueron usadas al principio para las aplicaciones espaciales y

ahora han ganado mercado terrestre, para iluminación, en bombeo para sistemas de abastecimiento de agua potable, sistema de irrigación, telefonía rural etc.



Fig. 13. Algunos artefactos (Foco, Cargador de Baterías, Radio, Micro Onda, TV, Cafetera Etc.), que usan electricidad solar para su funcionamiento.

Aunque en los últimos años el costo de las pilas han reducido en un 200- 300%, para lugares normales sus instalaciones resultan todavía caras, pero ciertamente competitivas cuando no existe otra forma de suministro de energía eléctrica. Además, se espera que con el desarrollo comercial de las células su costo se reducirá.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) ha instalado 2210 paneles solares FV en comunidades alejadas del país para que disfruten del servicio eléctrico. (Revista Metropolitana, No. 2, Año 6, 2000).

Hasta el año 1999, nivel mundial han instalados FV cerca de 900 MW y actualmente crece 200 MW cada año.

Combinando varios artefactos donado por el Gobierno de India en 1998, y otros comprados y contruidos, por nosotros hemos equipado una CASITA SOLAR (40 m²) dentro del nuestro parque solar, cuya todas la necesidades energéticas (Calorica y Eléctrica) es cubierta por energía del Sol (Foto 14). Esto servirá para fines Investigación y Divulgación.



Fig. 14. Casita solar equipada con varios artefactos solares (térmicos Y eléctricos).

12. ALMACENAMIENTO DE ENERGIA SOLAR:

Debido a que la energía solar es una fuente energética dependiente del clima, es necesario implementar su almacenamiento en forma de calor (y/o electricidad), para su posterior utilización. Para almacenar energía solar en forma de electricidad, se usan baterías- normales, selladas o de ciclos profundos. Tamaños/ números de las baterías se pueden calcular por base de consumo diario y la capacidad de cada batería etc.

En la actualidad el almacenamiento inter estacional de calor, es decir almacenamiento del exceso de calor producido en verano para ser utilizado en invierno, es económicamente impracticable, aunque existen casos de este tipo por lo menos en Suecia. En cambio es posible almacenar calor de 2 o 3 días para que el sistema pueda vencer 1 o 2 días ausencia total de entrada de radiación.

Los depósitos de calor más utilizados se basan en la capacidad térmica (calórica) de varios materiales.

El agua es una de las sustancias que tienen mayor capacidad calorífica por unidad de volumen; por eso se emplea como medio para almacenar calor. Cuando se trata de almacenar el calor transportado por una corriente de aire caliente, los depósitos de rocas o grava (piedrin) 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.

Otra forma de almacenamiento de calor es mediante el calor latente (necesario o liberado durante cambio de fase) de la cristalización de algunas sustancias. Las sustancias más frecuentemente utilizadas son ciertos hidratos de sales inorgánicas, de bajo punto de fusión (sales eutécticas).

La sal comúnmente usada, el sulfato de sodio $\text{Na}_2 \text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (conocida también como Sal de Glauber), 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.

Tabla 7 muestra la capacidad de almacenamiento de calor por algunos materiales comunes.

Tabla 7: La capacidad de almacenamiento de calor por algunos materiales comunes.

Material	Densidad kg/m ³	Capacidad Calorica kcal/m ³ °C.
Agua	1000	1000
Concreto	2254	518
Piedra	2737	574
Ladrillo	2254	450
Aire	1.20	0.29

Como un ejemplo, en el intervalo de temperatura de 27 a 38 °C, un metro cúbico de esta sal puede almacenar 95,000 kilo calorías. En comparación, misma cantidad de agua puede almacenar solamente 11080 kilocalorías y de roca sólida solo almacena 6412 kilo calorías de energía.

13. CONCLUSION:

Hemos informado en breve algunos conceptos básicos para el aprovechamiento de Energía Solar. Con esta información y su imaginación puede diseñar los sistemas para sus necesidades y hasta permite pensar otras utilidades.

Asumiendo la radiación solar promedio de 1500 kWh/m²-año, un colector plano de 2 m² (de venta más común a nivel mundial) con un rendimiento térmico (η) de 60%, puede ahorrar siguientes cantidades de fuentes convencionales (por año):

Leña 4000 kg (valor calorífico de 16.7 MJ/kg, η = 10%)
 Carbon 830 kg (valor calorífico de 26.0 MJ/kg, η = 30%)
 Bunker 350 lts (valor calorífico de 37.9 MJ/lt, η = 50%)
 Electricidad 2250Kwh (valor calorífico de 3.6 MJ/Kwh, η = 80%)

Con base en estudios se llega a la conclusión de que adaptando dicha utilización a nuestra tecnología y sin necesidad de importar sofisticada y cara de otros países, podemos economizar un gran porcentaje del consumo de energía en nuestro país. Lo que se debe aclarar es que no vendrá la energía solar a sustituir en un cien por ciento las otras fuentes de energía, pero sí puede servir de complemento a las otras fuentes energéticas.

Laboratorio de Energía Solar está dispuesto a brindar ayuda de carácter asesoría o charlas/ talleres al individuos particulares, las empresas o ONG's etc .

AGRADECIMIENTO:

El autor agradece sinceramente señores Eliecer Madrigal, Carlos Delgado, Hugo Martinez, Marvin Alpizar, Sylvia Marín, Otoniel Fernandez, Rafael Ramírez, Ludmila Semionova, William Alfaro, Alexander Mora y Lisandro Hernandez para colaborar en diferentes fases de la construcción e estudios.

BIBLIOGRAFIA- ALGUNOS ARTICULOS PUBLICADOS POR EL AUTOR:

RADIACION SOLAR:

1. Análisis de los datos sobre la Radiación solar para su aprovechamiento en Costa Rica. Presentado en el Seminario Sobre Energía en Centroamérica:

Situación actual y Perspectivas, organizado por Confederación Universitarias Centroamericanas, (CSUCA), San José, Costa Rica, del 21 al 25 de Noviembre de 1983. Publicado en la memoria, pp. 1-16.

CALENTADORES DE AGUA:

1. Study of two different types of Solar water heaters in the climate of San Jose, Costa Rica, Presentado en '198 International Symposium on Solar Energy Utilization', University of Western Ontario, London, Canada. Aug. 10-24, 1980. Publicado en Solar Energy Conversion II, Pergamon Press, 1980, pp. 157 (Solo abstract).

2. Calentadores Solares de Agua- Sistema Circulación Natural, Folleto popular- Teoría, Construcción y Experimentación, Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1992, pp. 33. (*DETALLES PARA LA CONSTRUCCION*).

3. Calentador Solar de Agua- Sistema Integrado, Folleto Popular, Teoría, Construcción y Experimentación, Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1992, pp. 27. (*DETALLES PARA LA CONSTRUCCION*)

4. Comparative study of two thermosyphon Solar Water heaters in the climate of San Jose Costa Rica. Presentado en 'Solar World Forum' Brighton, England, August 23-28, 1981. Publicado en 'Solar Technologies in the eighties', Ed. David O Hall and June Morton, Vol.1, pp.63-68, 1982 (Pergamon Press).

5. Economic analysis of two domestic solar hot water systems in the climate of four different places of Costa Rica. Presentado en 'International Conference on Passive and Low Energy Eco- techniques applied to housing' organizado en Mexico, por PLEA, del 6 al 11 de Agosto de 1984. Publicado en memoria, (Pergamon Press), 1984. Vol. 2, pp. 968- 978.

COCINAS/ HORNOS SOLARES:

1. Study of a cheap Solar Oven in the climate of San Jose, Costa Rica, Presentado en '1980 International Symposium on Solar Energy Utilization', University of Western Ontario, London, Canada. Aug. 10-24, 1980. Publicado en Solar Energy Conversion II, Pergamon Press, 1980, p. 488 (Solo abstract).

2. Horno/ Cocina Solar, Patente, Shyam S. Nandwani y Universidad Nacional, Costa Rica, 1984.

3. Estudio Experimental y Teórico de un Horno Solar práctico en el clima de Costa Rica-II. UNICIENCIA, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, Vol.3, No.1 y 2, pp.49-58. 1986.

4. Experimental and Theoretical analysis of simple solar oven Technology', Pergamon Press, Vol.5, No.2, pp.159-170, 1988.

5. Cocina/ Horno Solar -Folleto- Teoría, Construcción y Experimentación, Laboratorio de Energía Solar, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, pp. 30, 1992. (*DETALLES PARA LA CONSTRUCCION*).

6. Libro-El Horno/Cocina Solar, Hagalo Usted Mismo, Construcción, Funcionamiento y Las Recetas. Pagina 100, Editorial FUNDACION UNA- Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 1993, 2004. (*DETALLES PARA LA CONSTRUCCION*).

7. Solar Oven-Can it be mass Popular, con Rafael Ramirez, Presentado en el Conference on Applied Optics in Solar Energy- Prague, Czechoslovakia, 2 al 6 de Octubre de 1989. Publicado en AOSE proceeding, 1990, pp. 101-109.

8. Comparative Study of Conventional and SBCI Card board Solar Ovens, con Otoniel Fernandez Gomez, Renewable Energy Journal (Pergamon Press), Vol. 3, No. 6/7, pp. 607- 620, 1994. USA.
9. Aspectos General de la Cocción- Estudio Preliminar I, con Luidmilla Seminova, presentado en Second World Conference on Solar Cookers- Use and Technology, organizado en Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, del 12 al 15, de Julio de 1994 . Publicado en la Memoria, Abril 1995, pp. 58- 70.
10. From Cheap/Simple Three stones to Expensive/ Advanced Convective Cookers, presentado en Second World Conference on Solar Cookers- Use and Technology, organizado en Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, del 12 al 15 del Julio de 1994 . Publicado en la memoria, Abril 1995, pp. 17- 26.
11. Preliminary Study of Solar Powered Microwave Oven, Ced Currin, Shyam S. Nandwani and Marvin Alpizar, presentado en Second World Conference on Solar Cookers- Use & Technology, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, del 12 al 15 del Julio de 1994 . Publicado en la memoria, Abril 1995, pp. 149- 158.
12. Solar Cookers-Cheap technology with high ecological benefits, presentado en 3rd International Conference 'Down to Earth- Practical Applications of Ecological Economics', organizado en Costa Rica, del 24 al 28 de Octubre de 1994. Publicado en Ecological Economics, 17, pp. 73-81, 1996.
13. Experimental Study of Multipurpose Solar Hot Box at Freiburg, Germany, con Josef Steinfart, H.M.Henning, M. Rommel and V. Wittwer, Renewable Energy, Int. Journal, England, (Pergamon Press), Vol. 12, September 1997, pp. 1-20.
14. My twenty years of experience with solar cooking in Costa Rica- Satisfactions and Frustrations, presentado en Conferencia mundial "World Solar cooking and Food Processing- Strategies and Financing", Varese, Italia, 3- 6 de Octubre del 1999, publicado en la memoria, pp. 73-79.
15. Teaching concepts of Physics, I- Applied to Solar Cookers, presentado en VII International Symposium on Renewable Energy Education, Oslo, Noruega, del 15 al 18 de Junio del 2000. Publicado en CD Rom.
16. Estudio Experimental del rendimiento Absoluto del un Horno Solar en el clima de Costa Rica, con Rafael Ramirez, presentado en el Ier Congreso Iberoamericano de Energías Renovable, realizado en La Ceiba, Honduras, del 26 al 28 de marzo del 2001. Publicado en CD Rom, T31.

COCINAS HIBRIDAS- SOLAR CON ELECTRICIDAD Y GAS:

1. Design, Construction and Experimental study of Electric Cum Solar Oven. Presented en el International Solar World Congress, 1987, Hamburg, Germany, 13 al 18 de Setiembre de 1987. Publicado en Advances in Solar Energy Technology, Ed. by W.H. Bloss and F. Pfisterer, Pergamon Press, Vol.3, pp. 2698- 2702, 1988.
2. Design, Construction and Experimental Study of Electric Cum Solar Oven-II, Solar and Wind Technology, Vol.6 (2), pp.149-158, Pergamon Press, 1989.
3. Diseño, Construcción y Funcionamiento de un Horno Solar Hibrido (Sol/ Gas), con Marco A. Flores y Arlen Emilia Flores (Honduras), presentado en XI Congreso Iberico e VI Congreso Ibero- Americano de Energía Solar, en Vilamoura, Portugal, del 29 de Setiembre al 2 de Octubre del 2002.

DESTILADORES SOLARES:

1. Destiladores Solares, Folleto popular sobre Teoría, Construcción y Funcionamiento, pp. 31. Laboratorio de Energía Universidad Nacional, Heredia,

Costa Rica, 1992. (DETALLES PARA LA CONSTRUCCION).

2. Estudio preliminar de tres modelos de Destiladores para producir sal y agua potable. Con Sylvia Marin, UNICIENCIA, Universidad Nacional, Costa Rica, Vol.3, No.1/2, pp. 59-69. 1986.

3. 'Economic Analysis of Domestic Solar Still in the climate of Costa Rica. Solar & Wind Technology, Vol.7, No.2/3, pp.219-227, Pergamon Press, 1989.

4. Utilización de la Energía Solar para la Extracción y Secado de tañinos a partir de corteza de mangle, con Juana María Coto, Presentado en 7mo Congreso Latinoamericana de Energía Solar, organizado en 'Ciudad de Plata, Argentina, del 30 del Noviembre al 3 de Diciembre de 1993. Memoria pp.445-452.

SECADOR SOLAR:

1. Design Construction and Experimental Study of a Domestic Solar Oven cum Drier in the climate of Costa Rica, con Otoniel Fernandez Presentado en 1993 Solar World Congress, organizado en Budapest, Hungary, del 23 al 27 de Agosto de 1993. Publicado en la memoria Vol. 8, pp. 91- 96.

2. Experimental Study of Solar Oven Cum Water Heater and Solar Oven cum Drier, con Otoniel Fernandez, presentado en Second World Conference on Solar Cookers-Use and Technology, organizado en Costa Rica, del 12 de julio de 1994. Publicado en la memoria Abril 1995, pp. 273- 284.

FOTOVOLTAICO SOLAR:

1. Use of Solar Energy in National Parks and Islands of Costa Rica, Island Solar Summit, Tenerife Island, España, 6-8 de May del 1999, Memoria, pp. 143- 148.

LAS APLICACIONES MIXTAS Y DIVULGATIVAS:

1. Celebration of Sun Day for promoting Solar Energy. Sun World, (Pergamon Press), U.S.A., Vol.10, No.3, pp.67-68, 1986.

2. Aplicación de la Energía Solar en la Tierra y en el Espacio. Primer Congreso Internacional Estudiantil sobre Ciencia y Tecnología Espacial, Cartago, Costa Rica, del 15 al 20, de marzo de 1990. Organizado por Asociación Costarricense de Investigación y Difusión Espacial, Memoria pp. 83-86, 1990.

3. Some Considerations Regarding the Use of Solar Energy in Costa Rica, Presentado en International Conference on Energy and Environment, organizado en Bangkok (Thailand), del 27 al 30 de Noviembre de 1990., Publicado en la memoria Vol. II, pp. 209- 220, 1991.

4. La Conversión de Energía Solar en Energía Eléctrica para Aplicaciones en Zonas Rurales. Presentado en XIII Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural (CLER), San José, Costa Rica, del 15 al 19 de Abril de 1991. Publicado en la memoria Volumen, III, No. VIII, pp.1-19, 1991.

6. Solar Technologies in Central America, con Reto Rechsteiner, Sun World, England (Pergamon Press), Vol. 19, No. 3, pp. 18-20, 1995.

fgensollwww.doc