

# **DESTILADOR SOLAR - CONSTRUCCIÓN, FUNCIONAMIENTO Y USO.**



**Shyam S. Nandwani, Ph.D.**

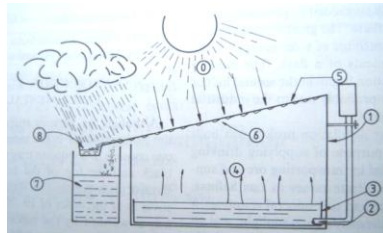
**(Profesor Retirado, Universidad Nacional, Costa Rica).**

**Promotor y Consultor en Energía Solar.**

**Tel: (506) 83737204**

**E mail: snandwan@yahoo.com**

**1 de marzo del 2013.**



## **DEDICATORIA:**

Este folleto esta dirigido a las personas, quienes a la hora de implementar una nueva tecnología no únicamente toman en cuenta el ahorro en las monedas, fabricadas artificialmente, sino también en la preservación de nuestra única planeta- Tierra, a través del minimizar consumo de las fuentes energéticas no renovables, conservación de energía y materiales. Esto sin duda conservara la salud ambiental (Mar, Tierra y Aire), y salud humana.

El uso de la ENERGIA SOLAR, junto con el empleo de toda una serie de fuentes renovables (energía procedente de las mareas, del viento, geotérmica, hidráulica etc.) puede aumentar el grado de autosuficiencia en el suministro de energía y hacer que el país sea menos dependiente de fuentes importadas y consecuentemente no vulnerable a las influencias de políticas exteriores.

He intentado proporcionar a las personas que vayan a fabricar un Destilador solar, los elementos esenciales para comprender el conjunto de la instalación y construcción: desde los datos físicos básicos, teoría elemental pasando por la explicación del funcionamiento de cada elemento hasta tamaños de los materiales.

Agradezco señores Marvin Alpizar, Eliecer Madrigal J. y Carlos Delgado S. en la compra de los materiales, construir el destilador discutida detalladamente en este folleto.

**Dr. Shyam S. Nandwani**  
**(Dr. Solar Cook),**

**Miembro (actual y anteriores) :** International Solar Energy Society (ISES), **Alemania**; Solar Cookers International, Sacramento, **EUA**; Colegio Fisico, **Costa Rica**; Costa Rican Indian Asociación, (CRIA), **Costa Rica**; Club de Leones, Heredia, **Costa Rica**; Senior Asóciate, the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, **Italia**; Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos (RICS/CYTED), **Argentina**; Red Iberoamericana de Aplicaciones Sustentables de Energía Fotovoltaico (RIASEF/ CYTED), **Perú**; Red Iberoamericana de Transferencia Tecnología de Energías Renovables(RITTAER/ CYTED), **Brasil**; Red Iberoamericana de Secado Solar de Productos Agroalimenticia (RISSPA/ CYTED) **Argentina**; Asociación Costarricense de Energía Solar (ACES), **Costa Rica**.

## **DESTILADOR SOLAR**

**Dr. Shyam S. Nandwani**

**(SIN AGUA NO HAY VIDA, Y CUANTO MAS LIMPIA ESTE EL AGUA MEJOR SERA LA CALIDAD DE LA VIDA --- JACQUES IVES COUSTEAU).**

### **1. INTRODUCCION:**

El abastecimiento de agua contribuye de varias e importantes maneras al desarrollo económico y social de un país. Es una necesidad básica para: uso doméstico, en la industria, en la agricultura, en la construcción, en la seguridad (como en la lucha contra incendios) y para contribuir a un ambiente sano.

Aunque los beneficios en la salud debido al mejoramiento en el abastecimiento de agua y la eliminación de residuos son difíciles de aislar y prácticamente imposibles de medir, sin embargo, es cierto que la propia agua contaminada es responsable de la mayor parte de las enfermedades del Tercer Mundo, entre ellas la disentería amibiana, el cólera, el tracoma y la fiebre tifoidea. Más de 25 mil personas padecen todos los días a causa de enfermedades originadas por el agua no potable.

Si bien no es posible realizar cálculos exactos, se estima que el volumen total de agua en el mundo es de 1.4 billones de  $\text{Km}^3$ , de los cuales más del 97% es agua de mar que todavía no puede ser desalinizada en gran escala (se necesitan, cerca de 15 KWh de energía para producir 1 galón de agua destilada). Los restantes 40 millones de  $\text{Km}^3$  de agua están distribuidos en las nieves eternas, glaciales, aguas profundas, aguas de superficies, etc. En esta forma, el abastecimiento real de agua se limita a 0.3 millones de  $\text{km}^3$  de aguas profundas (menos de 800 metros) y 0.2 millones de  $\text{km}^3$  de agua de superficie, la cual disminuye cada día más debido al ciclo natural del agua (R1).

Los datos mencionados anteriormente señalan las limitaciones de abastecimiento de agua. Además, el crecimiento demográfico impone enormes demandas de agua. Al mismo tiempo este líquido no esta distribuido igualmente. En algunas partes del mundo las personas se relajan en piscinas de aguas azules y perfumadas, mientras en algunas zonas rurales de África y Asia es corriente que la mujer tenga que caminar todos los días de cuatro a seis kilómetros para ir en busca de esta y poder atender así las necesidades de su familia. Además de la cantidad de agua, es muy importante tomar en cuenta la calidad del agua.

Estimaciones hechas por el Banco Mundial (R2), sugieren que entre los 3000 millones de personas de los países en desarrollo menos de 600 millones tienen acceso al abastecimiento de agua potable y el número de los que no tienen acceso crece en casi 90 millones cada año.

En una buena parte del mundo, el agua potable es cuestión de vida o muerte. Se estima que medio billón de personas sufren de enfermedades producidas por el agua, muchas de ellas están incapacitadas para trabajar.

En el caso particular de Costa Rica, aunque se afirma que el agua consumida en el área metropolitana es la más pura de Latinoamérica, sin embargo, existen sitios definidos donde se hospedan comunidades pequeñas que carecen de agua para uso higiénico y alimenticio. Ellos obtienen agua de pozos, donde es común ver mujeres y hombres cargando baldes de agua y bañándose con guacal. Hay padecimientos comunes como la parasitosis en infantes y gástrico en adultos, probablemente por el consumo de agua de pozo.

Solo vemos dos noticias recientes del periódico de La Nación.:

Julio 17, 2007. 6000 personas toman agua contaminada en Siquirres. Líquido tiene herbicidas utilizados en las diversas plantaciones de pino. El último análisis de agua de Agua y Alcantarillo encontró 8 microgramos de bromacil por litro de agua.

6 de Julio del 2008. 75,000 personas no tienen agua apropiada para el consumo humano.

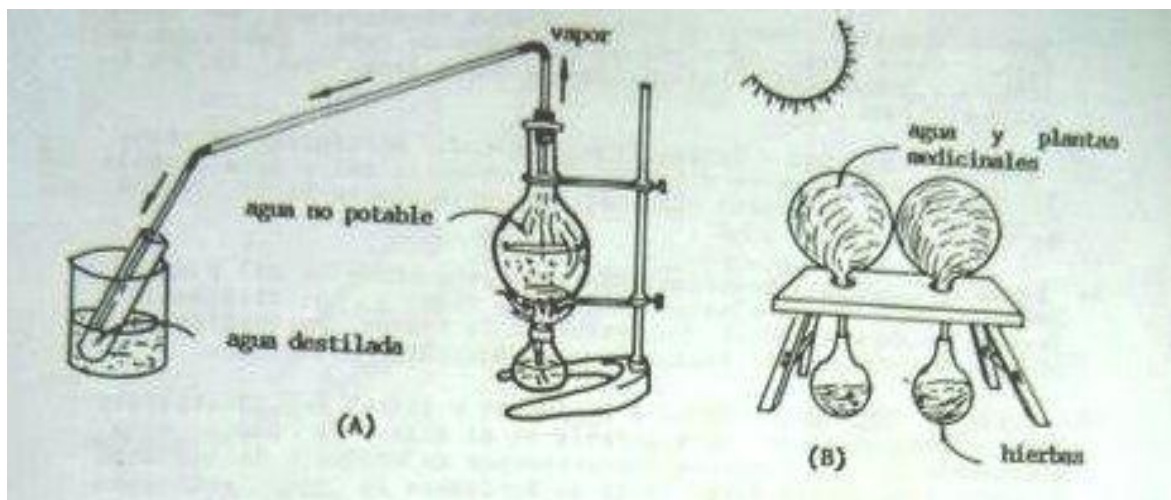
El agua para que sea potable debe ser libre de materia orgánica, coliformes fecales y bacterias.

A continuación se identifican los principales factores relacionados con la carencia y utilización del agua:

- La deforestación y eliminación de los recursos naturales contribuyen a que la carencia de agua sea mayor.
- Las aguas de desechos de las fábricas y ciudades están contaminando los ríos y lagos. Ponen como ejemplo, que en algunas ocasiones reciben agua insalubre, de un color oscuro.

La falta de buena agua afecta la salud en dos aspectos: Físico y Mental. Las enfermedades relacionadas con el agua pueden causar la muerte así como innumerables consecuencias. Hay pérdida de productividad humana, porque los enfermos no pueden trabajar.

La destilación solar es uno de los más antiguos y fáciles métodos para obtener agua pura (Fig. 1A), a partir de agua insalubre o agua de mar. Los desalinizadores no son nuevos. Aristóteles en el siglo cuatro antes de Cristo mencionó un método para evaporar agua del mar y producir agua potable. En 1589 Della Porta utilizó destilación solar para producir agua con olor de varias hierbas, a nivel doméstico (Figura 1B). Por otra parte, se ha observado que el agua destilada por la acción del sol es, generalmente, muy pura.



**Figura 1. Destilación Convencional.**

Los desalinizadores grandes fueron construidos en Chile en 1872 con una área de 4700 metros cuadrados y producían 6000 galones de agua por día para proveer de agua potable a un campamento de las minas de nitratos en el desierto de Atacama. Funcionó durante 35 años y después fue discontinuado debido a que fue instalado un sistema de acueductos etc.

Debido a que:

- i. se necesita cerca de 15KWh de energía para evaporar y destilar un galón de agua.
- ii. existe crisis energética en la mayoría de los países en vías de desarrollo,

- iii. la mayoría de estos lugares (específicamente en las costas pacíficas) la radiación solar es abundante y la humedad es baja.
- iv. la demanda energética para destilar agua es en forma de calor a baja temperatura (40-60 °C).

La destilación solar se presenta como una alternativa atractiva para producir agua potable y el uso de los destiladores solares ha recibido considerable atención a partir de 1960 en muchos países y además es de esperar que este interés aumente rápidamente en los próximos años. En Colombia, por ejemplo, los destiladores solares se vienen estudiando como medio de purificar agua para consumo humano en regiones donde son muy elevados los índices de mortalidad debidos a enfermedades de origen hídrico.

También han construido varias plantas en otros países como en Grecia (8640 m<sup>2</sup>), Haití (400 m<sup>2</sup>), India (2000 m<sup>2</sup>). La Tabla 1 muestra algunas plantas destiladoras que funcionan con energía solar, construidas desde 1872 (R5).

**TABLA 1. ALGUNAS PLANTAS DESTILADORAS CON ENERGIA SOLAR (R5).**

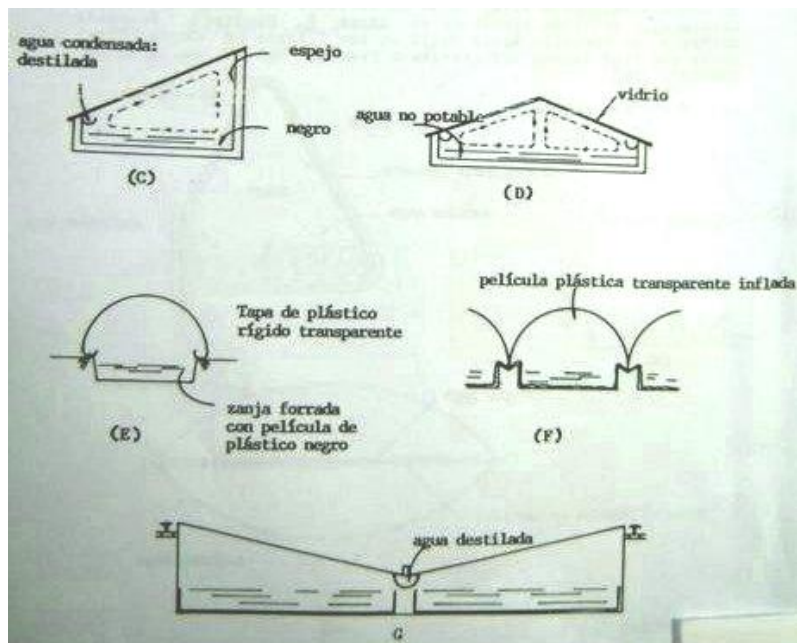
PAIS	LUGAR	AÑO	AREA (M <sup>2</sup> )	COBERTOR
Australia	Mureske (s)	1963	372	Vidrio
	Cooper Pedy (s) 1966		3160	Vidrio
Chile	Las Salinas(s)	1872	4460	Vidrio
	Quillagua (m)	1968	100	Vidrio
Grecia	Symli (m)	1964	2686	Plástico
	Patmos (m)	1967	8600	Vidrio
India	Bhavnagar (m)	1965	377	Vidrio
	Awania (s)	1978	1866	Vidrio
	Kulmis (s)	1980	3000	1/d Vidrio
México	Natividad,Is(m) 1969		95	Vidrio
Pakistán	Gwadar-I (m)	1969	306	Vidrio
	Gwadar-II(m)	1972	9072	Vidrio
Tunisia	Mahdla (s)	1968	1300	Vidrio
EEUU	Daytona Beach (m) 1959		228	Vidrio
	Daytona Beach (m) 1963		148	Plástico
URSS (CEI)	Bakharden (s)	1969	600	o Vidrio
West Indies	Petite St.			
	Vincent (m)	1967	.1710	Plástico
China	Wuzhi (m)	1976	385	Vidrio

-----  
s- agua salobre; m- agua del mar; l/d- litros/día.  
-----

La compañía 'McCracken Solar Company' en EEUU está vendiendo varios modelos de destiladores solares para producir agua destilada para uso doméstico, laboratorios, comunidades y para la industria desde 1959.

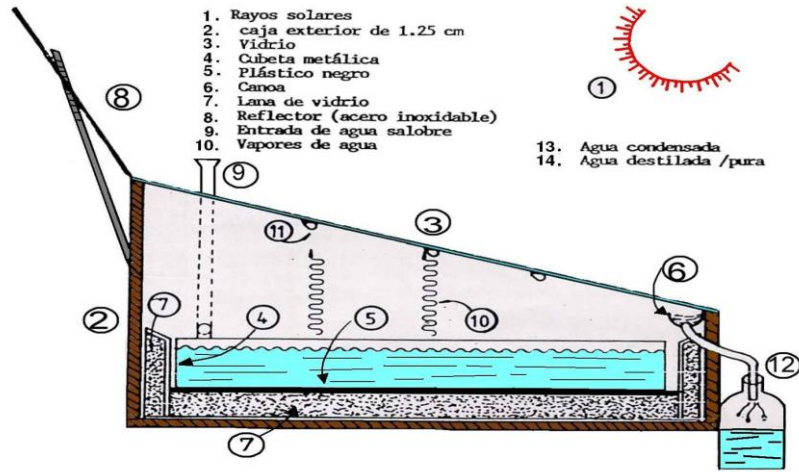
## 2. PRINCIPIO Y CONSTRUCCION

Las Figuras 2 muestran varios tipos de destiladores solares. El principio de todos estos es casi igual: "El Efecto Invernadero".



**Figura 2. Distintos tipos de Destiladores Solares.**

La Figura 3 muestra el esquema simplificado, indicando el principio de funcionamiento del Destilador Solar, discutido en el presente folleto. Todos los componentes están indicados claramente en la misma Figura.



ESQUEMA DEL UN DESTILADOR SOLAR

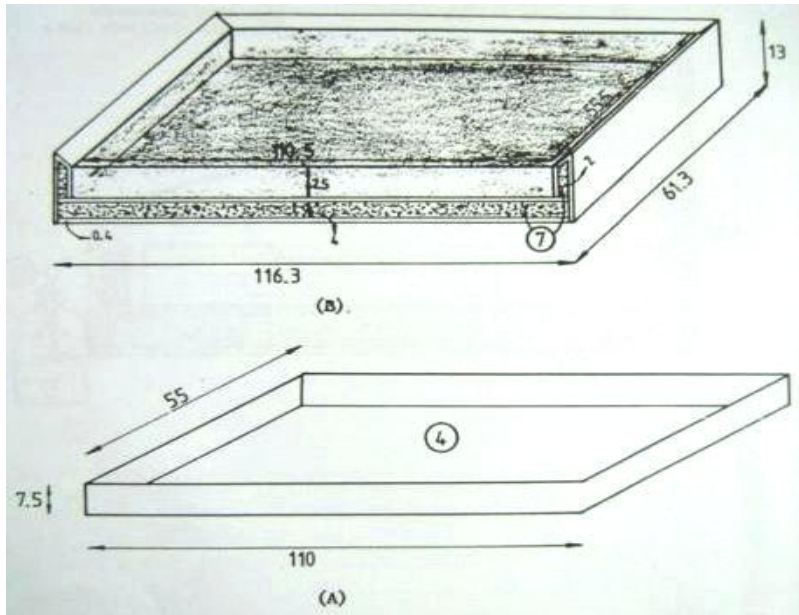
### Figura 3. Principios de Funcionamiento del Destilador solar.

El agua salada o no potable 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 negro mate ( o se pone un plástico negro y grueso sobre la bandeja metálica) 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. Con el fin de minimizar la pérdida de calor del vapor de agua, la cubeta de agua está rodeada con aislante de calor al fondo y en los lados. Además la cubeta esta dentro de una caja que va tapada con una cubierta de vidrio transparente.

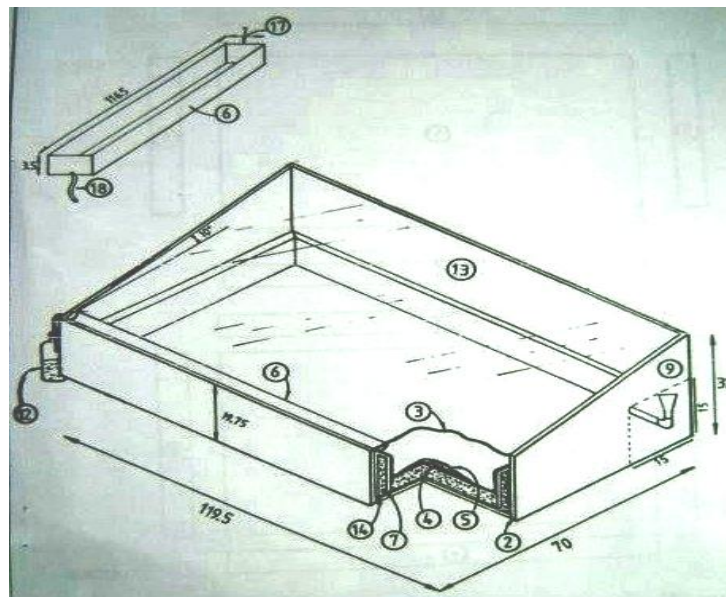
El aire húmedo, más caliente, asciende hasta la cubierta transparente, más fría, en cuya superficie, parte del vapor de agua se condensa, deslizándose hacia abajo y cae en el canal destinado para recoger el agua dejando la sal y otros minerales (no evaporables a baja temperatura) en la cubeta. Este proceso ocurre continuamente mientras el destilador esté recibiendo energía solar. El agua de la canoa (s) se puede recoger en los recipientes colocados fuera del destilador.

Las Figuras 4 y 5 muestran en detalle los componentes con los tamaños del destilador solar a construirse, para el cual hemos usado los siguientes materiales:

- Para la caja exterior: madera de pochote (1.25 cm grueso).
- Para la cubeta: hierro galvanizado, calibre 18.
- Para la absorción de la energía solar: plástico grueso (2-3 mm, de grosor) de color negro, igual al usado por los salineros, (la cubeta con plástico negro sirve como superficie colectora de calor y contenedora de minerales).
- Para la canoa: acero inoxidable. (calibre 26).
- Como aislante térmico: papel aluminio. plywood de 4 mm y fibra de vidrio ( 2 cm laterales Y 4 cm fondo).
- Para la cubierta: vidrio blanco/ transparente de 3 mm.
- Como reflector: papel aluminio dentro del destilador.
- Para recoger el agua destilada: envase de vidrio.
- Pegamento entre cobertor y caja externa: Silicón.



**Figura 4. Detalles de una cubeta metálica (a) y la caja interior de plywood (4 mm) con fibra de vidrio (b).**



**Fig. 5. Diseño completo del Destilador solar. 1 al 12 igual como en la Fig. 3., 13 Reflector, 14 Plywood de 4 mm. 17. Tapas laterales de la Canoa 6. 18. Tubo plástico.**

La cubeta tiene un área de  $0.60 \text{ m}^2$ , largo de 110 cm, ancho de 55 cm y 7.5 cm de profundidad. La inclinación del cobertor es de 10 grados con respecto a la horizontal.

Dicho destilador está listo para servir a usted siempre y cuando lo coloque en un lugar donde pueda recibir la radiación solar sin interrupciones como sombras por parte de algún edificio, pared ó árbol, etc.



### 3. CONSTRUCCION: HAGALO USTED MISMO:

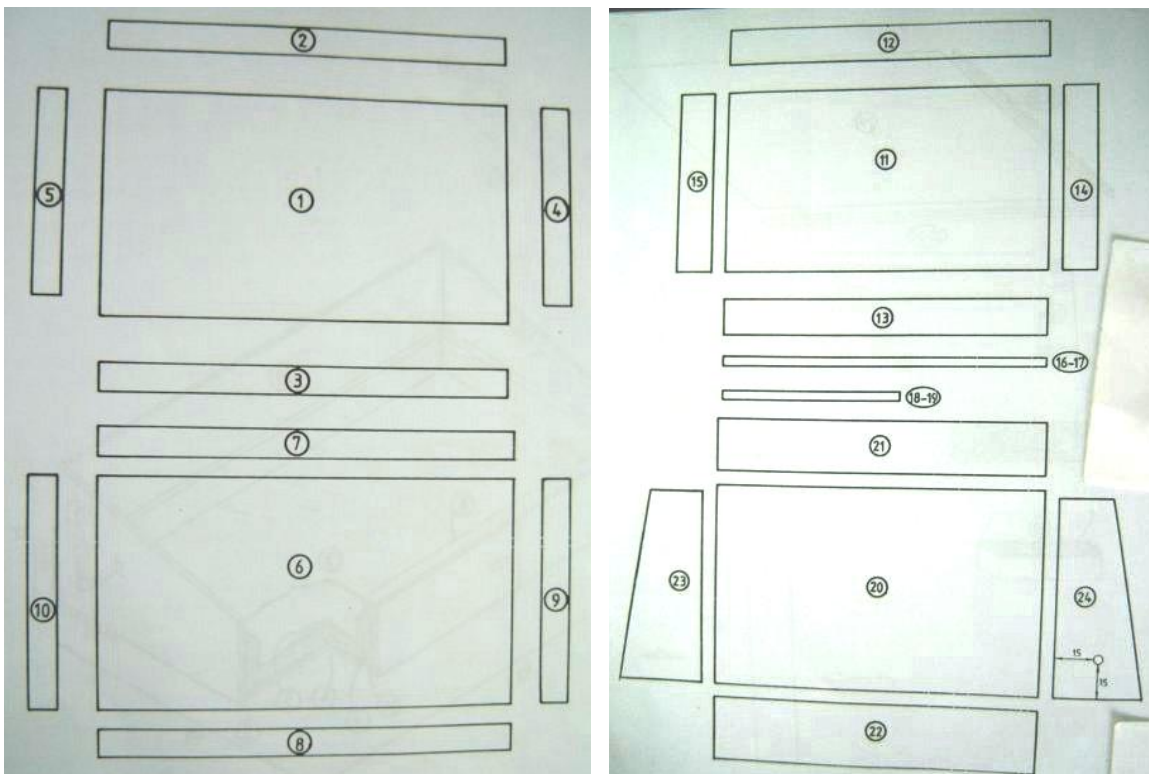
Ahora presentaremos detalladamente la construcción de un tipo de Destilador de líquidos, el cual consideramos es óptimo en su rendimiento si consideramos su costo y al mismo tiempo fácil de construir. Es muy importante aclarar que se puede variar el diseño, en sus materiales y tamaño, lo cual puede aumentar o disminuir su rendimiento, y hasta podría no funcionar el destilador. El conocimiento del principio básico explicado anteriormente es fundamental para hacer modificaciones en el artefacto.

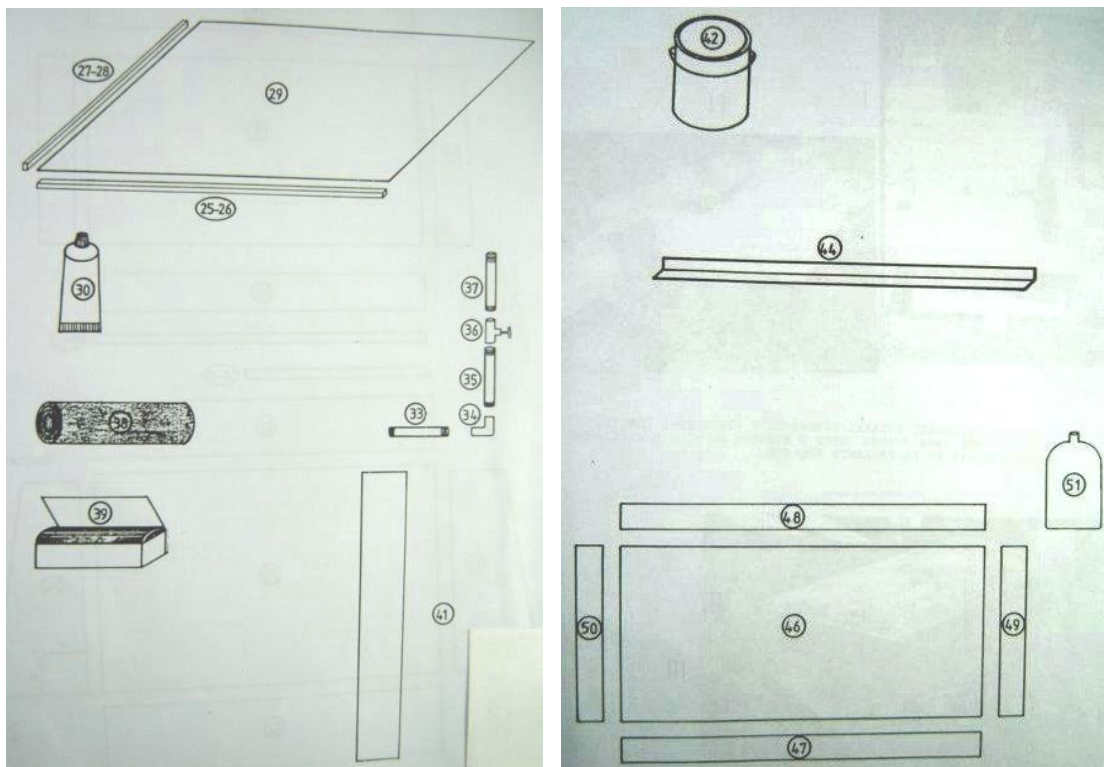
#### A. LISTA DE LOS MATERIALES NECESARIOS (FIGURA 6) CON SU TAMAÑO (en cms) .

NO. DESCRIPCION DEL MATERIAL	TAMAÑO
<b>BANDEJA MET A L I C A</b>	
1. Lámina hierro galvanizado (HG), liso calibre 18	110 X 55
2 y 3. Lámina H.G., liso calibre 18	110 X 7.5
4 y 5. Lámina H.G., liso calibre 18	55 X 7.5
38. Plástico Negro	131 X 76
<b>CAJA INTERIOR</b>	<b>PARA AISLAM I ENTO</b>
6. Plywood, 4 mm	111.3 X 56.3
7 y 8. Plywood, 4 mm	111.3 X 7.5
9 y 10. Plywood, 4 mm	55.5 X 7.5
11. Plywood, 4 mm	116.3 X 61.3
12 y 13. Plywood, 4 mm	
14 y 15. Plywood, 4 mm ( Tapas )	116.3 X 12.6
16 y 17. Plywood, 4 mm	116.3 X 2.9
18 y 19. Plywood, 4 mm	55.5 X 2.9
46. Lana de vidrio, 4 cm.	115.5 X 60.5
47,48. Lana de vidrio, 2 cm	115.5 X 7.5
49,50. Lana de vidrio, 2 cm	55.5 X 7.5
<b>CAJA EXTERIOR</b>	
20. Madera Pochete, 1.25 cm	119.5 X 70.0
21. Madera Pochete, 1.25 cm	119.5 X 18.5
22. Madera Pochete, 1.25 cm	119.5 X 30.5
23. Madera Pochete, 1.25 cm	18.5 X 67.5 X 30.8
24. Madera Pochete 1.25 cm con un hueco, 1.25 cm ( para entrada de agua salobre, etc.)	
25. Papel aluminio	Fracción de caja
<b>COBERTOR</b>	
25 y 26 Madera , 1.25 cm	

27 y 28 Madera, 1.25 cm	71.5 X 2
29. Vidrio blanco 3 mm, o (1/8")	120 X 71
30. Pegamento Silicón	Un tubo
33. Niple, 1.25 cm	7.5
<b>OTROS</b>	
31. Niple 1.25 cm	
32. Codo, 1.25 cm	
33. Niple 1.25 cm	
34. Llave de paso,(opcional)	2.5
35.Niple,1.25 cm (opcional)	2.5
36. Lamina acero inoxidable Pt26 (para canoa)	.5 X 14
37. Pintura blanca de aceite madera, (SUR-FASTYL)	0.5 Galon
38. Angulares de hierro 3.2 X 3.2 X 3/16" (opcional) para la base	820
39.Botella de vidrio(opcional)	1-3 L

COSTO TOTAL (área total del colector, 0.60 m<sup>2</sup>). (Aproximadamente US\$55/-, sin incluir la mano de obra). Vale la pena mencionar que el precio (/m<sup>2</sup>) se reduce cuando se construye un sistema de 2 m<sup>2</sup> (o más)- tamaño familiar de 4-5 personas (consumo de 6-8 litros de agua por día).





**Fig. 6. Varios materiales con sus tamaños relativos para la construcción de un Destilador solar.**

### **B. CONSTRUCCION DETALLADA:**

Ahora vamos a explicar paso por paso la construcción de un destilador solar, pero es recomendable leer por completo el folleto antes de construirlo. No tenemos duda que con la experiencia y la creatividad, usted puede variar el orden y hasta construir un sistema mejor que éste. Otros modelos se pueden ver en las referencias (R5-11).

PASO 1. Soldando (o remachando) las 5 láminas de Hierro Galvanizado (1 al 5) haga una bandeja como se muestra en la Figura 3a. En el caso de que tenga la facilidad de conseguir una dobladura, puede usar una lamina de 125 cm X 70 cm y doblar apropiadamente, minimizando así la mano de obra y una cantidad de soldadura.

PASO 2. Clavando las 14 láminas de plywood de 4 mm (6 al 19), puede hacer una caja de la forma aislante de calor. Observe que la parte exterior de esta caja es 2 mm más alta que la parte interior, con el fin de que las gotas de agua condensadas no recogidas en la canoa caigan dentro de la bandeja. Para aumentar la durabilidad de la madera es recomendable pintar la caja con la pintura 42.

PASO 3. Ahora puede llenar con fibra de vidrio 46, en el fondo y 47 al 50 a los laterales de la caja construida en el paso 2.

PASO 4. Clavando las láminas de madera (20 al 24), haga una caja exterior. Para proteger la caja contra la lluvia o humedad (interna del destilador) es recomendable pintar la caja con pintura 42.

PASO 5. En el hueco de la lámina 24 de esta caja puede fijar un niple de hierro galvanizado 33.

PASO 6. Doblando la pieza de acero inoxidable 41 puede formar una canoa (Fig. 4, componente 6), en la forma semicircular o rectangular. Ambos lados de esta canoa se pueden cerrar también con una pieza de acero inoxidable (17). Además en una de estas piezas se puede fijar un tubo de plástico (o vidrio, 18).

PASO 7. Puede atornillar la canoa construida en el paso anterior a la lámina 21 de la caja (Paso 4) como muestra la Fig. 4. Esto permite pasar el agua destilada, del destilador a la botella 51.

PASO 8. En el fondo de esta caja puede hacer una base de hierro angular (44) para el destilador.

PASO 9. Ahora puede colocar la bandeja construida en el paso 1 dentro de la caja construida en el paso 2 y 3. Todo este sistema puede ponerlo dentro de la caja exterior construida en los pasos 4 y 5.

PASO 10. La lámina 22 puede pegarse a la lámina metálica 39 de aluminio (empezando al nivel arriba de la bandeja metálica).

PASO 11. Puede poner el plástico negro 38 dentro de la bandeja metálica, cubriendo hasta la caja de plywood de 4 mm (pasos 2 y 3).

PASO 12. Con las piezas 25 al 28 puede formar un marco para el cobertor.

PASO 13. Usando pegamento silicón (30) puede fijar el vidrio 29 a dicho marco.

PASO 14. Finalmente al niple 33 puede unirse al codo, 2 niples y una llave de paso (34 al 37) con el fin de llenar agua salubre o no potable, manualmente o automáticamente de la red.





III



IV



(V)

**Fig. 7: Varios Destiladores solares diseñados e estudiados por el autor durante 1984-1989. Foto V (ultima) muestra el modelo explicado detalladamente en el presente folleto (Sin reflector).**

#### **4. FUNCIONAMIENTO:**

La Figura 7 indica varios modelos construidos y estudiados por el autor durante 1984-1988 (R12-15). La Foto 7V muestra el modelo explicado en el presente texto. En el modelo 7 III la cubeta metálica es sustituida por varias tiras de yute natural, un lado de éstos está sumergido en un tanque pequeño con líquido a destilarse. El líquido sube a los yutes por medio de acción capilar y después el proceso de evaporación y condensación sigue en la forma explicada anteriormente.

El líquido (agua de mar, agua de pozo u otro no potable) para destilar, se deposita en la cubeta a través del tubo 9 (Fig. 5), hasta una profundidad de 3 a 5 cm (Vol. 18-30 litros). La radiación proveniente del sol atraviesa la cubierta y es absorbida por el plástico negro, el cual aumenta la temperatura del agua y, por ende, su presión de vapor. Parte del agua de la cubeta se evapora, hasta que el aire dentro del destilador alcance una humedad relativa del 100%. El aire húmedo y caliente, por ser menos denso, sube hasta chocar con la cubierta. Esta, por estar cediendo calor al ambiente, se encuentra a una temperatura inferior que la del aire del interior, razón por la cual parte de la

humedad que éste contiene se condensa. El agua condensada se desliza por la superficie inclinada cayendo en una canoa que lo recoge y lo lleva al depósito, donde se almacena el agua destilada y el residuo (sal u otros minerales) se queda dentro de la cubeta. Este proceso de evaporación y condensación ocurre continuamente mientras el destilador esté recibiendo energía solar.

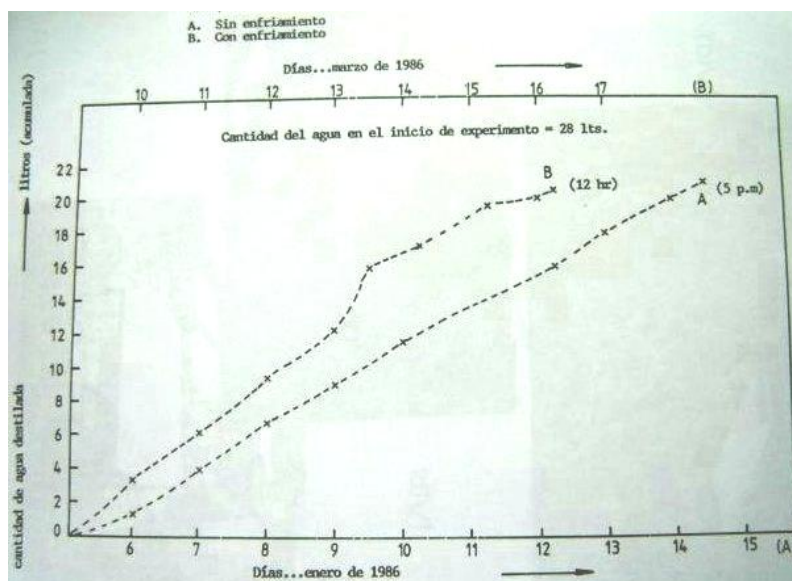
Además el proceso de condensación sigue después de la puesta del sol y durante la noche debido a la disminución de la temperatura ambiente. Otro día en la mañana, cuando recoge el agua destilada, se puede agregar en la cubeta la misma cantidad de líquido destilado. Después de algunos días (de 10 a 15), no agregue más líquido, deje seguir el proceso de destilación. Ahora abriendo el cobertor 3 puede sacar la cubeta y el correspondiente residuo. Una vez lavada la cubeta, puede empezar el proceso de destilación nuevamente.

Recordamos que es muy importante asegurarse que para un mejor aprovechamiento del destilador, no debe tener ningún árbol o edificio cerca del sistema, para no producir sombras en dicho artefacto.

## 5. RESULTADOS:

La cantidad de agua destilada por un dispositivo con esta área depende de varios factores, como: tipo de cobertor (plástico o vidrio), cantidad de agua, la radiación solar, temperatura y humedad del ambiente, velocidad del viento etc. Aunque se puede consultar las referencias (R12,13) para los resultados detallados de tres destiladores estudiados por el autor durante 1984-1988, sin embargo en resumen este tipo de destilador puede dar de 3 hasta 5 litros de agua por m<sup>2</sup>/día incluyendo el agua recogida por condensación durante la noche.

La Figura 8A muestra las cantidad de agua destilada (por un destilador de 1.1 m<sup>2</sup> y cobertor de vidrio) diariamente a partir del 6 de enero (7 am) hasta el 15 de enero de 1986 (5 pm), cuando se terminó el proceso de evaporación. El proceso duró aproximadamente 9 días Y Se pudo recoger 20.8 lt de agua destilada. Vale la pena mencionar que el mismo experimento fue repetido enfriando el cobertor artificialmente (goteando agua por encima del vidrio, Foto 6IV) con el fin de acelerar el proceso de condensación y por ende la destilación). La Figura 8B muestra las cantidades de agua destilada diariamente, a partir del 10 de marzo (7 a.m.) hasta el 17 de marzo (12 hr) de 1986 cuando se termino el proceso de evaporación. En siete días Y medio que duró el proceso se recogió 20.2 litros de agua destilada.



**Fig. 8. Cantidad de agua destilada sin y con enfriamiento del Vidrio (1986).**

Además como se muestra en la Foto 7 IV el cobertor del destilador también sirve para recoger agua del lluvia (R15), la cual se puede tomar en la mayoría de los casos.

Finalmente, fue analizada parcialmente la calidad del agua proveniente de la red y el agua destilada por este destilador, por parte de la Sección de Análisis de la Escuela de Química de esta Universidad. La Tabla 3 muestra los correspondientes resultados.

**TABLA 3: ANÁLISIS QUIMICO DEL AGUA (MARZO 1986).**

Parámetro	Agua del tubo	Agua destilada
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	36	4
pH	7.15 (poco alcalina)	5.0 (ácida)
Plomo	N.D.	N.D.
Cloruro (mg/L)	180	10
Sulfato(mg/L)	100	10
Cobre	N.D.	N.D.
Conductividad eléctrica (mhos/cm)	80	13.0

Nota: N.D. No detectable.

La Tabla 3B muestra semejante datos pero medidos en 2007.

Resultado del análisis químico realizado a tres muestras de aguas a las que se les dete el pH y la conductividad. Las muestras se denominaron de la siguiente manera:

1. Agua de la tubería
2. Agua destilada por destilador solar
3. Agua usada para llenar baterías de carros

**Cuadro 1. Resultados**

Parámetro	Muestra		
	1	2	3
pH	6.85	5.35	1.10
Conductividad (µS/cm)	110	10	F.R.

F.R. Fuera del rango del conductímetro

Aunque la primera destilación ha eliminado varios minerales sin embargo, si fuera necesario se puede destilar una vez más para que sirva para hospitales o laboratorios, o pueden agregarse otros minerales necesarios para la bebida.

Varias pruebas de laboratorio, hechas en otros países han indicado que el agua con bacterias cuando se destila con energía solar, no tiene ninguna bacteria dañina.

## **6. ALGUNOS PUNTOS IMPORTANTES PARA LA CONSTRUCC20N Y FUNCIONAMIENTO DEL DESTILADOR:**

### **\* CALIDAD DEL AGUA:**

Debido a que la condensación se hizo en presencia de aire y por lo tanto contiene una cantidad adecuada de oxígeno disuelto. Puede añadirse contenidos minerales si se desea, drenando el condensado a través de gravilla de dolomita, por ejemplo. Vale la pena mencionar que la mayoría de los minerales perdidos durante la destilación están contenidos en los alimentos que comemos diariamente.

### **\* DEPOSITO DEL LÍQUIDO:**

El estanque (bandeja) puede ser fabricado de un sin número de materiales, ya que su principal función es la de retener el agua. Los materiales se escogen aplicando los criterios de costo, facilidad de fabricación o de obtención y la reacción química con sales etc. Se ha utilizado concreto, acero, hierro galvanizado, asbestos- cemento, plástico, madera, ladrillo, adobe, etc.

El depósito de agua destilada en la canoa debe protegerse de la radiación solar para evitar la reevaporación ella.

### **\* PINTURA:**

Los estanques fabricados con materiales impermeables, la superficie interna se recubre de pintura negra o de alquitrán para aumentar la absorción. Si los estanques no son impermeables, generalmente se recubren con una capa de plástico negro o caucho de butilo que impermeabiliza y a la vez aumenta la absorción. El caucho de butilo se recomienda por ser más duradero y por resistir mejor las altas temperaturas que se presentan en caso de quedar seco el estanque.

### **\* COBERTOR:**

El vidrio es el material más usado para la cubierta transparente porque, a pesar de que tiene un costo inicial relativamente alto, no se degrada con el tiempo y presenta una superficie impermeable, que facilita la condensación. Se han hecho numerosos ensayos con diferentes tipos de plásticos (polietileno, PVC, PVF, etc.), pero estos en general presentan poca durabilidad (6 meses 2 años) y alta permeabilidad, a pesar de los tratamientos que se les han aplicado. Estudios realizados en la Universidad de California, han demostrado que la productividad de un destilador con cubierta de PVF (Fluoruro de Poli Vinil) tratado era un 20% menor que la de uno idéntico con cubierta de vidrio.

Esta cubierta (vidrio) debe tener una adecuada mojabilidad para que el agua, condensada sobre ella, resbale y no caiga en el recipiente donde se encuentra el agua sucia.

### **\* PEGAMENTO:**

Se debe tener sumo cuidado al sellar toda fuga para asegurar la eficiencia. Como sellador se puede usar masilla o cinta adhesivo, sin embargo el sellador más recomendable suele ser el caucho de silicón que no se degrada con el tiempo y además es flexible, y resiste alta temperatura.



### **\* OTROS MODELOS:**

Se han experimentado otros tipos de destiladores de más alto rendimiento pero de mayor costo y complejidad (R5, 10). El cambio más sencillo que se puede hacer a un destilador del tipo demostrado en las Figura 9 III es reemplazar el estanque por un material poroso que se mantenga húmedo. Este cambio permite inclinar el destilador para obtener una eficiencia mayor.

### **\* AGUA PARA IRIGACION:**

De una manera general, el agua destilada, ya sea mediante el sol o por cualquier otro procedimiento, no resulta cara cuando se desea emplear para el hombre, pero es prohibitiva cuando se desea emplear para riego. Una de las razones de que el agua obtenida por destilación solar sea prohibitiva para el cultivo, reside en el gran despilfarro de agua que tiene lugar en los sistemas de riego corrientemente empleados. En ellos, parte del agua se filtra a través del suelo, parte se evapora y pasa a la atmósfera, y sólo una pequeña porción se utiliza para el fin perseguido. Sobre esta base, diversos autores han *diseñado* un dispositivo que permita destilar el agua en el invernadero mismo, encima de la zona de cultivo, con lo cual se evitan las pérdidas de agua por filtración y evaporación.

Se han realizado diversas modificaciones de este diseño inicial. El conjunto es particularmente interesante en regiones tropicales, áridas y soleadas. Su precio de venta es mucho mas aceptable que cuando se construyen, por separado, el invernadero y al alambique.

\* En un destilador como el descrito, el calor cedido por el vapor al condensarse es rechazado a la atmósfera con lo que el sistema pierde energía. Si esta energía se utilizara para volver a evaporar mas agua, se obtendría una eficiencia mucho mayor. La reutilización del calor latente de condensación para evaporar mas agua se logra en un destilador de efecto múltiple.

\* Se están realizando numerosos estudios para conseguir la máxima eficacias con un costo mínimo. Algunos autores piensan que, en el futuro, pueden ser más rentables alambiques donde se realice una concentración de la energía solar, por ejemplo, mediante espejos parabólicos. En la actualidad, resultan más económicos los pequeños dispositivos para uso individual o familiar.

## **7. ASPECTOS ECONOMICOS:**

Debido a que la transportación del agua por acueductos sale muy costoso y además se necesitan aproximadamente 15 kWh de energía para la producción de 1 galón de energía destilada, en los países de medio oriente, el agua cuesta cerca de US\$3- 4/ tonelada (\$3-4/ m<sup>3</sup>) y en Kuwait (población de 1.1 millón) el costo de un botella de agua es igual al costo de 3 botellas de petróleo.

El costo de agua producida por destilación convencional (usando petróleo) depende principalmente del costo del equipo. Con base en experiencias de investigadores de diferentes partes del mundo, se puede afirmar que el costo promedio del agua producida es del orden de US\$ 1.5-2 / m<sup>3</sup>.

Este último cálculo se obtiene amortizando el costo inicial del destilador a lo largo de su vida sutil y relacionándolo con la producción total esperada para ese periodo. Sin duda el costo inicial a su vez, esta en función primordialmente del costo de los materiales y la técnica de construcción utilizados.

En un estudio hecho por el autor (R15), se observo que en el clima de Limón, San José y Toboga, el costo de agua producida/ destilada por energía solar es Colones 1.07 / lt. (Col. 1070 / m<sup>3</sup>), Colones 0.94/lt (Col. 940/ m<sup>3</sup>) y Col. 0.88 / lt (Col. 878/ m<sup>3</sup>), respectivamente. (NOTA: Aunque los datos son calculados y publicados durante anos 1988- 1989, pero para fines comparativo, tiene algún

sentido). Además el costo del agua destilada disminuye con el tamaño del destilador.

En cambio si se tomamos en cuenta, también la cantidad de agua pluvial recogida en este destilador, el costo de agua producida (destilada + pluvial) , se reduce en Col. 0.19/lit, Col. 0.25/lit y Col. 0.39 por litro, respectivamente en el clima de Limón, San José y Taboga.

## **8. CONCLUSIONES:**

Si comparamos el costo de 1 m<sup>3</sup> de agua potable, cobra el Instituto de Acueducto y Alcantarillado (AA, Col. 10-15/ m<sup>3</sup> en 1989 (y cerca de Colones 250 o \$0.45/ m<sup>3</sup>, en 2009), vemos que el agua producida por el sistema solar es cerca de 15-30 veces mas cara que la vendida por AA. Las razones son obvias- principalmente por los grandes tamaños de las plantas y la consecuente alta inversión inicial, tecnología centralizada y subsidios ofrecidos al sistema convencional etc.

Sin embargo para los lugares donde no existen tuberías de agua u otras opciones, creemos firmemente que el uso de la energía solar para la purificación del agua es el mejor camino tanto para nosotros y la siguiente generación debido a que el uso de una fuente renovable de energía y no petróleo o sus derivados, importados y no reemplazables etc., nos favorece. Además, por razón de costos, el agua destilada por energía solar, se recomienda únicamente para beber y no para ducharse o para cocinar.

## SI DESEAN CONOCER MÁS:

1. Andre VanDam, El mundo tiene sed, Visión (la revista Interamericana) Vol.59, No.2, 26 de julio de 1982.
2. Yves Rovani, El problema de abastecimiento de agua y de eliminación de residuos, El Banco Mundial y el Mundo más pobre, (USA), pp. 16-20, 1982.
3. United Nations General Assembly, Economy and Social Council, 'Progress in the attainment of the Goals of the International Drinking Water Supply and Sanitation Decade', March 6, 1985.
4. F. Daniel, Direct Use of Sun's Energy, Ballintine Books, New York (EEUU), 1977, pp. 270.
5. M.A.S. Malik, G.N.Tiwari, A. Kumar and M.S.Sodha, Solar Distillation, Pergamon Press, 1984 pp.135.
6. Daniel C. Dunham, Fresh Water from the Sun, family-sized Solar Still Technology: A Review & Analysis, under A.I.D. Contract, AID /ta-147-0024, P.0.3178914, EEUU, 1978, pp.133.
7. S.G. Talbert, g.J.A. Eibling, G.O.G. Lof, Chung-mina Wono, and Everett N. Sieder, Manuel on Solar Distillation of Saline Water, Research and Development Progress Report No.546 (EEUU), April 1970, pp.263.
- 8 Eduardo Sibaia y Donald Peterson, Colectores Solares, Editorial Tecnológica de Costa Rica (Costa Rica), 1985, pp.144.
- \*9. J.A. Duffie y W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley & Sons, 1980, pp.76Z.
- \*10. H.P. Garg, Treatise of Solar Energy, John Wiley & Sons, 1985, pp. 523.
- \*11. A.A.M. Savir?h, Solar Energy Engineering, Academic Press (New York, EEUU), 1977, pp.506.
12. Shvam S. Nandwani y Sylvia Marín, Estudio preliminar de un destilador solar para producir sal y agua potable, Presentado en Quinto Congreso Costarricense de Física (Universidad de Costa Rica), Costa Rica, 28 al 30 de Noviembre de 1984. Publicado en CIENCIA y TECNOLOGIA, Universidad de Costa Rica, Vol. 10, No. 1, pp.39-49, 1986.
13. Shvam S. Nandwani y Sylvia Marín, Estudio preliminar de tres modelos de Destiladores Solares para producir sal y agua potable, UNICIENCIA, Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica), Vol.3, No.1 y 2, pp.59-69, 1986.
- 14 Shvam S. Nandwani., Economic Analysis of Domestic Solar Still in the Climate of Costa Rica; Solar and Wind Technology (Pergamon Press), Vol. 7, No. 2/3, pp. 219-227, 1989.

(\*) Libros más técnicos.