

ESTUDIO PRELIMINAR DE TRES MODELOS DE DESTILADORES SOLARES PARA PRODUCIR SAL Y AGUA POTABLE

Shyam S. Nandwani*
Silvia Marín Vonkoller

Departamento de Física.
Universidad Nacional.
Heredia, Costa Rica.

RESUMEN

Se construyeron tres prototipos de destilador-desalinizador solar, cada uno con un área de 0.5-1.0 m² para producir agua potable y sal, utilizando materiales y tecnología disponible localmente. Se estudió su eficiencia en función del material de cobertor, radiación solar, configuración geométrica, cantidad de agua a destilar, concentración salina del agua y enfriamiento artificial del cobertor. El destilador con cobertor de vidrio tiene más rendimiento que el destilador con cobertor de plástico Tedlar. El rendimiento térmico de un destilador varía entre 10 % y 30 %. La cantidad de agua que se puede evaporar y condensar es cerca de 2-4 l/m²/día, hay una pérdida de agua (25-60 %) dentro del destilador y el enfriamiento artificial del vidrio con agua normal acelera el proceso de condensación. Se ha hecho un análisis químico del agua destilada y el agua de la tubería.

ABSTRACT

We have constructed three solar stills of areas 0.5-1.0 m² to produce salt and potable water, using local technology and local materials. We have studied the thermal efficiency of these stills

as a function of solar intensity, covers, geometrical configuration, quantity of water, salt concentration and artificial cooling of the cover. Some of the important results are: still with glass cover distill more water than still with plastic cover, thermal efficiency vary between 10-30 %, amount of water which can be evaporated and condense is 2-4 l/day/m², exist 25-60 % of loss of water in the still and finally artificial cooling of the cover can accelerate the process of condensation, etc. Finally we have mentioned the chemical analysis of distilled and normal tap water.

INTRODUCCION

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

* Miembro de la International Solar Energy Society y miembro asociado del International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italia.

Si bien no es posible realizar cálculos exactos, se estima que la cantidad total de agua en el mundo es de 1.4 billones de km^3 , de los cuales más del 97 % es agua del mar que todavía no puede ser desalinizada en gran escala (se necesita cerca de 15 kwh de energía para producir 1 galón de agua destilada). Los restantes 40 millones de km^3 de agua están distribuidos en las nieves eternas, glaciares, aguas profundas y agua de superficies. Así, el real abastecimiento de agua se limita a 0.3 millones de km^3 de aguas profundas (menor que 800 m.) y 0.2 millones de km^3 de agua de superficie, esta última disminuye más debido al ciclo natural de agua (Van Dam, 1982).

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

Estimaciones hechas por el Banco Mundial (Rovani, 1982) sugieren que entre los 2.400 millones de personas de los países en desarrollo, menos de 500 millones tienen acceso al abastecimiento de agua potable y el número de los que no tienen acceso crece en 70 millones cada año.

En una buena parte del mundo el agua es cuestión de vida o muerte. Se estima que medio billón de personas sufre de enfermedades (como disentería amebiana, el cólera, el tracoma y la fiebre tifoidea) producidas por el agua que se usa. En el área de América Latina, los datos de 1980 indican que de 100 millones de usuarios urbanos, solo 40 millones tenían servicios domiciliarios de agua (por tubos). En el área rural apenas 6 millones, de un total de 100 de la población campesina, la recibían por tuberías. En Costa Rica, aunque se afirma que el agua de consumo en el área metropolitana es la más pura de Latinoamérica, existen sitios definidos donde viven comunidades pequeñas que carecen de este líquido para uso higiénico y alimenticio. En una entrevista realizada por la Dirección Nacional de Estadística y Censos, en junio de 1984, en 640.000 viviendas, se afirma que el 80 % tiene continuidad del servicio de agua durante el verano y 88 % en el invierno (Castillo, 1986). Además

en una memoria publicada recientemente (Costa Rica, 1985) se señala que de 23 comunidades, 17 cuentan con servicio de agua potable, pero en nueve de estos casos se presentan problemas en cuanto a la disponibilidad, pues sufren escasez en algunas horas del día y durante el verano, o tienen problemas de contaminación por daños en la tubería.

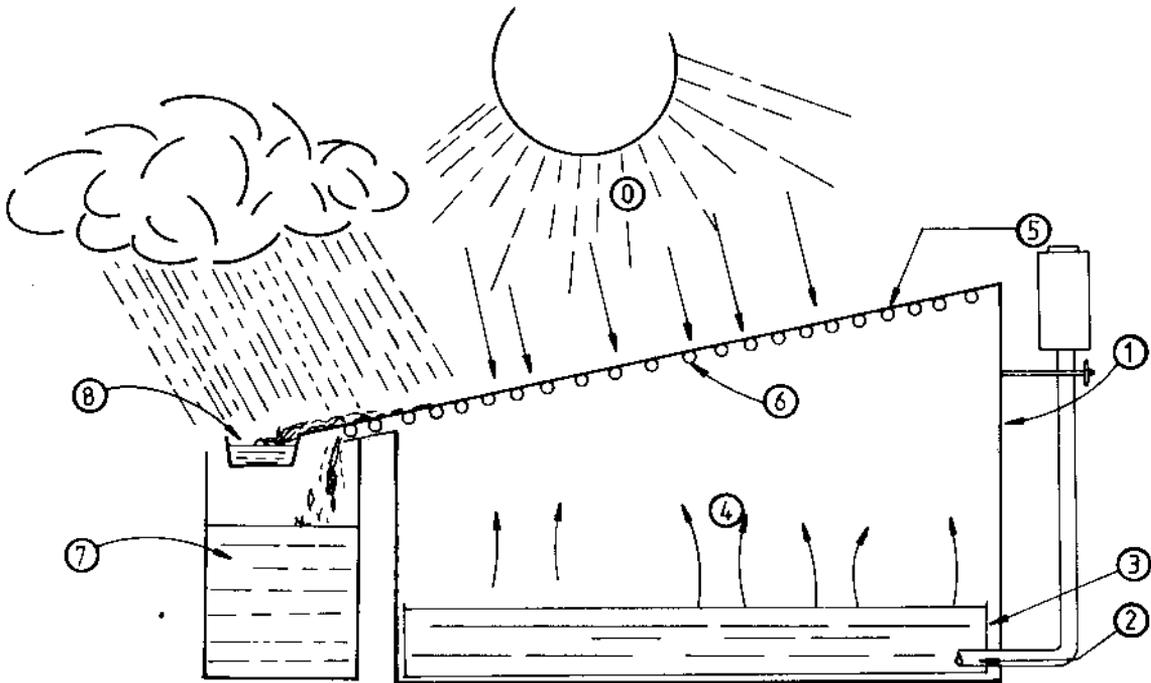
Dado que en la mayoría de estos lugares (específicamente en las costas pacíficas) la radiación solar es más abundante y la humedad es baja y que la demanda energética para destilar agua es en forma de calor de baja temperatura (40-60°C), la destilación solar se presenta como una alternativa atractiva para producir agua potable. Con el fin de construir una planta grande, como se ha hecho en varios países (4.700 m^2 en Chile en 1872, Grecia 8.640 m^2 , Haití 400 m^2 , India 2.000 m^2), hemos pensado en adquirir experiencia a través del diseño, la construcción y el estudio de tres modelos prototipos de destiladores pequeños (con un área de 0.5-1 m^2 cada uno). Aunque los resultados preliminares del modelo No. 1 fueron presentados en el Congreso Nacional (Nandwani, 1986), se mencionarán aquí algunos datos no reportados antes.

MATERIAL Y METODOS

Las Figs. 1a, 2a y 3a muestran los esquemas simplificados y las Figs. 1b, 2b y 3b ilustran los modelos actuales de los sistemas correspondientes construidos y estudiados en el Departamento de Física. Todos los componentes están indicados claramente en las figuras. 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 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 transparente, más fría, en cuya superficie, parte del vapor de agua se condensa, luego ésta se desliza hacia abajo y cae goteando en el canal destinado para recoger el agua, dejando la sal u otros minerales (no evaporables a baja temperatura) en la cubeta. El agua de la(s) canoa(s) se puede recoger en los recipientes colocados fuera del destilador. En la construcción del primero de los dos modelos de destilador solar (Figs. 1 y 2) se usaron los siguientes materiales:

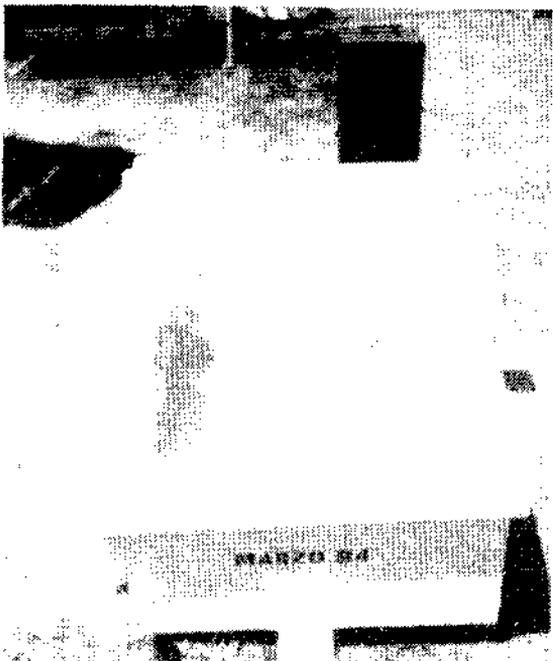
— para la caja exterior: madera;



- | | |
|---|--------------------|
| 0- RAYOS SOLARES | 4- VAPORES DE AGUA |
| 1- CAJA EXTERIOR CON TANQUE DE ALMACENAMIENTO | 5- VIDRIO 1/8" |
| 2- ENTRADA AGUA SALUBRE | 6- AGUA CONDENSADA |
| 3- CUBETA PARA AGUA | 7- AGUA DESTILADA |
| | 8- AGUA PLUVIAL |

Figura 1a

Esquema de un destilador/desalinizador.



- para la cubeta, canoas, y el tanque de almacenamiento de agua: hierro galvanizado;
- aislante térmico: papel aluminio y fibra de vidrio;
- pintura para la cubeta con el fin de aumentar la absorción de energía solar, negro mate y gris;
- cobertor: vidrio, plástico (Tedlar);
- para sellar el cobertor: pegamento silicón; y
- como reflector: papel aluminio.

Figura 1b

Destilador solar con un área de 0.55 m².

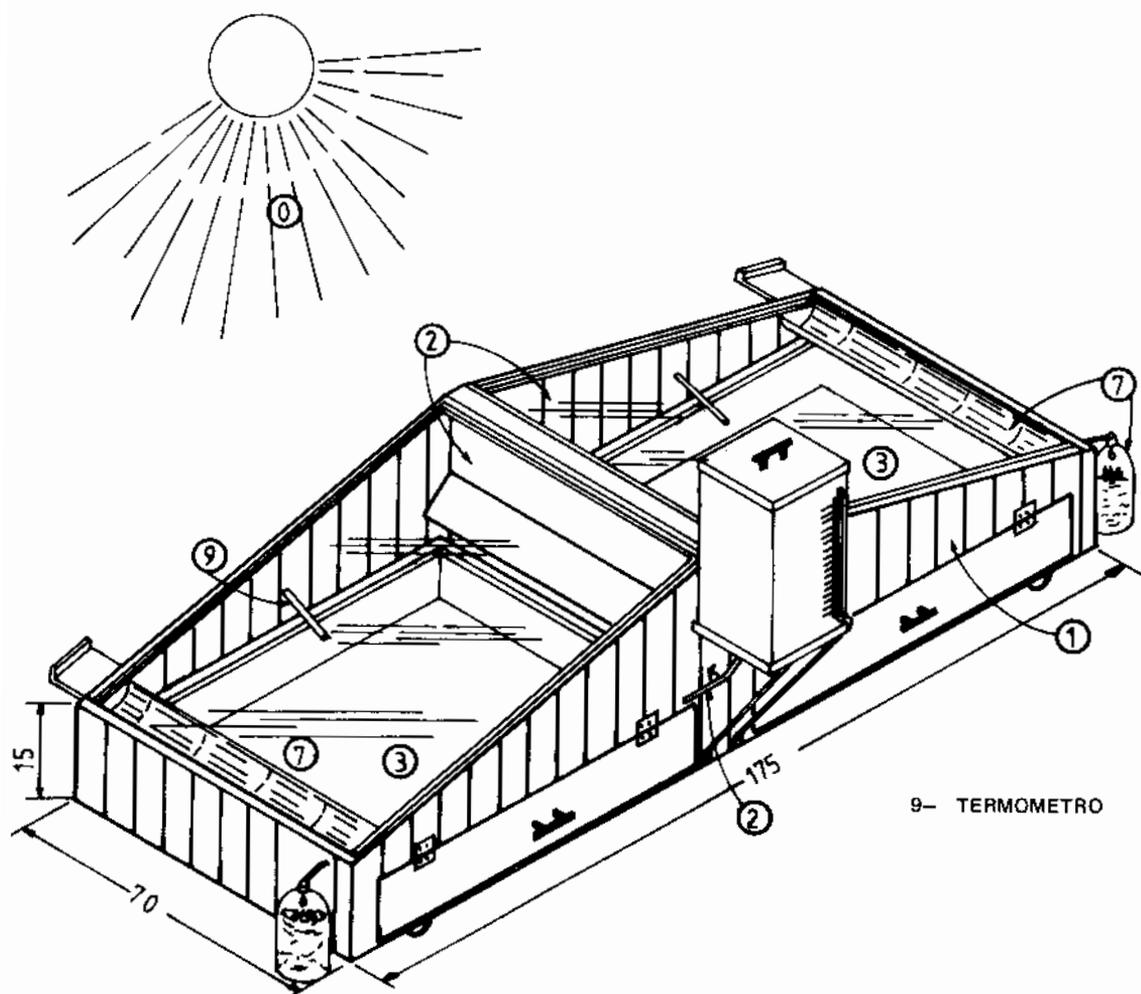


Figura 2a

Esquema de un destilador/desalinizador solar.

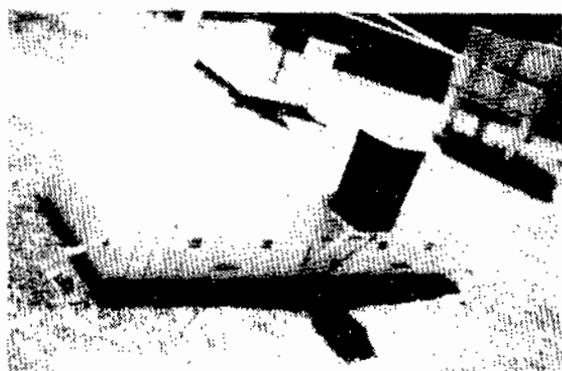


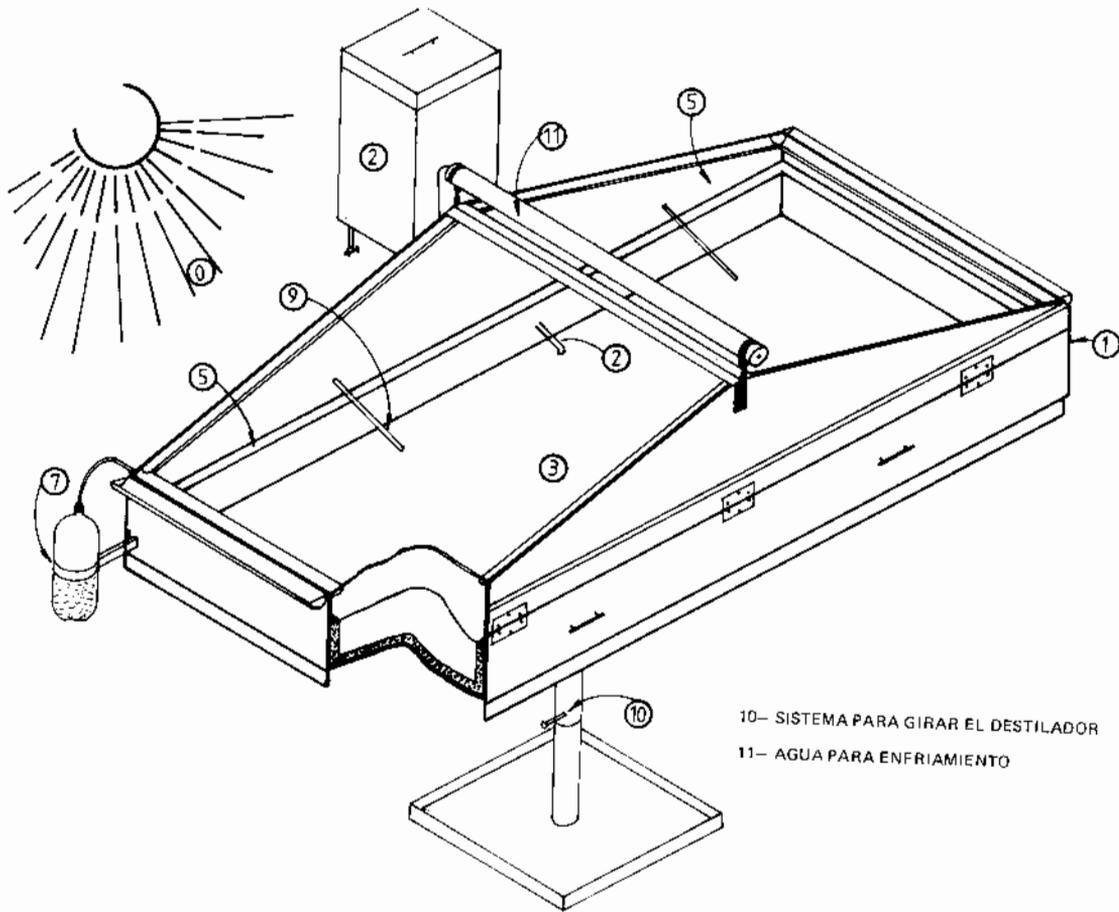
Figura 2b

Destilador solar con área de absorción de 1.10 m^2 .

En el primer prototipo (Fig. 1) la cubeta tiene un área de 0.52 m^2 con largo de 80 cm., ancho de 65.5 cm. y aproximadamente 7 cm. de profundidad. La inclinación del cobertor es de aproximadamente 15° respecto de la horizontal.

El prototipo número 2 (Fig. 2) usa el mismo material y funciona bajo el mismo principio, pero tiene dos cubetas cada una con un área de absorción de 0.52 m^2 , por lo tanto, destila doble cantidad de agua que el caso anterior. Además en este modelo se puede estudiar la destilación de dos diferentes calidades de agua (por ejemplo, del mar y de pozo) o se puede estudiar el efecto del color de cubeta sobre la cantidad de agua destilada.

El modelo 3 (Figs. 3a y 3b) sólo tiene una



10- SISTEMA PARA GIRAR EL DESTILADOR
11- AGUA PARA ENFRIAMIENTO

Figura 3a

Esquema de tercer modelo de destilador/desalinizador solar (detalle en fig. 1a).

cupeta de hierro galvanizado de un área de 1.1 m^2 , pero en vez de pintarla color negro se le colocó un plástico grueso (2-3 mm. de grosor) de color negro, igual a los usados por los salineros, como superficie colectora de calor y contenedora de minerales. La caja exterior es de fibrolit (8-10 mm. de espesor) y las seis canchas dentro del destilador son de fibra de vidrio, en forma de medio tubo, para recoger el agua condensada. Además se puede enfriar artificialmente los cobertores con agua a fin de acelerar el proceso de condensación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se midió la cantidad del agua destilada y la temperatura del agua, así como sus variaciones con la cantidad de la radiación solar y la temperatura del ambiente para los destiladores. Para calcular la

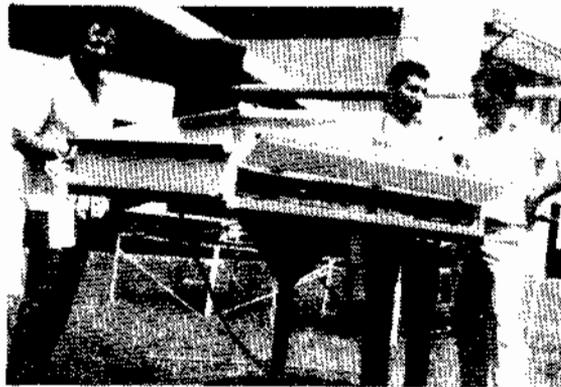


Figura 3b

Destilador solar No. 3 con sistema de enfriamiento.

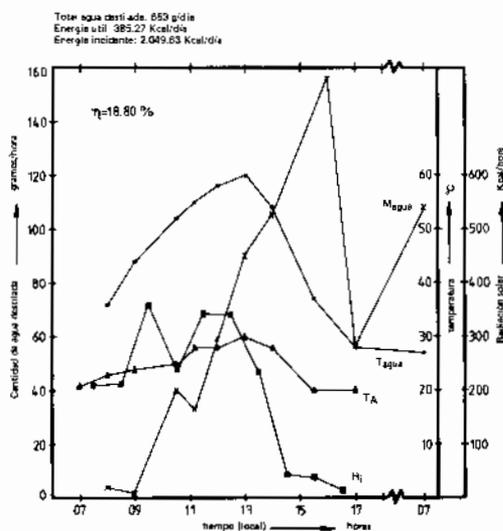


Figura 4

Destilador No. 1. Mayo 9, 1984.

energía útil con base en el agua destilada se puede mencionar que la temperatura inicial del agua es aproximadamente 20°C y la temperatura para evaporar el agua fluctúa entre 40-60°C. La energía necesaria para calentar el agua de 20°C hasta 50°C (promedio) es de 30 cal./g. y para evaporar dicha agua será 560 cal./g. Por lo tanto, la energía total necesaria para calentar y evaporar el agua sería un promedio de 590 cal./g.

Destilador No. 1

Usando una cubeta pintada color negro mate con un área de 0,52 m² y ajustando cada 1 ó 2 horas hacia sol, se describen a continuación los siguientes experimentos:

A. Se llenó la cubeta con 13.2 l. de agua de tubería de la red principal (equivalente 2.54 cm. de espesor) y se usó el vidrio como cobertor para la condensación. El experimento fue repetido durante los días 7, 8, 9, 10 y 11 de mayo de 1984, agregando cada mañana la cantidad de agua del tubo, igual a la que había destilado el día anterior. La Fig. 4 muestra la cantidad de agua destilada, la temperatura del agua en la cubeta, la temperatura del ambiente cada hora y su variación con la radiación solar medida el 9 de mayo de 1984. La temperatura máxima del agua observada

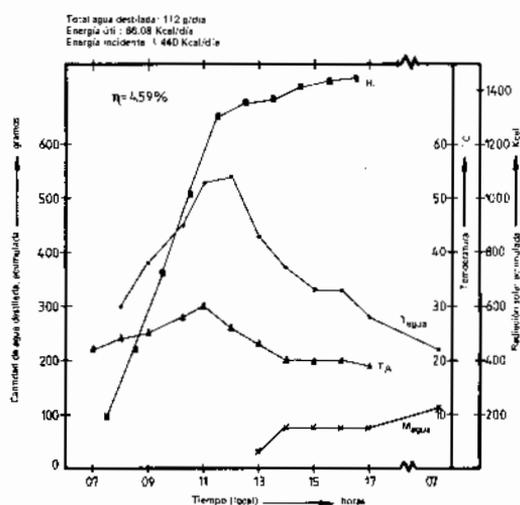


Figura 5

Destilador No. 1. Mayo 17, 1984.

fue de 60°C y la cantidad de agua destilada durante el día y de noche (5 p.m. a las 7 a.m.) fue de 545 g. y 108 g., respectivamente. Con base en estos datos y conociendo la cantidad total de la radiación solar sobre el área (0.52 m²) de la cubeta durante el día (2.049.6 kcal./día) la eficiencia del destilador será de 18,8 0/o. La Fig. 7, muestra el resumen de los datos medidos durante otros días.

B. Se llenó otra vez la cubeta con 13.2 l. de agua de la tubería de la red principal y se usó un cobertor de plástico Tedlar. Se midieron los datos desde el 14 hasta el 18 de mayo de 1984. Cada mañana se añadió la cantidad de agua igual a la destilada el día anterior. La Fig. 5 muestra los datos medidos durante el día 17 de mayo de 1984. La temperatura máxima del agua fue de 54°C y la cantidad de agua destilada durante el día y la noche (de las 5 p.m. a las 7 a.m.), de 75 y 37 g., respectivamente. La eficiencia será en este caso de 4.59 0/o. El resumen de los datos medidos durante otros días se muestran en la Fig. 7. Como se había esperado, cualitativamente, el destilador con el plástico como cobertor tiene baja eficiencia respecto del vidrio, debido a que este último posee baja transmisividad de la radiación térmica y especialmente alta humectabilidad. Por esta

razón, en los otros experimentos se continuó usando el cobertor de vidrio.

C. Se llenó la cubeta con 13 l. de la solución (agua del tubo + 3.3 % sal común) y se usó vidrio como condensador con el fin de destilar el líquido. La Fig. 6 muestra la temperatura del agua y del ambiente durante cada hora, la cantidad de agua destilada y la radiación solar sobre el área de la cubeta, todas medidas durante el 4 de junio de 1986.

La temperatura máxima observada del agua fue de 58°C y la cantidad de agua condensada fue de 358 g. y 92 g. durante el día y la noche, respectivamente.

La eficiencia diaria del sistema, con base en los datos obtenidos y la cantidad total de la radiación solar incidente sobre el área de la cubeta, se calculó en 21 %. El experimento continuó otros días, con la cantidad de la solución restante (obviamente con mayor concentración de sal) hasta que en la cubeta quedó únicamente el producto sólido. La Fig. 7 muestra el resumen de los datos medidos durante los primeros cinco días del experimento (del 4 al 8 de junio de 1984).

En la Fig. 8, la curva A indica la cantidad de agua destilada cada día hasta que terminó el proceso de destilación. La cantidad total del agua destilada es de 4.594 l., en consecuencia la pérdida de

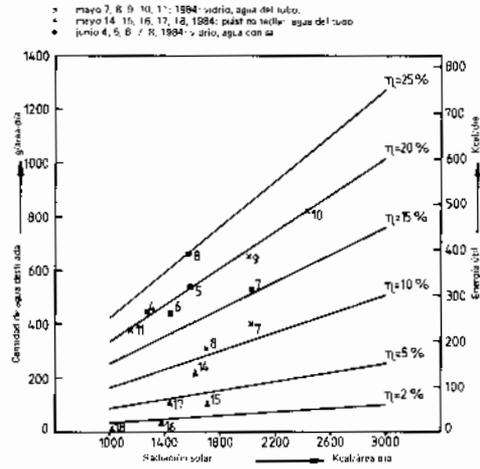


Figura 7

Destilador No. 1 (resumen).

agua es 8.406 l. ó 64.7 %. La curva B, en la misma figura, indica los datos correspondientes pero con agua de tubo (inicial 13 l.), medidos entre el 12 al 19 de marzo de 1985. La cantidad total de agua destilada es 4.25 l. y del agua perdida dentro del destilador es 8.75 l. ó 67.3 %.

Aparte de la conclusión mencionada (el agua destilada por el cobertor plástico es mucho menor que la recogida por el cobertor de vidrio), hemos visto que la eficiencia del destilador 1 es relativamente baja y que hay una pérdida apreciable de la cantidad del agua.

Hay dos razones que justifican los bajos valores de eficiencia obtenidos. Una, que la pared de frente es muy alta (24 cm.). Al experimentar con el destilador se observa que la pared anterior del destilador produce sombra sobre la cubeta, por lo tanto, la radiación solar absorbida por el agua será inferior a la medida por el piranómetro fuera de la cubeta. En un trabajo anterior (Nandwani, 1986), hemos calculado teóricamente el área efectiva de absorción, excluyendo el área de sombra y la eficiencia corregida del destilador número uno; se mostró un aumento cerca del 20 %, respecto del informado anteriormente. En los modelos 2 y 3 se construyó esta pared con 15 cm. de alto. La pérdida de agua es la otra razón de la baja eficiencia, pues al calcular la energía útil, no se toma en cuenta la cantidad de calor invertida para evaporar el agua que se pierde. La menor cantidad de agua re-

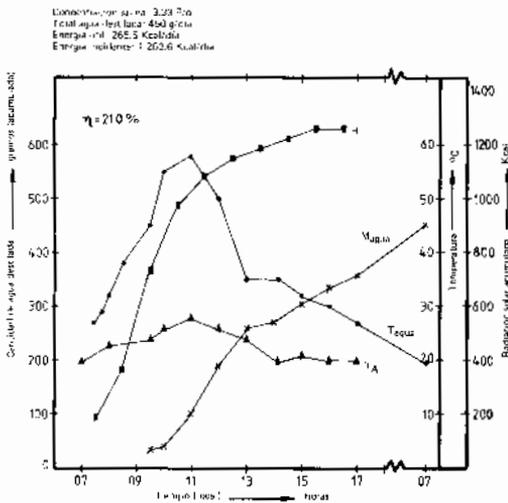


Figura 6

Destilador No. 1. Junio 4, 1984.

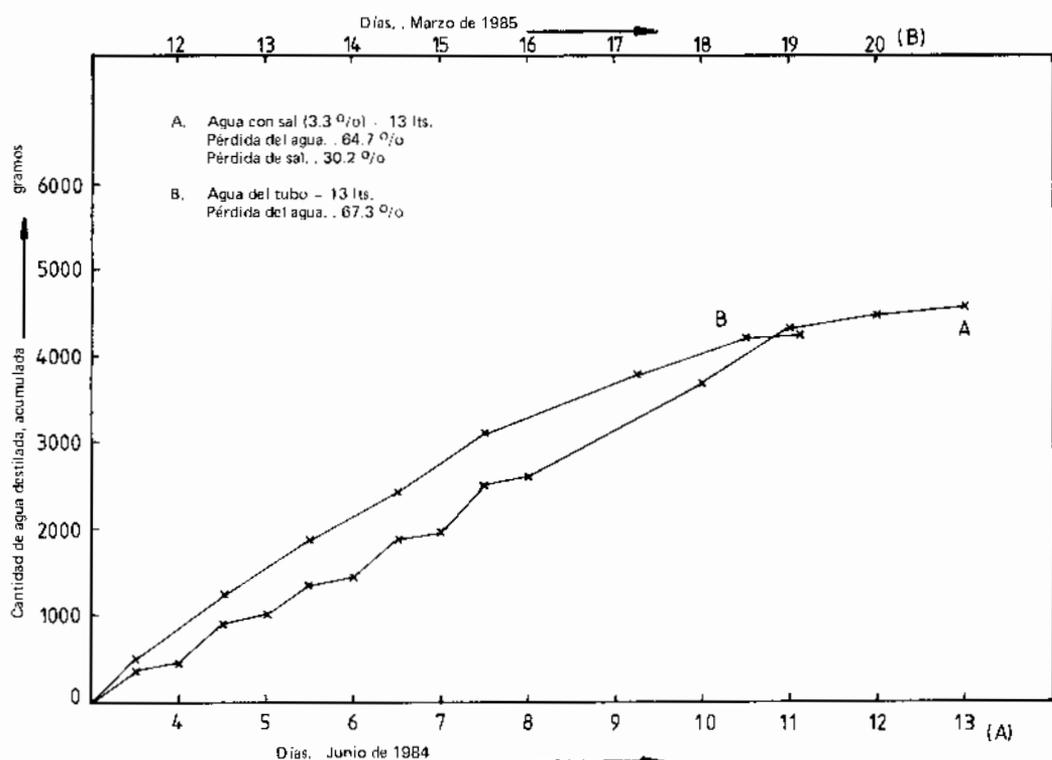


Figura 8

Destilador No. 1. Cobertor... vidrio.

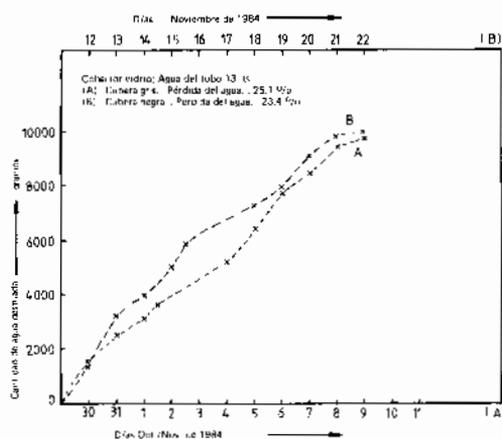


Figura 9

Destilador No. 2

cogida durante todo el proceso, indica que no hubo únicamente condensación en el vidrio, sino también en las paredes (plywood) laterales del destilador. Esta pérdida de agua no es conveniente, pues disminuye la cantidad de agua destilada y también moja las paredes de madera (lo cual reduce la durabilidad del sistema) y la fibra de vidrio (que pierde su propiedad de aislamiento). Para minimizar la pérdida del agua, en los modelos 2 y 3, además de bajar la altura de las paredes, hemos usado más canoas a los lados para recoger el agua destilada y dirigirla a una canoa grande de frente, pasando finalmente a un recipiente colocado fuera del destilador.

Destilador No. 2

Como hemos explicado anteriormente, este destilador tiene dos cubetas, cada una con un área de 0.52 m² (Figs. 2a y 2b), una pintada de color gris y otra de color negro mate; el cobertor en ambos lados es de vidrio de 3 mm. de grueso.

Se estudió el comportamiento del destilador usando una cubeta con agua del tubo y con el agua concentrada de sal común (NaCl).

A. Se llenó la cubeta gris con 13 l. de agua de la tubería, y el destilador fue ajustado hacia el sol cada 1 ó 2 horas. Se midió la cantidad del agua destilada, la temperatura del agua y del ambiente cada 5 horas (7 a.m., 12 m. y 5 p.m.). Se repitió el proceso durante varios días hasta que toda el agua de la cubeta se evaporó.

La Fig. 9A muestra únicamente la cantidad del agua destilada desde el principio (30 de octubre de 1984) hasta el final del proceso (11 de noviembre de 1984). La cantidad total del agua destilada fue de 9.737 l. y el agua perdida fue de 3.26 l., equivalente a un 25 %.

Se repitió el experimento con la misma cantidad de agua del tubo, usando otra vez la cubeta pintada de color negro mate. Los resultados se indican en la Fig. 9B (12 al 22 de noviembre de 1984). Aunque no se puede realizar una compara-

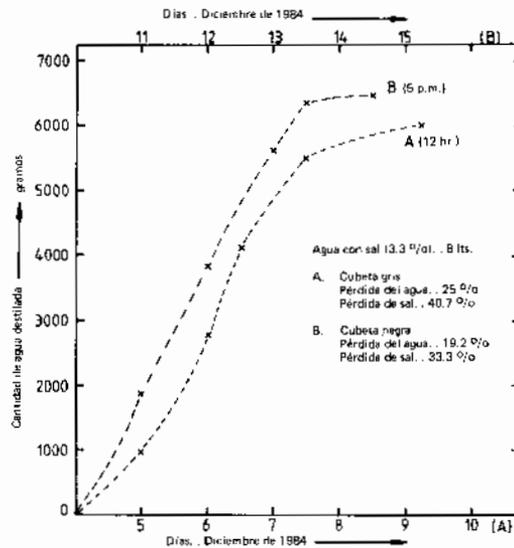


Figura 10

Destilador No. 2. Cobertor. . . vidrio.

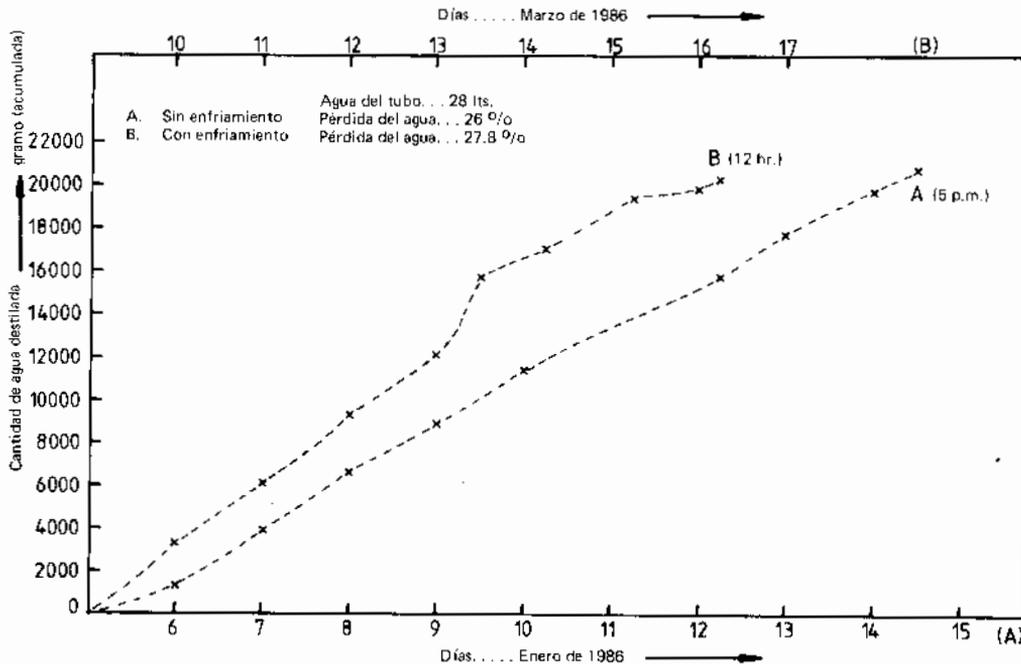


Figura 11

Destilador No. 3.

ción estricta con el caso 9A, se puede observar que la cantidad diaria del agua destilada es mayor que la destilada en la cubeta gris. En este caso el total del agua recogida durante el proceso fue de 9.951 l., perdiéndose cerca de 3.049 l. (23.4 %/o, menos que en la cubeta gris).

B. Se repitió el experimento con 8 l. de solución de agua con 3.3 %/o de sal común (264 g.), los datos fueron medidos hasta que terminó el proceso de evaporación. Las Figs. 10A (del 5 al 10 de diciembre de 1984) y 10B (del 11 al 15 de diciembre de 1984) muestran la cantidad de agua destilada en la cubeta gris y negra, respectivamente. En la cubeta gris la pérdida de agua fue de 1.998 l. (25 %/o) y en la de sal fue de 107.6 g. (41 %/o), mientras que en la cubeta negra la pérdida de agua fue de 1.535 l. (19.2 %/o) y la de sal fue de 88 g. (33.3 %/o). Por lo tanto, se puede concluir que la pérdida de agua y de sal en el destilador con la cubeta pintada de color gris es mayor que la que ocurre en la cubeta pintada de color negro mate. Además la producción diaria de agua y sal es mayor en la cubeta negra que en la cubeta gris.

Realizando una comparación de las Figs. 9 y 10 con la Fig. 8 se puede afirmar que la pérdida de agua en este destilador (No. 2) es cerca de un 40 %/o menor que la pérdida en el destilador número uno.

Destilador No. 3

Este destilador (Figs. 3a y 3b) tiene una cubeta de área 1.1 m² cubierto con un plástico negro (igual al que es usado por los salineros). Se estudió el destilador con 28 l. de agua de tubo, sin y con enfriamiento artificial y fijado siempre hacia la dirección E-O.

A. Sin enfriamiento artificial del cobertor

La figura 11A muestra las cantidades de agua destilada diariamente a partir del 6 de enero de 1986 hasta el 15 de enero de 1986, cuando se terminó el proceso de evaporación.

El proceso duró aproximadamente 9 días y se pudieron recoger 20.775 l. de agua destilada, con una pérdida de 7.225 l. (26 %/o).

B. Con enfriamiento artificial del cobertor

El tubo plástico (No. 11, Fig. 3a), que tiene

varios agujeros en dos lados, está conectado a una red de agua. Del tubo sale agua, que gotea por encima de los vidrios de ambos lados, enfriando el cobertor, acelerando así los procesos de condensación y destilación.

La Fig. 11B muestra las cantidades de agua destilada diariamente, del 10 al 17 de marzo de 1986, hasta que terminó el proceso de evaporación. En 7,5 días que duró el proceso se recogieron 20.216 l. de agua destilada y se perdió 7.784 l. de agua (27.8 %/o). Se puede observar de las Figs. 11A y 11B que la cantidad de agua destilada diariamente con enfriamiento artificial es mucho mayor que la destilada sin enfriamiento.

C. Finalmente se analizó la calidad de agua del tubo y agua destilada en el destilador N° 3. La tabla 1 muestra los resultados del análisis, realizado en la Escuela de Química de la Universidad Nacional.

Aunque la primera destilación eliminó varios minerales, si fuera necesario se puede destilar una vez más, con el fin de usar el agua en hospitales o laboratorios; también puede agregarse otros minerales, necesarios para la bebida.

En un próximo trabajo se analizará teóricamente todos los resultados obtenidos.

TABLA 1

ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA (MARZO 1986). MODELO N° 3

Parámetro	Agua de cañería	Agua destilada
Dureza	36.0 mg/l., CaCO ₃	4.0 mg/l., CaCO ₃
pH	7.15	5.00
Plomo	N.D.	N.D.
Cloruro	180 mg/l.	10 mg/l.
Sulfato	100 mg/l.	10 mg/l.
Cobre	N.D.	N.D.
Conductividad eléctrica	80.0 mhos/cm.	13.0 mhos/cm.

N.D.: No detectable.

CONCLUSIONES

Aunque varias conclusiones con base en los datos experimentales fueron informados en la sección anterior, se puede resumir que un destilador con cobertor de vidrio, cubeta de color negro, paredes de baja altura y de concreto, canales para recoger el agua destilada a los tres lados y con enfriamiento del cobertor (especialmente durante la época de mucha radiación) y que utiliza la superficie del cobertor para recoger agua pluvial durante la época de lluvia, será un óptimo modelo de destilador. Esta experiencia se puede aprovechar para construir un destilador grande con fines de satisfa-

cer las necesidades básicas de agua en una comunidad.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a los señores Eliécer Madrigal y Pedro Arias por la construcción de los destiladores, al señor Marvin Alpizar por ayudar con la obtención de los datos y por realizar los dibujos, al M.Sc. Juan Valdez, Jefe de Sección de Análisis Químico, por efectuar el análisis del agua, y a la señorita Adriana Vargas, por mecanografiar el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Costa Rica. Memoria Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 1985. Taller Seminario sobre la situación de la mujer en relación a la carencia de agua potable. 20-21 de julio.
- Nandwani, S.S. and S. Marín Von Koller. 1986. Estudio preliminar de un destilador solar para producir sal y agua potable. *Ciencia y Tecnología*, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. 10 (1): 39-49.
- Castillo, S. 1986. Numerosas familias siguen dependiendo del pozo negro. *La Nación*, Costa Rica. 12 de mayo.
- Rovani, Y. 1982. El problema de abastecimiento de agua y de eliminación de residuos, *El Banco Mundial y el mundo más pobre*. Estados Unidos. pp. 16-20.
- Van Dam, A. 1982. El mundo tiene sed. *Visión*. Vol. 59. No. 2. 26 de julio. pp. 6-13.