

## **PEQUEÑA PLANTA EXPERIMENTAL DE DESTILACIÓN SOLAR**

Amílcar Fasulo, Carmen Esteban, Luis Odicino y Jorge Follari

Laboratorio de Energía Solar - Departamento de Física  
Universidad Nacional de San Luis  
Chacabuco y Pedernera 5700 – San Luis  
afasulo@unsl.edu.ar, cesteban@unsl.edu.ar, odicino@unsl.edu.ar, jfollari@unsl.edu.ar<sup>1</sup>

**RESUMEN** Con la finalidad de proveer de agua destilada de óptima calidad a los Laboratorios de la Universidad construimos una pequeña planta de destilación solar. Le dimos el carácter de experimental con la finalidad de poner a prueba los distintos diseños y materiales propuestos en los últimos años. Presentamos los resultados experimentales de ocho meses continuados de recolección de datos. Estos nos permiten disponer de conclusiones sobre el comportamiento de los dos tipos de cúpulas vidriadas desmontables existentes. Estas se obtienen por comparación directa entre ellas y cuando la radiación solar es reforzada mediante la incorporación de espejos. Estos resultados nos permiten validar los obtenidos siguiendo la trayectoria de los rayos solares, que dan una mayor producción (20 a 30%) para uno de estos. Adicionalmente presentamos datos comparativos de la producción de dos tipos de destiladores solares: Destiladores con bateas de cemento armado, que se encuentran operando desde hace 20 años con los destiladores con bateas livianas actuales. Se presentan gráficas y tablas.

**Palabras claves:** Destilación Solar, Agua, Materiales, Diseño

### **INTRODUCCIÓN**

En dos presentaciones anteriores mostramos los avances obtenidos en evaluación de factibilidad, diseño, construcción y primeros resultados obtenidos con un conjunto de destiladores solares de dos metros cuadrados cada uno (A. Fasulo et al, 2004). El conjunto forma parte de una pequeña planta experimental de destilación solar construida con la finalidad de proveer de agua destilada a los laboratorios de química y bioquímica de la Universidad. Los destiladores fueron en parte contruidos por una firma local dedicada a explotar esta actividad y terminados en nuestro laboratorio. Se siguió este procedimiento por entender que se presentaba una oportunidad para comparar diseños diferentes, principalmente en las formas de las cubiertas vidriadas, en las cuales manteníamos algunas diferencias de criterio con los fabricantes. Verificar por otra parte, que el aporte de radiación solar extra mediante espejos resulta de importancia. Buscamos determinar experimentalmente cual resultaba mejor entre dos opciones posibles, en función del tipo de forma en el condensador empleado. Las experiencias también nos permitieron comparar la producción de los nuevos destiladores solares contruidos con materiales livianos con la producción de dos antiguos destiladores solares contruidos con material pesado (cemento armado y mampostería) que se encuentran en operación desde hace 20 años.

A lo largo de los dos últimos años hemos determinado sistemáticamente la producción de cada uno de sus componentes, hemos ido detectando problemas y resolviéndolos a medida que estos fueron apareciendo. El resultado de esta tarea nos ha demostrado la complejidad del problema que se plantea cuando se requiere instalar un servicio que sea permanente y eficiente. No resultó simple, como imaginamos en un principio, la tarea de diseño, construcción e instalación de un sistema que nos parece adecuado y que presenta desempeño adecuado en el corto plazo, o sea el plazo que se destina a las pruebas y puesta en funcionamiento. La puesta en operación de varias unidades de una misma característica, por otra parte, permite detectar defectos y fatiga de los materiales o de los procedimientos de construcción que no siempre son detectadas cuando se las experimenta en forma individual. Defectos de diseño, como de construcción, fueron puestos de manifiesto a lo largo del tiempo y en función de cambiantes condiciones meteorológicas a las que se ve sometido todo dispositivo destinado a operar todo el tiempo a la intemperie.

Adquirimos las bases de las bateas y los perfiles de acero inoxidable que contienen el canal colector y el soporte para la cubierta vidriada y conforme diseño del fabricante. Los destiladores fueron armados en nuestro laboratorio introduciendo un par de modificaciones que consideramos necesarias.

---

<sup>1</sup> Trabajo parcialmente financiado por el FONCYT PICT 2003 15077

Luego hubo otras modificaciones, durante el proceso de operación del sistema, las que fueron necesarias tanto para mantenerlo en operación, como para superar algunos defectos de diseño del dispositivo original. Las partes adquiridas consisten en una base plana de 2 metros cuadrados de superficie (desarrollada con perfiles de hierro L 50 x 50 y malla de alambre soldado de cuadros 10 x 10 cm). Esta base es sostenida, unos 50 cm por encima de la superficie del terreno, por cuatro patas construidas con tubos de sección rectangular de dos diámetros muy próximos. De manera que uno de los tubos puede ser introducido en el otro. Ambos tubos se ajustan entre si por medio de una tuerca, permitiendo de esta forma regular la superficie plana del destilador a la altura deseada (Follari et al 2005). Sobre la superficie plana se deposita una placa de poliestireno expandido de 2 cm de espesor. La batea se construye sobre esta base, con un marco de chapa galvanizada de 10 cm de altura, en uno de los extremos y 8 cm en el opuesto (a lo largo de la base rectangular). Un plegamiento en ángulo recto de 2 cm, permite conformar el borde superior de la batea. En la cavidad que queda, se alojan placas de poliestireno expandido de 2 cm de espesor, constituyendo así los laterales de la batea. Este marco es sujetado a la base de hierro L por medio de remaches. Los 2 cm de diferencia en la altura de los laterales de la batea, tienen por finalidad dar el desnivel necesario para que deslice por gravedad el destilado en el canal colector que se apoyará parcialmente sobre estos laterales. Una manta impermeable de material plástico cubre el interior de la batea y desborda por los laterales hacia el exterior, constituyendo la superficie que contendrá el agua cruda del destilador. La componente colectora de agua destilada esta basada en dos molduras de acero inoxidable de 1mm de espesor constituida por un plegamiento en forma de V. Uno de los laterales de la V, el que se ubicará hacia el exterior de la batea, se extiende un par de centímetros más, para constituir, por medio de un par de plegamientos el apoyo parcial de la cubierta superior sobre la batea y a su vez el alojamiento y soporte de las cubiertas de vidrio. El primer plegamiento deja un cm de superficie en posición horizontal y el segundo deja un cm de superficie perpendicular a la anterior, en la primera se apoya el vidrio y la segunda evita que se deslice hacia en exterior. De esta forma se posibilita el cierre entre la sección superior y la batea. Un segundo perfil del mismo material y espesor con una aleta de 2 cm se presenta soldado, por esta aleta a la cara inferior del sector horizontal del perfil anterior. El lateral vertical de este nuevo perfil se extiende seis cm, constituyendo el otro soporte parcial de la cubierta vidriada que será soportado por el fondo de la batea. Este a la vez constituirá el sello entre la cubierta superior y la batea, por medio del agua contenida en esta, separando así la atmósfera contenida por debajo de la cubierta vidriada del medio ambiente (Figura 1, esquema de la izquierda).

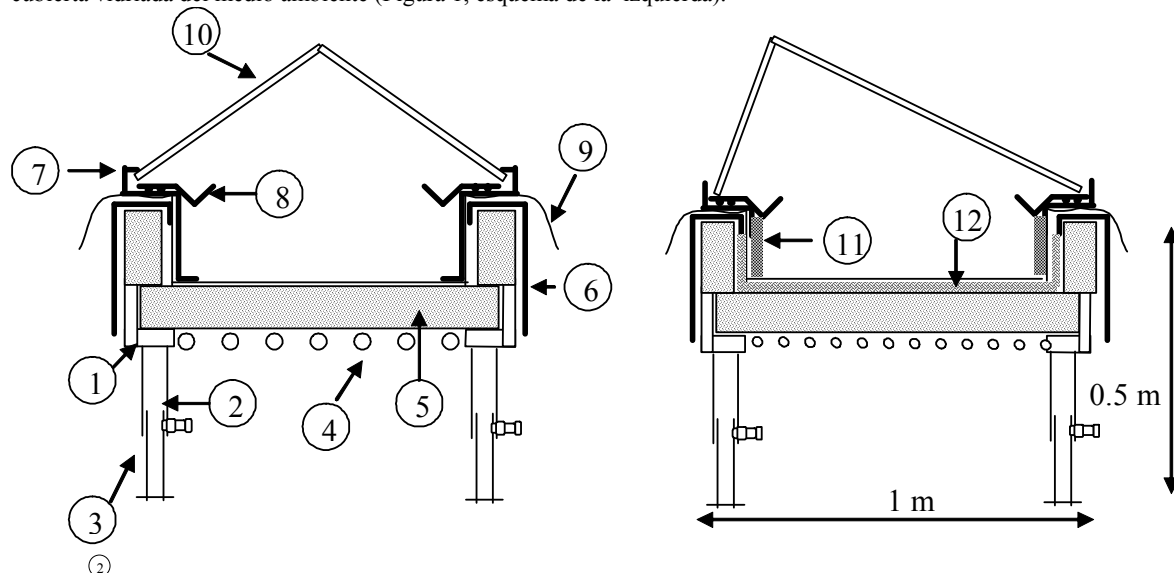


Figura 1: Esquema de los dos sistemas de cubiertas empleados, a la izquierda el simétrico y a la derecha el asimétrico. Detalles en ambos de la estructura de las bateas. En figura 1 las provistas por el fabricante y en la figura 2 las primeras modificaciones efectuadas en el laboratorio: (1) Fe L 50 x 50 mm. (2) Caños estructurales 30 x 30 mm y 25 x 25 mm. (3) Tuerca y tornillo. (4) Enrejado 100 x 100 mm. (5) Poliestireno expandido 30 mm espesor. (6) Perfil en chapa galvanizada de 1 mm. (7) Perfil acero inoxidable 1 mm. (8) Canal colector en idem (7) soldado a este. (9) Manta impermeable de ... (10) cubierta de vidrio. (11) Placa de policarbonato celular, 6mm de espesor. (12) Carton corrugado.

## CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

La primera experiencia, consistente en un análisis técnico, nos mostró la necesidad de introducir algunas modificaciones tanto en los materiales como en el diseño de parte de los dispositivos adquiridos. Estas modificaciones consistieron en:

- 1) introducción de una doble cubierta de cartón corrugado entre la placa de poliestireno expandido y la cubierta de material plástico negro que constituye el fondo absorbente de la radiación solar. Esta capa de material aislante fue introducida para proteger el poliestireno expandido de posibles sobrecalentamientos de la cubierta de plástico negro que lo destruirían. Situación que se presentaría ante la posible falta de agua en la batea.
- 2) Modificación en el marco de acero inoxidable que contiene los canales colectores, la cubierta vidriada y los laterales que llegan hasta el fondo de la batea, cumpliendo la función de sellar la cubierta superior con la batea por medio del agua contenida en esta última.

Cortamos estos laterales y los reemplazamos por un material aislante, policarbonato celular de 6 mm de espesor. Usamos el espacio que queda entre las dos moldura para encastrar y sellar con resinas plásticas el policarbonato al marco de acero. Figura 4 (a) y (b). Estas dos modificaciones mostraron su necesidad durante el proceso de armado de la cúpula del destilador: El pegado de las cubiertas de vidrio, por el tamaño de la cúpula, se efectúa en el lugar de emplazamiento del destilador y sin agua en la batea ( para que la evaporación de esta no afecte el fraguado de las resinas ). Las molduras en cuestión, por la presión del peso de la cúpula y la temperatura fundieron la película de plástico que cubre el fondo de la batea, en varios puntos, en particular aquellos sobre los que incidió la radiación directa. En estos casos el poliestireno expandido no fue afectado, poniendo en evidencia lo acertado de incluir una capa de cartón corrugado entre este y la cubierta de plástico negro.

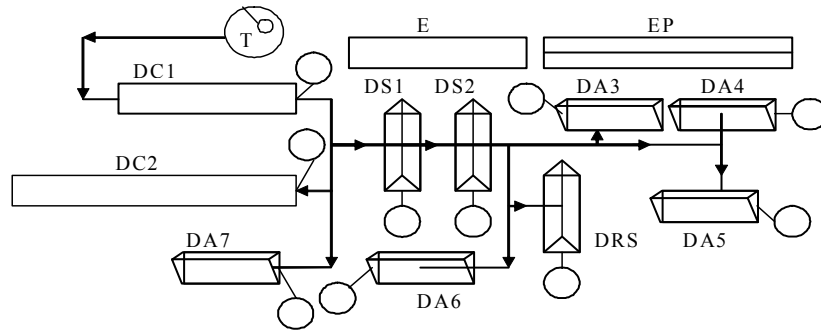


Figura 2 Plano de distribución de los destiladores, espejos tanque de alimentación y tuberías de distribución

En una primera etapa se instalaron seis destiladores, tres de estos con una cubierta vidriada simétrica y tres con cubiertas asimétricas. Estos dispositivos se instalan en la terraza del edificio en que se encuentra el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad, y en las proximidades de otros dos destiladores, construidos con materiales pesados en la década del 80, que se han mantenido en funcionamiento. La orientación de cada tipo de destilador es la que exigen las formas de las cúpulas para obtener la mayor captación de la radiación solar. En la figura 2 podemos ver el diagrama de la pequeña planta en su estado actual. En esta distinguimos: E Espejo plano de 1m por 3 de largo; E.P. dos espejos de 40 cm de ancho por 4 m de largo; T tanque de alimentación; DC1 y DC2 son los destiladores de cemento armado de 3 m<sup>2</sup> y 5 m<sup>2</sup> respectivamente; DS1,DS2 son los destiladores con cúpula simétrica que reciben la radiación solar directa y del espejo fijo E; DA3 y DA4 son los dos destiladores de cúpula asimétrica que reciben la radiación solar directa y de los espejos EP; DRS es un destilador de referencia con cúpula simétrica, DA5, DA6 y DA7 son destiladores con cúpula asimétrica. En la figura 3 podemos ver una fotografía de la pequeña planta, tomada desde el lateral este



Figura 3 Fotografía de la pequeña planta experimental de destilación solar

## MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE DESTILADORES

Con el sistema en funcionamiento fueron surgiendo numerosos problemas que afectaron tanto la posibilidad de mantenerlo en operación en algunos casos como la calidad de la producción en otros. La solución de cada uno de estos requirió modificaciones en el diseño, materiales y recomendaciones para los procedimientos de construcción en otros:

A) Con el paso del tiempo (semanas) observamos que las paredes laterales de las bateas se deformaron apartándose, en su parte central, del plano que las debía mantener unidas a la cubierta superior desmontable. También observamos que el peso del conducto de agua cruda, que cuelga desde el centro de la batea, no es suficiente para mantener el plano de su extremo superior horizontal y en el nivel mas bajo en el fondo de la batea. Ambos problemas los resolvimos incorporando un travesaño de hierro L, de 20 x 20 mm, 104 cm de largo, con dos cortes de 10 cm cada uno, soldados perpendicularmente en los extremos de la barra, formando una U. Esta fue aplicada, por la parte inferior exterior, en el centro de la batea. Se agregó así un soporte rígido para mantener sujeto al fondo de la superficie el dispositivo de ingreso de agua cruda y por sus extremos soportar las deformaciones de los laterales de la batea.

B) Con la llegada de las lluvias nos encontramos con las bateas inundadas. El agua de lluvia que desliza por la cubierta vidriada ingresa a la batea por uno de los extremos. Lo hace por el extremo que se encuentra a menor altura, debido al desnivel que se le da al marco de acero que contiene el canal colector de agua destilada y que a su vez soporta los vidrios. Este canal colector, en forma de V, que se encuentra inmediatamente debajo del vidrio evacua el destilado a través de un tubo soldado al extremo del perfil. Este tubo se aloja en un corte practicado en uno de los laterales extremos de la batea. Quedando el tubo así como el perfil en V del canal colector por debajo de los bordes de la batea. El agua de lluvia ingresa por la parte superior de la moldura a la batea y de esta al canal colector del destilado. El agua de lluvia que ingresa así contamina el producto, pues arrastra el polvo y todos los otros materiales depositados sobre los vidrios de la cubierta. Para superar este problema de debió insertar una pequeña placa que conduzca el agua, que desliza por los vidrios, fuera de la moldura y del tubo de salida del destilador. Como solución definitiva se propone que el canal colector esté por encima de los bordes de la batea y que el marco de acero se extienda por sobre el borde de la batea, con un pequeño desnivel que permita la salida del agua de lluvia o lavado. (e) de la figura 4.

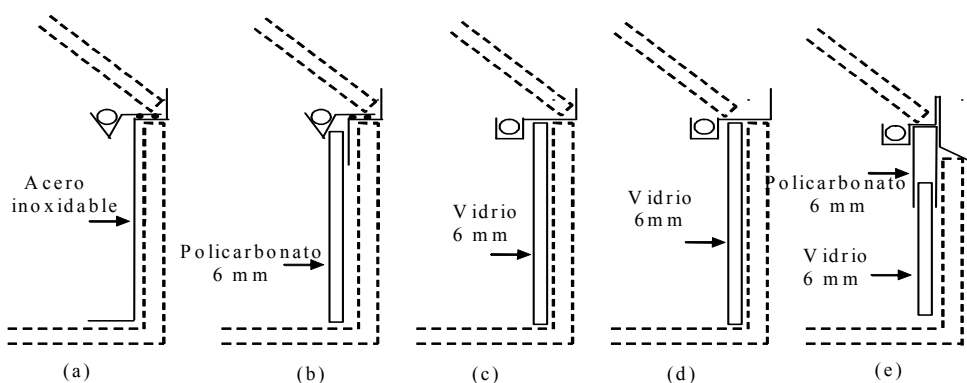


Figura 4 diagrama de las distintas soluciones aportadas para el marco soporte de la cubierta vidriada, canales colectores y marco de contacto y sellado entre la cúpula y la batea. (a) Perfil de acero inoxidable propuesto por el fabricante. (b) modificación introducida, cambiando parte del perfil de acero inoxidable por policarbonato celular. (c) Segunda propuesta generada por el fabricante, cambio en el perfil de acero inoxidable e introducción de marco de vidrio. (d) Solución adoptada en el Laboratorio al problema de acumulación de agua destilada en el borde anterior al canal colector y solución final propuesta por el Laboratorio.

C) Algas en los destiladores. Estas se desarrollan durante todo el año, encuentran el ambiente apropiado en las bateas, abundante radiación solar y temperaturas calidas. Su presencia produce reducción del destilado, emisión de gases que son incorporados al producto afectando su calidad. Tapan las bocas de ingreso del agua cruda. La solución de este problema se está intentando mediante el tratamiento del agua cruda. Esta la hacemos pasar primero por un tanque de acumulación, en el cual procuramos quitar parte de las materias sólidas por medio de un filtro con arena muy fina (cuarzo molido), luego ingresa al destilador de cemento, DM1, por uno de sus extremos. Junto con la apertura de la llave de entrada se enciende un tubo de radiación UV, germicida, que se instaló en el extremo opuesto del DC1, por el cual sale el agua hacia los otros destiladores.

D) Pérdidas del agua destilada. Algunos de los destiladores, luego de un tiempo presentan menor producción con respecto a otros. Al principio leves diferencias que se fueron incrementando con el tiempo. Hay que destacar que estas pérdidas fueron detectadas gracias a que tenemos en operación varios dispositivos de las mismas características. Una revisión completa del canal colector nos mostró que las pérdidas se producen por deterioro de las soldaduras entre la chapa de acero inoxidable y el tubo de salida del destilador. El acero inoxidable se suelda con aporte del mismo material en una atmósfera inerte. Si esta atmósfera es defectuosa la soldadura contiene oxido y este se va con el tiempo dejando las perforaciones encontradas. Este problema se solucionó mediante resinas plásticas y en el futuro se debe prestar mayor atención calidad de estas.

E) Deterioro del policarbonato celular. En los seis primeros destiladores instalados, por razones económicas y de diseño, no contienen un marco cerrado de acero. Este está compuesto por dos canales colectores con sus respectivos tubos de salida Figura 2 (b) y se cierra por los extremos mediante dos superficies de policarbonato celular que se extienden desde la base de la batea a la parte superior uniéndose con los vidrios planos inclinados. Es decir no colectamos el agua que condensa sobre las caras laterales extremas verticales de la cubierta superior. El policarbonato en contacto con el agua se deteriora progresivamente, llegando a desintegrarse luego de un tiempo, unos dos años a temperaturas bajas del agua. Pero a partir del año muestra signos de deterioro. El proceso que ocurre en el policarbonato en contacto con el agua es llamado de hidrolización. La solución de este problema nos llevará en el futuro inmediato a reconstruir las seis cubiertas superiores de los destiladores, cambiando o reemplazado el policarbonato por otro material. Adelantándonos a este proceso construimos e instalamos dos nuevos destiladores, DA6 y DA7. Estos tienen las mismas características, con los agregados ya mencionados, en las bateas. Difieren en el marco y la cubierta semitransparente, que ahora es toda de vidrio. El marco es un cuadro cerrado de las dimensiones de la batea, desarrollado con chapa de acero inoxidable de 1 mm de espesor y según el diseño de la figura 2 (c). La placa que va desde el marco a la base de la batea ahora es de vidrio de 6 mm de espesor. No es la solución ideal pero es la más aceptable en este momento. Seguiremos buscando el material apropiado para esta parte del destilador.

F) Problemas con el último diseño. En cuanto fue construido y puesto a funcionar este nuevo destilador, construido de acuerdo a lo mencionado en el punto anterior, puso en evidencia un problema no tomado en cuenta. Se encontró una menor producción con respecto al destilador de la versión original, cuando esta debiera ser por lo menos levemente superior, por cuanto ahora estamos colectando el vapor que condensa sobre las caras verticales de los extremos. Las causas de este problema están en el cambio de tamaño del soporte de los vidrios. Con la finalidad de dar una base de apoyo y de contacto mayor entre la cubierta superior y la batea, se estiró la banda horizontal del perfil de acero, llevándola a unos 3 cm de ancho. Las cubiertas de vidrio dejan ahora un espacio de unos 2 cm entre estas y el canal colector Figura 2 (c). Por el peso de la cúpula de vidrio el extremo del marco sobre las que estas se apoyan cede levemente, generando un pequeño desnivel entre la línea de apoyo del vidrio y el borde del canal colector. Allí se acumula pequeñas cantidades de agua destilada que se vuelve a evaporar. Este problema se resolvió llevando las cubiertas de vidrio hacia el borde del canal colector. Figura 2 (d). Con esta nueva disposición el destilador produce un 10% mas que su similar.

G) Problema residual con la solución del problema anterior. La disposición (d) figura 2 a que nos lleva la solución del problema anterior deja un espacio entre las soldaduras de la cubierta de vidrio y el extremo exterior del marco de unos dos centímetros, que ahora forma un canal externo y en el cual se acumula el agua de lluvia o del lavado. Luego de cada lluvia, ingresa agua desde el exterior al canal colector, por las soldaduras plásticas. Este problema no lo hemos podido solucionar hasta ahora, posiblemente por que al no tener un tope la cubierta vidriada se desplaza levemente, por efectos de la dilatación térmica, viento, etc, de forma tal que deteriora las soldaduras plásticas. La solución de este problema esta en restituir el plegamiento vertical muy próximo al borde del canal colector, tal como hemos usado en otros destiladores. Por ejemplo los destiladores de cemento con cales colectores de hasta 5 metros de largo no han presentado fallas desde la última reparación que se efectuó alrededor de 1992. En la figura 1 (e) mostramos el corte del marco que actualmente estamos empleando en los destiladores con acumuladores. En este además de lo señalado hemos combinado policarbonato celular con vidrio para la pared que separa el marco del fondo de la batea. Experimentamos esta opción por que buscamos mantener térmicamente separado al canal colector del agua caliente de la batea.

## RESULTADOS OBTENIDOS

En las tablas siguientes podemos ver los datos colectados desde diciembre del 2005 a la fecha. Hemos tomado meses completos. En los casos, siempre de unos pocos días, de datos perdidos los hemos reemplazados por el valor medio de los datos medidos. Cuando se trató de datos perdidos por desborde de las bateas y se debe tirar el contenido del tanque de acumulación individual, se reemplazo el dato por un valor aproximado ajustado con la relación histórica del dispositivo con los otros que no presentaron este problema. En otros casos se han mantenido dispositivos que presentan deterioro en la colección, caso del DS2, para evaluar el progreso de tal defecto con el tiempo. Este procedimiento nos permitió recuperar datos de la producción del dispositivo cuando estuvo emplazado en otra posición. Los datos por su extensión son presentados en forma fraccionada, agrupados conforme las características que deseamos comparar.

1) Destiladores con Cubiertas Asimétricas, DA Vs Simétricas, DS. En la tabla 1 podemos ver los resultados de la producción de estos dos tipos de cubiertas, se verifica la predicción teórica efectuada oportunamente (Fasulo et al. 2004) en la cual como consecuencia de la mayor captación de radiación solar por el vidrio principal de la cubierta asimétrica era de esperar una mayor producción de esta con respecto a la simétrica y que esta relación sería mayor para los meses de invierno. En efecto, en promedio los DA producen en promedio entre los meses de diciembre y julio entre un 25 a 30 % mas que los DS. También podemos ver que la relación de eficiencias de los DA crece desde un 15% en diciembre hasta un 41% en junio.

Tabla 1 Producción de los destiladores livianos con cubiertas vidriadas simétricas y asimétricas, valores mensuales, en litros, de diciembre a julio. Diferencias porcentuales comparativas de la producción entre ambos tipos.

Producción mensual en litros					Diferencias %		
Mes	D6,A	D5,A	D7,A	DSRef.	D6,A a DSRef.	D5,A a DSRef.	D7,S a DSRef.
12	209,2	208,5		176,7	15,5	15,3	
1	224,6	231,2		175,0	22,1	24,3	
2	165,1	173,4		148,6	10,0	14,3	
3	131,2	136,8	124,6	87,9	33,0	35,7	29,5
4	114,8	121,6	104,7	74,6	35,0	38,6	28,8
5	79,8	92,5	72,3	56,5	29,2	38,9	21,8
6	52,3	59,7	52,8	35,2	32,6	41,1	33,4
7	51,3	60,7	55,3	38,8	24,2	36,0	29,7
<b>Media</b>	<b>128,5</b>	<b>135,6</b>	<b>81,9</b>	<b>99,2</b>	<b>25,2</b>	<b>30,5</b>	<b>28,6</b>

2) Destiladores con espejos. Dos espejos fueron ubicados en el extremo sur de la planta, de forma tal que se pudiesen instalar dos destiladores con cúpula simétrica y dos con cúpula asimétrica. El primer par recibe la radiación solar reflejada por un espejo de un metro de altura por cuatro de largo. El segundos par recibe la radiación solar reflejada por dos espejos de 40 cm de ancho por 5 metros de largo cada uno. En este caso fue necesario cortar el espejo en dos secciones longitudinales a los efectos de que la radiación reflejada incida solo sobre el vidrio del cierre lateral sur. En la tabla 2 podemos ver el resultado experimental de la producción de agua cuando los DA y los DS son trabajados con espejos, apropiados para cada caso.

Tabla 2 Producción de los destiladores livianos con cubiertas simétricas y asimétricas, Cuando la radiación solar es reforzada mediante la inclusión de espejos reflectores de esta. Valores mensuales en litros, de diciembre a julio. Diferencias porcentuales comparativos entre cada uno de estos con su similar operado sin espejo.

Mes	Un Espejo de 1m por 3 m		Dos Espejos de 0,40m por 4m		DSRef.	D5,A	Diferencias %	
	D1,S	D2,S	D3,A	D4,A			D1,S a DSRef.	D3,A a D5,A
12	221,1		254,25	174,99	176,7	208,5	20,1	18,0
1	242,9	185,86	291,12	254,26	175,0	231,2	28,0	20,6
2	188,94	134,85	222,52	199,1	148,6	173,4	21,4	22,1
3	154,2	86,2	176,64	202,39	87,9	136,8	43,0	22,6
4	127,8	58,9	144,29	170,91	74,6	121,6	41,6	15,8
5	104,5	59,8	134,97	158,81	56,5	92,5	45,9	31,4
6	72,66	36,89	82,93	113,05	35,2	59,7	51,6	28,0
7	66,2	33,6	89,8	107,1	38,8	60,7	41,3	32,4
<b>Media</b>	<b>147,3</b>	<b>74,5</b>	<b>174,6</b>	<b>172,6</b>	<b>99,2</b>	<b>135,6</b>	<b>36,6</b>	<b>23,8</b>

En la comparación entre los pares que presentan mayor producción la presencia de los espejos se traduce en una mayor producción porcentual de agua destilada. Esta resulta para ambos casos creciente desde los meses de diciembre a junio. Así el DS con espejo produce un 20% más que su similar sin espejo en diciembre e incrementa esta relación porcentual al 51 % en el mes de junio. Por otra parte vemos que el DA con espejo incrementa su producción desde 18 % en diciembre a un 32 % en julio. Esto nos está diciendo que los destiladores simétricos resultan más favorecidos por la presencia de espejos. Debe tomarse en cuenta que los espejos aplicados de los DA tienen un 20 % menos de altura que los aplicados a los DS. Esto es así como consecuencia de la limitación que presentan los asimétricos por el vidrio de la cara posterior es pequeño. En cambio los DS podrían aceptar hasta el doble de ancho en los espejos sin que la reflexión caiga fuera del área de la batea. También debe señalarse otro hecho a favor de los DS con espejo con respecto a los DA con espejos. Estos últimos requieren periódicos ajustes en la inclinación de los espejos, para que la radiación reflejada incida sobre la cara posterior, en cambio el espejo de los DS se lo puede dejar en una misma posición durante todo el año.

La tabla 2 nos permite mostrar lo señalado en el punto F) Problema con el último diseño del marco de acero inoxidable que contiene el canal colector de agua destilada, el marco de cierre entre este y la batea y el soporte de la cubierta vidriada. Este dispositivo fue incorporado a la planta en el mes de diciembre es el D4,A y la producción, valores totales mensuales esta en la columna 5 de la tabla 2. Como podemos en los meses de diciembre, enero y febrero la producción del D4,A es inferior a la del D3,A. Efectuados los cambios indicados en el punto F) a partir del mes de marzo la relación de producción entre ambos se invirtió. Haciendo un promedio, entre los meses de marzo y julio, de la producción de ambos y comparándolas nos dá que el D4,A produce un 20 % mas que el D3,A. y esto lo debemos atribuir al aporte de vapor condensado colectado en la paredes laterales verticales del D4,A, por su tener un marco con canales de colección completo.

3) Destiladores solares pesados Vs Destiladores solares livianos: En el Laboratorio tenemos dos destiladores solares contruidos en la década del 80, los cuales se encuentran funcionando en forma casi continua desde entonces. Estos destiladores con sus ejes orientados en lo posición Este-Oeste llevan en consecuencia una cubierta vidriada fija asimétrica. Fueron contruidos con paredes de mampostería y una batea de hormigón armado de 10 cm de espesor. Para efectuar la comparación en la tabla 3 hemos multiplicado por el factor 2/3 el DC1,A (que el dispositivo con batea de 3 m2) y con el factor de 2/5 al DC2,A (que es similar con batea de 5 m2). La producción de los destiladores livianos resulta superior entre un 28 y 40 % y resulta creciente hacia los meses de invierno. Consideramos que esta se debe a la mayor inercia térmica que presentan los destiladores pesados con relación a los livianos.

Tabla 3 Producción de los destiladores con bateas de cemento de tres y cinco metros cuadrados de superficie cuya producción es reducida mediante los factores 2/3 y 2/5 respectivamente para compararlos con los destiladores contruidos con bateas livianas de 2 metros cuadrados de superficie. Valores mensuales en litros, de diciembre a julio. Diferencias porcentuales comparativos entre cada uno de estos con su similar.

Mes	Producción en litros			Diferencias %	
	-- Cemento --	---	Liviano	D5,A a DC1,A	D5,A a DC2,A
12	148,9		208,5	28,6	
1	171,2		231,2	26,0	
2	122,1		173,4	29,6	
3	86,5	100,4	136,8	36,7	26,6
4	80,8	73,4	121,6	33,6	39,7
5	59,2	54,9	92,5	36,0	40,6
6	36,4	32,6	59,7	39,0	45,5
7	36,1	37,8	60,7	40,5	37,7
<b>Media</b>	<b>92,7</b>	<b>59,8</b>	<b>135,6</b>	<b>33,7</b>	<b>38,0</b>

## CONCLUSIONES

- 1) Los destiladores con cubierta asimétrica, DA, poseen una producción superior, entre un 20 y 30 % con respecto a los destiladores con cubierta simétrica, DS.
- 2) La diferencia en la producción de los DA con respecto a los DS crece hacia los meses con menor radiación solar: 15% en diciembre a 41 % en junio.

De esta manera podemos concluir que la cubierta que da mayor producción y en consecuencia es la recomendable usar para localidad con estas latitudes (centro del País) son las asimétricas.

- 3) Los destiladores solares con espejos simétricos tienen una producción que supera a sus similares de un 20% a un 51%, creciendo hacia los meses de mayor radiación.
- 4) Los destiladores solares con espejos asimétricos tienen una producción que supera a sus similares sin espejos de un 18 % en verano a un 32% en invierno.

Teniendo en cuenta que los DA tienen un 20 % menos de espejos, por que están en el límite de capacidad para su instalación. Que además para su eficiente operación requieren ajustes mensuales en la orientación de sus espejos. Que los DS permiten ampliar las dimensiones verticales de los espejos, sin que la radiación reflejada incida fuera de ellos. Que los DS pueden operar durante todo el año sin requerir cambios en la orientación de los espejos. Concluimos que toda instalación de destiladores solares con espejos será mas productiva si se instala con DS.

- 5) Los destiladores contruidos con materiales livianos con cubiertas asimétricas DA poseen una producción que supera entre un 28 % en verano y un 40 % en invierno a los destiladores contruidos con materiales pesados (batea de hormigón armado).

La elección de uno u otro sin embargo dependerá de la ubicación del destilador, la durabilidad que se pretenda. Debe tomarse en cuenta que estos destiladores pesados poseen mas de 20 años de antigüedad y que prácticamente no requieren mantenimiento, mas allá de su periódica limpieza.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- A. Fasulo, J. Adaro, J. Marchesi y J. Follari.- (2004). Destiladores solares con espejos. Proceeding del XII Congreso Iberico y Vii Ibero Americano de Energía Solar (CIES 2004), vol. 1, pp 675 a 680.
- A. Fasulo, J. Follari, J. Adaro, J. Marchesi, L. Odicino y R. Monasterollo. (2004).- Planta experimental de destilación solar-eléctrica.- Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 8, pp 249 a 255.
- A. Fasulo, V. Cortinez y O. Villegas (1996). Siete años de control y uso de de agua destilada solar en Química Analítica. Actas de la 18va Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar. Vol. II, pp 07.33 a 07.38
- C. Esteban, A. Fasulo y J. Franco (2004). Construction and performance of solar assisted distiller.- Desalination Vol. 173, pp 249 a 255
- J. Follari, L.Odicino y A. Fasulo (2005). Mejora en el rendimiento de destiladores solares tipo bateas usando espejos planos fijos. Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 17, pp 31 a 36

**ABSTRACT:** A small solar distillation plant was constructed to provide optimum distilled water to the University Laboratories. It was used for experimental testing of the different designs and materials suggested in the last years. The results of eight continuous months of data collection are presented, which were obtained by direct comparison of the behaviour of two types of dismountable glass domes, and after solar radiation was reinforced by mirror incorporation. The results permit us to validate those previously obtained when following the solar rays trajectory. In addition, comparative data of the production of two types of solar distillers are presented: distillers with reinforced concrete basins, which have been functioning for 20 years, and light-basin distillers currently in use. Graphs and tables are presented.

**Key words:** Solar Distillation, Water, Materials, Design