

PRODUCCION DE DESTILADORES SOLARES EN FUNCION DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS VIDRIO-BATEA

Javier Marchesi¹, Javier Zizzias¹, Jorge Adaro¹, Amílcar Fasulo^{1 y 2}

1 Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. N° 36 Km 601
(5800) Río Cuarto Tel. 0358 – 4676488 / 259
Provincia de Córdoba-República Argentina
E-mail: jmarchesi@ing.unrc.edu.ar
aadar@ing.unrc.edu.ar
jzizzias@ing.unrc.edu.ar

2 Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera
(5700) San Luis. Tel. 2652 424689 int. 103
E-mail: afasulo@unsl.edu.ar

RESUMEN En este trabajo experimental llevado a cabo por el GES en la Universidad de Río Cuarto se presentan las producciones de un destilador solar asistido con una resistencia eléctrica para el calentamiento del agua de la batea, de modo de mantener dicha temperatura constante minimizando así su influencia, con el fin de obtener una relación entre la producción y la diferencia de temperaturas entre la cubierta vidriada y el agua contenida en el mismo (ΔT). Se muestran detalles y esquemas de dicha instalación y los resultados obtenidos durante días de invierno. Dichos resultados permiten apreciar claramente las variaciones en la producción al aumentar la temperatura en el agua de la batea, como así también al aumentar el ΔT . Se concluye en las ventajas que representa el precalentamiento de la misma y el aumento de ΔT , lo que indica que los objetivos fueron alcanzados. Dichos resultados son presentados mediante gráficos y tablas.

Palabras clave: destiladores solares, desalinización, destiladores asistidos, producción.

INTRODUCCION

El agua es un elemento esencial para la vida sobre la tierra. El hombre no tiene ningún sustituto de la misma en usos como la bebida, la cocina, el lavado, el riego, etc. Lamentablemente con el paso del tiempo, continuamente estamos perdiendo reservas de agua dulce. No solo es necesario disponer y conservar dicha agua, sino también desarrollar una tecnología ecológica para obtener aguas aptas para el consumo a partir de otras aguas salobres o contaminadas. Entre las tecnologías de purificación de agua, “la destilación solar” es la que combina las siguientes características: renovable, ecológica y la mas económica. Lo que es una solución para con los problemas de la escasez de agua potable, la energía y el cambio climático. La destilación solar es un proceso de purificar el agua salobre por el empleo de energía solar. Esto es básicamente una analogía del ciclo natural hidrológico adoptado en la destilación solar por el hombre. Varios investigadores han estudiado detalladamente y han demostrado que un destilador solar convencional produce entre 1 y 2 l/m² en invierno, llegando a 4 o 5 l/m² en los meses de verano. (Fasulo, et. al, 2004 a,b). Debido a su escasa productividad, es que se desarrollaron métodos para aumentar su eficacia. (Voropoulos et. al., 2003). Dicha productividad es gobernada por fenómenos de transporte inducidos por la convección del aire húmedo retenido entre una cubierta transparente y el agua de la batea. (De Paul, 2001a,b; De Paul, 2009). Varios autores demostraron que la diferencia de temperaturas entre la cubierta de cristal y el agua gobierna la producción diaria de destiladores de batea simples, es decir que al aumentar la diferencia, aumentan consecuentemente los niveles de producción. (Sartori, 1996; Al-Karabsheh et al., 2003; Tsilingiris, 2010; Duffie y Beckman 1991). El objetivo final es cómo mejorar la eficacia de estos sistemas y aumentar la producción de agua dulce.

ANTECEDENTES

En presentaciones anteriores mostramos los avances obtenidos en mejoras en la producción de destiladores solares empleando la técnica de asistirlos con sistemas solares auxiliares precalentadores del agua de la batea. Se mostraron detalles de construcción y primeros resultados obtenidos. (Marchesi et. al., 2006). Posteriormente se explicó de que manera se sistematizaron las mediciones de producción y temperaturas y se compararon con un destilador de batea del tipo básico. (Marchesi et. al, 2007; 2008). Posteriormente se obtiene una expresión de segundo grado para relacionar la producción de destiladores solares respecto a la temperatura en el agua de la batea (Marchesi et. al, 2009). El objetivo de este trabajo es registrar la producción instantánea de un destilador solar al mantener la temperatura del agua de la batea constante durante las 24 hs, o sea independizarnos de dicha temperatura para obtener una expresión que relacione la producción con respecto a la diferencia de temperaturas entre la batea y la cubierta vidriada.

En la Figura 1 se muestra el equipo utilizado para la experiencia, el mismo consta de una batea rectangular de acero inoxidable austenítico de 0.001 m de espesor cuyas medidas son 1.2 x 0.84 x 0.80 m, recubiertas en su parte interior por una manta de pvc de color negro aislada con una capa de 0.1 m de telgopor en sus laterales y parte inferior, con cubierta vidriada asimétrica desmontable, la que va adosada a una moldura de acero inoxidable y está compuesta por una placa de vidrio principal inclinada 21° respecto a la horizontal, compatible con el deslizamiento por ella de las gotas de agua, cuyas medidas son 1.22 x 0.84 m. Está asistido térmicamente por un Colector Solar Acumulador adosado a su parte inferior, (Esteban C. et

al 2002). Dicho colector acumulador consta de un tanque de Acero Inoxidable de 0.001 m de espesor, de 0.8 m de diámetro y 1.2 m de alto. Dicho tanque está aislado a su vez con dos cubiertas de policarbonato alveolar separadas 0.015 m entre sí y a su vez separadas de la superficie del tanque otros 0.015 m. El agua salada ingresa por la parte inferior del mismo, a través de una placa dispersora.



Figura 1. Vista del destilador solar en el laboratorio del G.E.S. de la Universidad de Rio Cuarto.

A este equipo se le colocó una resistencia eléctrica de 1500 W en la batea a 0.02 m de la superficie para calefaccionar el agua como se muestra en el esquema de la Figura 2.

Destilador solar acumulador.

- 1-Marco de acero inoxidable.
 - 2-Material aislante.
 - 3-Chapa metálica.
 - 4-Membrana de plástico perforada.
 - 5-Interior del tanque de acero inoxidable.
 - 6-Cubiertas concéntricas de policarbonato de 4 mm.
 - 7- Placa deflectora del flujo de agua.
 - 8- Tubo ingreso de agua cruda.
 - 9-SopORTE de material aislante.
 - 10- Tubo descarga exceso de agua.
- R – Resistencia Eléctrica 1500 W.

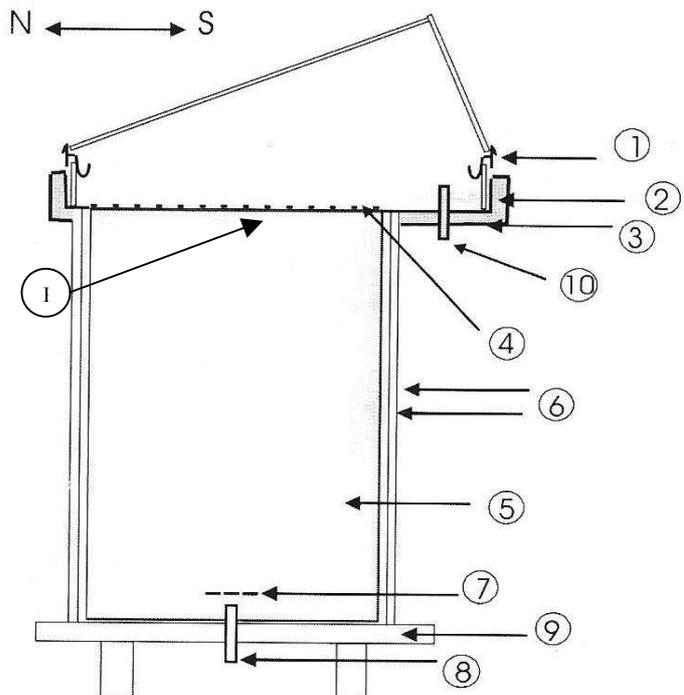


Figura 2 . Esquema y referencias del Destilador Solar Acumulador usado en nuestra experiencia.

Esta resistencia eléctrica está manejada por un controlador del tipo on-off. Con este controlador se puede mantener la temperatura constante del agua en la superficie de la batea. En nuestro caso se prefirió darle un efecto de histéresis o demora al prendido y apagado de la resistencia para poder contabilizar los pulsos de corriente y así calcular la energía extra introducida a nuestro sistema. Debido a esto es que se observa un efecto “serrucho” en las temperaturas obtenidas para el agua en la superficie. Este montaje se terminó de realizar en los últimos días del mes de junio de 2010 y posteriormente se comenzaron a tomar datos de producción, temperaturas y radiación.

RESULTADOS y DISCUSION

En la Figura 3 se observan las curvas obtenidas para el destilador para un día completo. Se pueden distinguir las curvas de radiación global horizontal en w/m^2 para un día totalmente despejado y las temperaturas del agua en la batea, en el vidrio y la ambiente, todas en $^{\circ}C$. Durante este día mayormente despejado, la temperatura del agua en la batea promedió los $34^{\circ}C$, se observa una clara dependencia de la temperatura del vidrio con la ambiente. Dicha temperatura alcanzó los $28^{\circ}C$ en momentos de buena radiación solar, bajando hasta $14^{\circ}C$ durante la noche, cuando la ambiente era de alrededor de $7^{\circ}C$. En este día se nota que la resistencia permaneció desconectada durante las horas de sol, que es la parte suavizada de la curva T Batea, conectándose la resistencia calefactora luego de la puesta del sol.

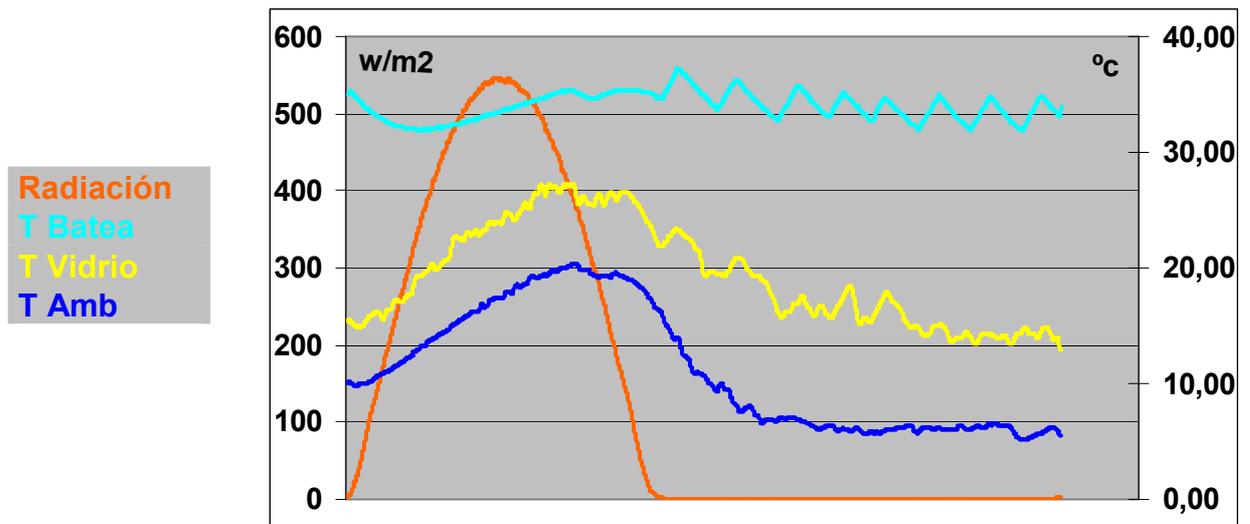


Figura 3 . Temperaturas ambiente, del vidrio, de la batea y radiación solar para una T_{Batea} media de $34^{\circ}C$

En la Figura 4 se representa la producción en L/h y el ΔT Batea-Vidrio en $^{\circ}C$. Podemos observar una gran dependencia de la producción en función del ΔT copiando la curvatura y además copiando de alguna manera los “serruchos”. Las máximas producciones horarias fueron de 0.4 Litros/hora alcanzados cuando el ΔT alcanzaba valores cercanos a los $20^{\circ}C$, esto fue durante la madrugada en que la temperatura ambiente alcanzaba valores mínimos ayudando a enfriar la superficie de condensación. Las producciones mínimas también correspondieron a los menores valores de ΔT . Esta situación nos llevó a proponer una relación lineal entre ambas curvas.

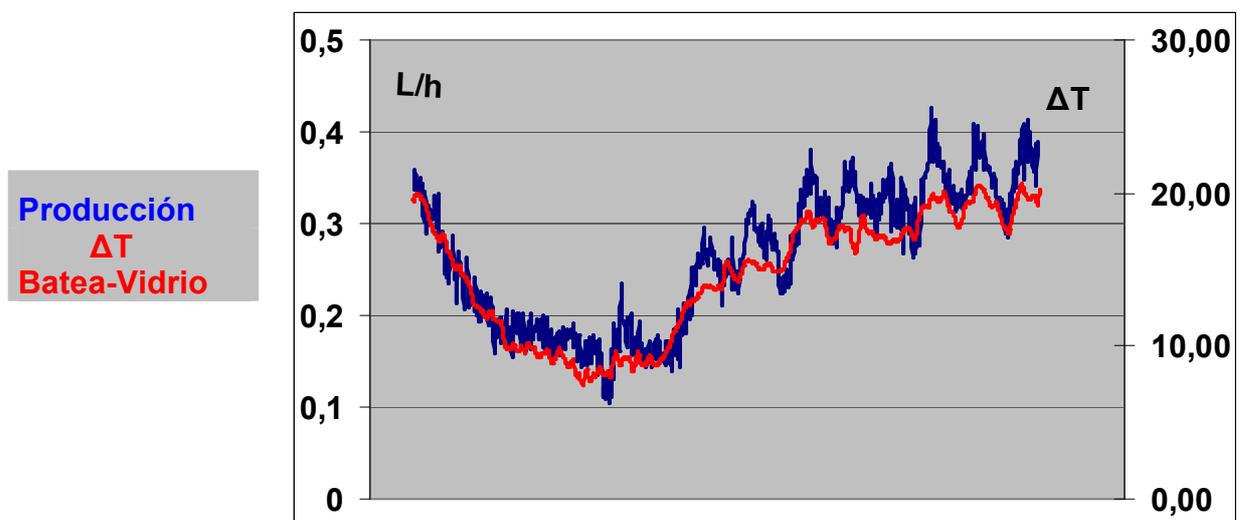


Figura 4 .Diferencia de temperaturas ΔT y valores de producción durante un día completo (el mismo día que corresponde a la Figura 3)

En la figura 5 se muestra la expresión lineal propuesta para una Temperatura media de batea de 34 °C, que es la que mejor ajusta para la relación entre la producción instantánea del destilador y su correspondiente ΔT entre las temperaturas de batea y vidrio. Podemos decir que para una temperatura de batea del orden de los 34 °C y un ΔT de 20 °C la producción es de 0.35 Lts por hora, disminuyendo a 0.15 Lts por hora con un ΔT de 10 °C para la misma T batea, dicha disminución fue durante el día en que la radiación solar influye calentando el vidrio condensador. En este caso la producción diaria fue de 2,14 Lts mientras que la nocturna fue de 4,15, totalizando 6,29 Litros para un día en que un destilador de batea simple produciría aproximadamente 1.5 Lts.

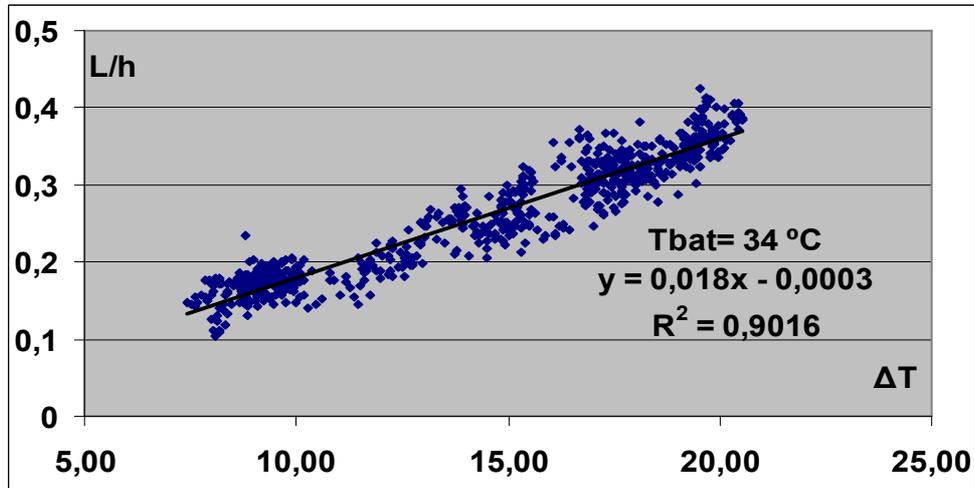


Figura 5 . Producción horaria vs diferencia de temperaturas entre vidrio y batea.

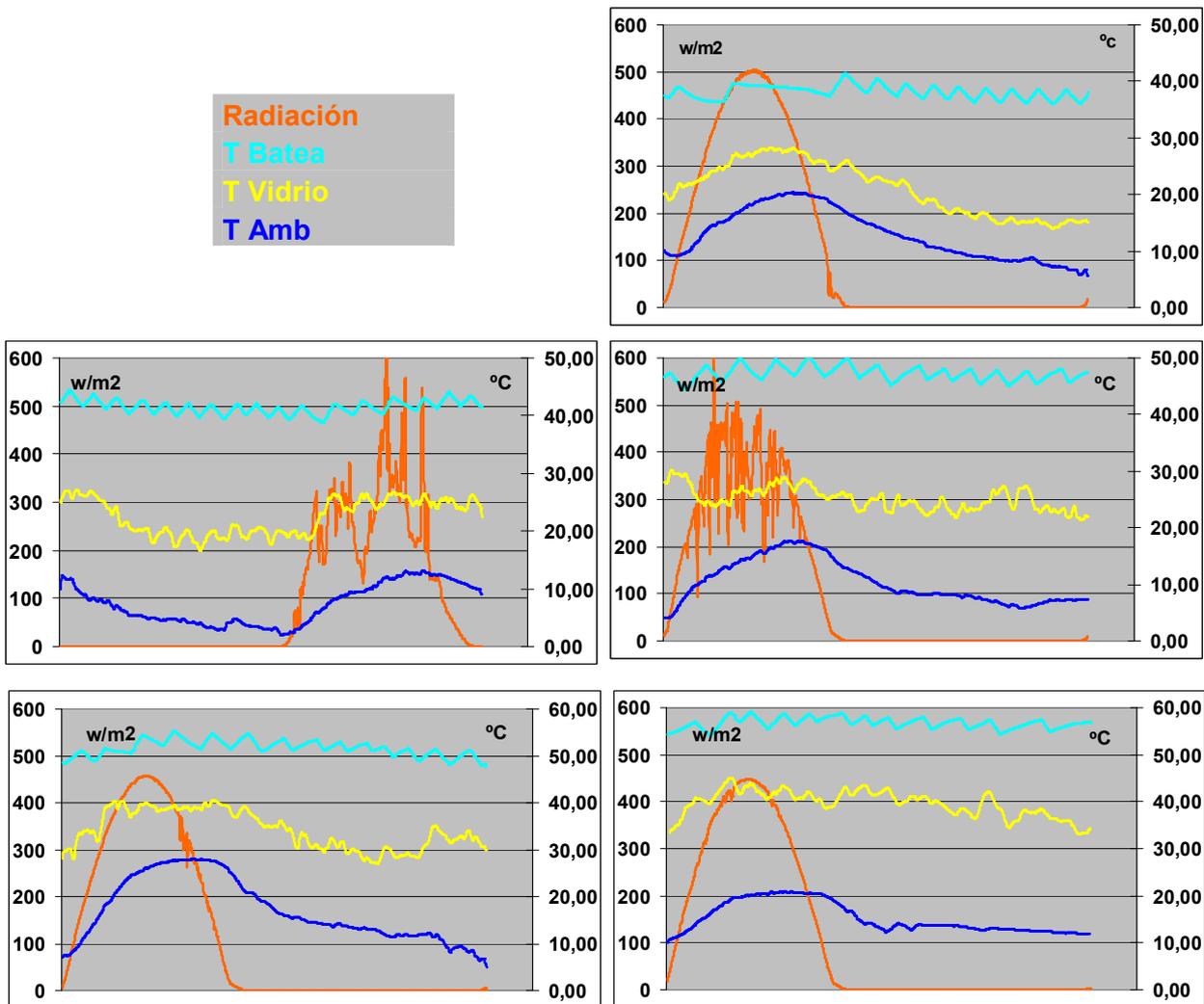


Figura 6 . Temperaturas ambiente, del vidrio, de la batea y radiación solar para diferentes T Batea media.

En la figura 6 se presentan los gráficos obtenidos para los restantes días experimentados en donde la temperatura de batea media fueron de 38, 42, 47, 52 y 57 °C respectivamente.

En todas ellas se observa que durante las horas de radiación solar al aumentar la temperatura ambiente, la consecuencia inmediata es un incremento en la temperatura del vidrio. En todos los casos el aumento del ΔT se produce durante el horario nocturno. El incremento en la temperatura del vidrio es mas notable en días de radiación plena, con máximos de 43 °C con cielo despejado y Temperatura ambiente de 20 °C aproximadamente. En todos los casos un aumento en T batea produce un aumento en T vidrio dado por la mayor condensación sobre la superficie del mismo.

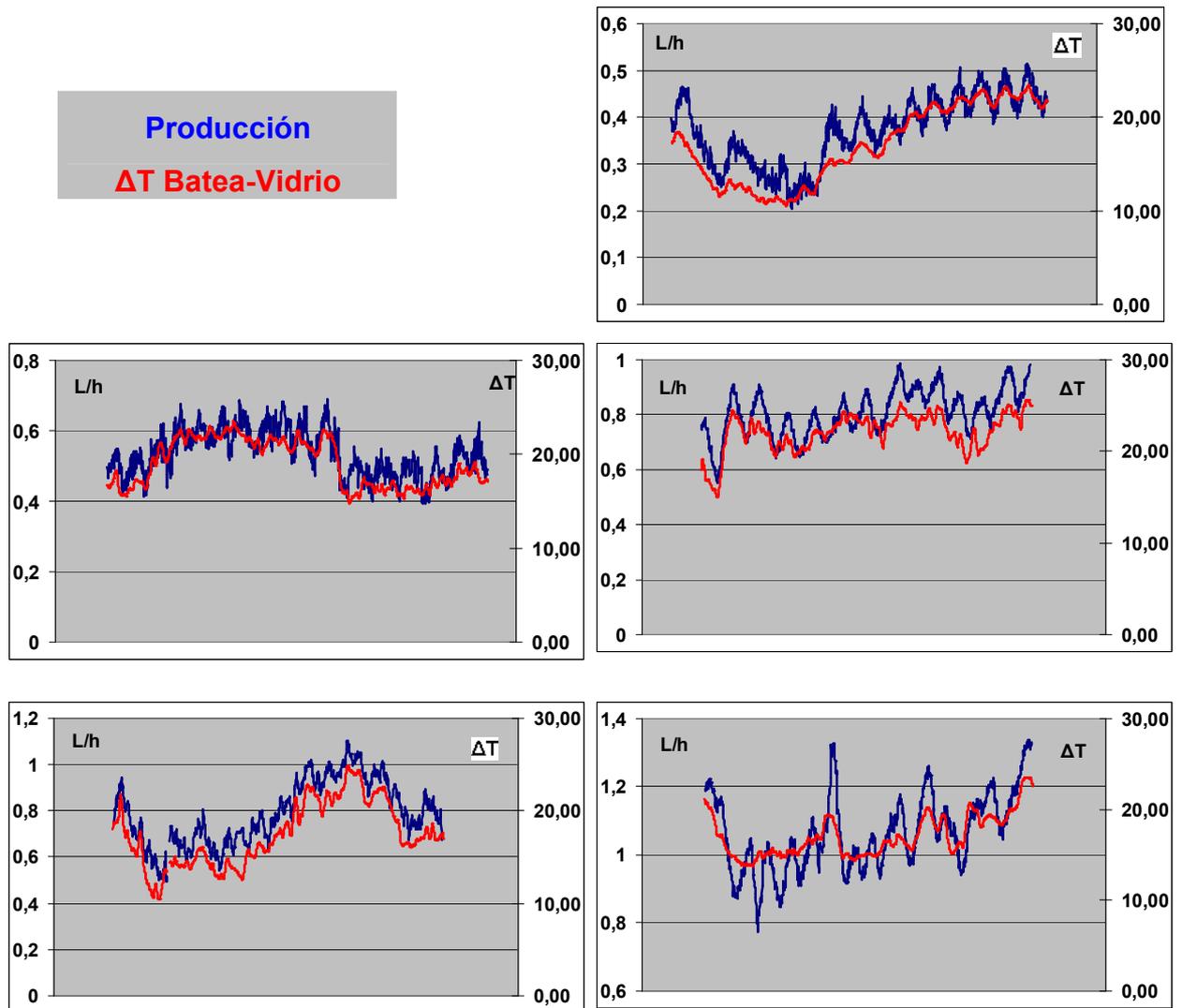


Figura 7 . Diferencia de temperaturas ΔT y valores de producción durante un día completo (el mismo día que corresponde a los gráficos de la Figura 6)

En la Figura 7 se muestran la producción en L/h para el destilador versus la diferencia de temperatura entre el vidrio y la batea para los restantes casos, es decir para temperaturas medias de agua en la batea de 38, 42, 47, 52 y 57 °C respectivamente. En todos los casos se observa la relación entre ambas y también que las máximas diferencias que se obtuvieron no alcanzaron los 25 °C, de manera que a pesar de que la temperatura ambiente bajó hasta los 5 °C en algunos casos, al aumentar la condensación sobre el vidrio, éste mantiene una temperatura superior debido justamente a la mayor cantidad de calor cedido por el vapor al condensarse en la cara inferior del mismo. De manera que a pesar que la producción aumenta con ΔT y al ser el límite máximo de la misma de 25 °C, la manera de aumentar la producción sería mediante un aumento en la temperatura del agua en la batea que en definitiva es lo que ocurre. En el caso de $T_{bat} = 32$ °C, el promedio de destilado fue de 0.26 l/h, incrementándose dichos promedios para $T_{bat} = 38$ °C a 0.37 l/h; $T_{bat} = 42$ °C a 0.53 l/h; $T_{bat} = 47$ °C a 0.80 l/h; $T_{bat} = 52$ °C a 0.78 l/h; y $T_{bat} = 57$ °C a 1.05 l/h. respectivamente.

En la Figura 8 se graficaron la producción de destilado en l/h respecto a la diferencia de temperaturas vidrio batea, para las mismas temperaturas medias de batea referidas anteriormente. Se observa en ellas la relación lineal que existe. Las dispersiones en los valores de producción se explican mayormente debido a que la obtención del producido no es “gota a gota” sino que se va obteniendo de “a chorritos”, razón por la cual en cada lectura se obtienen valores sin tanta exactitud, pero con dispersiones similares en mas y en menos. Vemos como se va incrementando la pendiente de la ecuación lineal a medida que aumenta T batea y ΔT .

**Producción
Vs. ΔT**

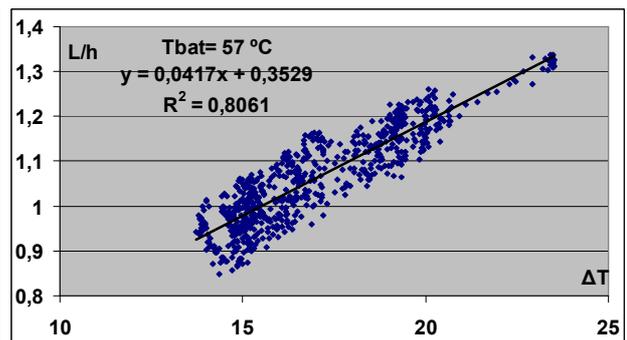
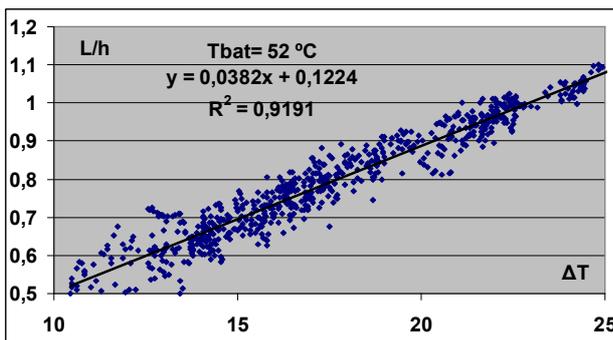
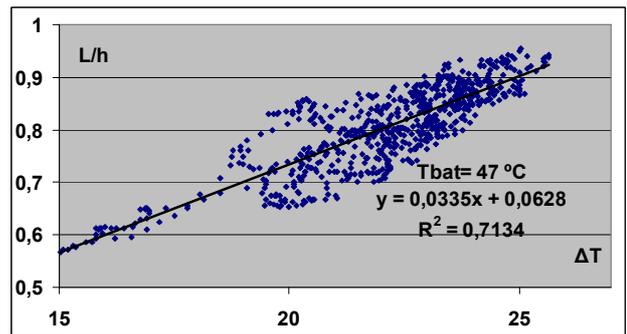
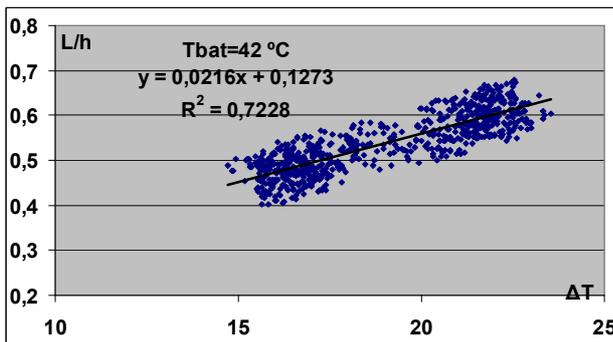
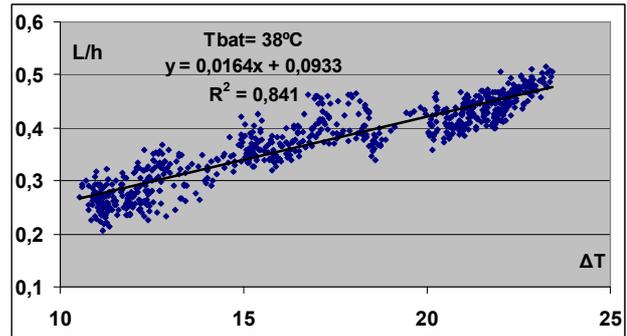


Figura 8 . Producción vs Diferencia de temperaturas ΔT con diferentes valores de T batea (el mismo día que corresponde a los gráficos de las Figuras 6 y 7)

En la tabla 1 se resumen los valores medios obtenidos para cada experiencia. Se observa que para cada aumento de T batea se corresponde un aumento en T vidrio, pero no en la misma medida un aumento de ΔT . Se observa que para mayores valores de dicha diferencia de temperaturas hay una mayor producción. Se puede ver que a menor T ambiente favorece una disminución en la T vidrio. Otra observación importante es que al pasar T batea de 47 °C a 52 °C la producción total disminuyó, esto se explica debido a una baja en ΔT debido a un incremento en T ambiente.

T Batea	T Vidrio	ΔT	T Amb	Rad MJ	L día	L Noche	L Total
34	19.34	14.6	11.29	12.47	2.14	4.15	6.29
38	21.09	17.3	12.88	11.21	3.41	5.50	8.91
42	22.43	19.2	7.30	8.12	5.49	7.28	12.77
47	25.15	22.1	10.38	9.60	8.11	11.20	19.31
52	34.16	17.4	17.08	9.90	7.19	11.66	18.85
57	39.66	17.1	15.27	9.88	10.90	14.4	25.3

Tabla 1 . Resumen de valores medios de Temperatura, Radiación y Producción.

CONCLUSIONES

En primer lugar puede concluirse que se corrobora la relación entre el aumento de la temperatura en la batea y el aumento en la producción de destiladores solares.

Con los ensayos realizados se comprobó que es posible incrementar la producción de un destilador solar de batea aumentando la diferencia de temperatura entre el agua de la batea y la superficie condensadora.

La producción del destilador solar asistido térmicamente con aporte de energía eléctrica manteniendo constante la temperatura en la batea, aumenta durante el período nocturno.

La máxima diferencia de temperaturas ΔT conseguida en este ensayo fue de 25 °C. A pesar de una T ambiente baja, lo que llevaría a una disminución de la temperatura de la cubierta vidriada, la misma fue afectada por la mayor condensación sobre ella y por lo tanto una merma en sus valores térmicos.

Se alcanzaron valores de producción medios de 25 l/día con una T batea media de 57 °C, y una producción instantánea máxima de 1.32 l/hora para la misma T batea media.

Se observó una inmediata reacción en los valores de producción al cambiar los valores de T ambiente. Lo que indica que este dispositivo no posee una gran inercia térmica.

En posteriores ensayos se realizarán mediciones del sistema durante los meses restantes, que son precisamente aquellos en que hay mayor radiación solar y mayor duración de la misma, lo que disminuiría los aportes de energía eléctrica, con el propósito de obtener una mejor evaluación del equipo y así ofrecer una mejor alternativa en sistemas de destilación solar asistida.

REFERENCIAS

- Al-Kharabsheh S. D. Yogi Goswami (2003) Experimental study of an innovative solar water desalination system utilizing a passive vacuum technique. *Solar Energy* vol 75. 395–401
- De Paul (2009) Experimental evidence of chaotic heat enhancement in a still. *Applied Thermal Engineering* 29 (2009) 1840–1845
- De Paul (2001a) Comparación del Comportamiento Térmico y Producción de Destiladores con Distinta Pendiente en las Cubiertas en Estado Estacionario. *Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol 5, ISSN 0329-5184
- De Paul (2001b) Comportamiento de un Destilador tipo Batea con Pendiente Alta en la Cubierta. *Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol 5, ISSN 0329-5184
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición. Wiley Interscience, New York.
- Esteban C, A. Fasulo y J. Franco (2004). Construction and performance of solar assisted distiller.- *Desalination* Vol. 173, pp 249 a 255
- Fasulo A., J. Adaro, J. Marchesi y J. Follari (2004a). Destiladores solares con espejos, Trabajo publicado en actas del XII Congreso Ibérico y VII Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, septiembre de 2004. ISBN CD 84-609-2264-2.
- Fasulo A. , J Follari , J Adaro ,J Marchesi ,L Odicino y R Monasterollo (2004b) Planta de Destilación Solar-Eléctrica en la U.N.S.L. Actas de la 27ª Reunión de trabajo de ASADES y 13ª de IASEE-Vol 8 pp 03 .07-10
- Marchesi J, Ducculi E, Adaro J, Fasulo A (2006). Destilación Solar en la UNRC. Construcción y primeros resultados. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol 10. 02-31, 02-37. ISSN 0329-5184.
- Marchesi J, Ducculi E, Adaro J, Fasulo A (2007). Sistematización de las mediciones de producción y temperaturas de Destiladores Solares en la UNRC. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol 11. ISSN 0329-5184.
- Marchesi J, Ducculi E, Adaro J, Fasulo A (2008). Comparación del rendimiento de un destilador solar de batea básico respecto de un destilador asistido térmicamente. *AVERMA* Vol 12. ISSN 0329-5184.
- Marchesi J, Ducculi E, Adaro J, Fasulo A (2009). Determinación experimental de la producción de un destilador solar respecto a la temperatura del agua en la batea. *AVERMA* Vol 13. ISSN 0329-5184.
- Voropoulos, K, E. Mathioulakis, V. Belessiotis.(2003). Solar stills coupled with solar collectors and storage tank—analytical simulation and experimental validation of energy behavior. *Solar Energy*, vol 75, 199-205.
- Tsilingiris (2010). Modeling heat and mass transport phenomena at higher temperatures in solar distillation systems – The Chilton–Colburn analogy. *Solar Energy* 84 , 308–317

ABSTRACT In this experimental work by the GES in the University of Rio Cuarto it presents the measurement of the productions of a solar distiller assisted with an electrical resistance for the warming of the water of the basin, of way of supporting the above mentioned constant temperature minimizing this way his influence in order to obtain a relation between the production and the difference of temperatures between the glass cover and the water contained in the basin (ΔT). There appear details and schemes of the above mentioned installation and the results obtained for days of winter. These results permits to estimate the variations in the production as well as having increased the temperature in the water , as this way also on having increased ΔT . We conclude in the advantages that there represents the heating of the water of the still and to increasing ΔT , which indicates that the objectives were reached. These results are presented by means of graphs and tables.

Keywords: Desalination, Solar distillation, Water quality, Productivity.