

## **SISTEMATIZACION DE LAS MEDICIONES DE PRODUCCION Y TEMPERATURAS DE DESTILADORES SOLARES EN LA U.N.R.C.**

**Javier Marchesi<sup>1</sup>, Ezequiel Ducculi<sup>1</sup>, Jorge Adaro<sup>1</sup>, Amílcar Fasulo<sup>1 y 2</sup>**

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](mailto:jmarchesi@ing.unrc.edu.ar)  
[aadaro@ing.unrc.edu.ar](mailto:aadaro@ing.unrc.edu.ar)  
[educuli@ing.unrc.edu.ar](mailto:educuli@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](mailto:afasulo@unsl.edu.ar)

**RESUMEN** En este trabajo se indica de qué manera se logró medir experimentalmente la producción instantánea de destiladores solares asistidos con sistemas auxiliares solares de precalentamiento del agua de la batea para ser comparados con un destilador del tipo básico, al que también se le midió su producción durante las 24 hs del día, mediante el pesaje del destilado producido por medio de balanzas comerciales adaptadas para tal fin. Se muestran detalles de dicha instalación y resultados obtenidos durante una serie de días claros de los meses de invierno para cada uno de los equipos, los que fueran construidos en la Universidad Nacional de Río Cuarto para trabajos anteriores. Dichos resultados permiten apreciar claramente las producciones horarias de los mismos, como así también su velocidad de respuesta ante variaciones climáticas. También permiten concluir en las ventajas que representa el precalentamiento del agua de la batea, lo que indica que los objetivos fueron alcanzados. Dichos resultados son presentados mediante gráficos y tablas.

**Palabras clave:** destiladores solares, desalinización, destiladores asistidos, calidad de agua.

### **INTRODUCCION**

La actual crisis energética instalada en nuestro país promueve el estudio y desarrollo de fuentes de energía provenientes de recursos renovables. Alrededor de ocho millones y medio de personas carece, en nuestro país, de redes de agua potable. Eso es lo que expresa, en un reciente informe, el Centro de Implementación de Políticas Públicas para la Equidad y el Crecimiento (cippec.org). El hecho no implica una novedad, pero viene a confirmar con valores más precisos, una situación que afecta a una parte más que considerable de nuestra población. La falta de agua potable provoca un sinnúmero de enfermedades que impactan de lleno en los índices de mortalidad infantil: diarrea, intoxicaciones, hepatitis, meningitis virales, leptospirosis y parasitosis, por citar algunas. Disminuir estos males con agua segura representaría un considerable ahorro de recursos para el sistema de salud. La importancia de resolver esta carencia provocó que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) hiciera de la reducción a la mitad de la población sin agua potable ni saneamiento una de sus metas del milenio para 2015. Está demostrado que la provisión de agua segura es una condición que mejora la calidad de vida y salud de la población. El mejor sistema de salud del mundo resulta ineficiente sin un buen esquema de agua potable. El proceso de desalinización, puede ser logrado utilizando energías convencionales a partir de fósiles, la energía nuclear, etc. o utilizando fuentes renovables de energía. Bajo la energía convencional, la destilación puede hacerse por compresión de vapor, ósmosis inversa y otros. Estas plantas requieren de alta entrada de energía eléctrica en la gama de 21 y 36 MJoule / m<sup>3</sup> de agua (Hanson et al., 2003). De ahí que un sistema de desalinización que no use dicha energía, tendrá numerosas ventajas, tal sería el caso de la destilación solar (Joseph et al., 2004). Es de hacer notar que todos los procesos requieren un pretratamiento químico del agua a desalinizar, como así también un post tratamiento para potabilizarla. Del consumo total de agua en todo el mundo, aproximadamente el 70 % es usado por la agricultura, el 20 % es usado por la industria y sólo el 10 % es usado para consumo hogareño (Kalogirou, 2005). Debería notarse que antes de considerar el uso de cualquier método de desalinización, deberían ser consideradas primero medidas de conservación de las mismas. La desalinización que se consigue con destiladores solares es muy buena, se han tomado valores de conductancia de 1 microsiemens, a partir de agua de alimentación con valores superiores a los 300 microsiemens (Marchesi et al., 2006).

### **ANTECEDENTES**

El interés en destiladores solares de batea es debido a su diseño simple, sin embargo su productividad baja estimuló el desarrollo de métodos para aumentar su eficacia. (Voropoulos et al., 2003). Dicha producción 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). 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, como los aumentos de diferencia, los aumentos de producción. (Sartori, 1996; Al-Karabsheh et al., 2003). Por lo tanto, la tarea importante es cómo mejorar la eficacia de estos sistemas y aumentar la producción de agua dulce. Entre los métodos usados para mejorar dicha eficacia está el de la refrigeración de la cubierta de cristal. Como el vapor de agua se condensa sobre la misma, su calor latente es liberado provocando que aumente la temperatura de cubierta y al bajar la diferencia de temperaturas entre el agua en la batea y la cubierta de cristal, se reduce así la fuerza motriz para la evaporación (Tiwari et al., 2003). Otro método usado para mejorar el proceso de destilación solar es el almacenaje de energía térmica (Follari et al., 2005), la cual tiene una función importante para proveer al sistema de un depósito de energía en momentos en que no hay disponibilidad de la misma. Esto siempre será uno de los componentes más críticos en usos solares. La radiación solar es una fuente de energía dependiente del tiempo con un carácter intermitente y dinámico y para almacenar el calor en sistemas de desalación solar, la técnica debe ser simple y barata para mantener el costo de inversión del sistema para ser eficiente (Ben Bacha et al., 2006). 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 (Fasulo et al., 2004a,b). El conjunto de tres destiladores con idéntica característica en el conjunto batea cubierta forman parte de una pequeña planta experimental de destilación solar construida en el laboratorio que el G.E.S. (Grupo de Energía Solar) tiene en el campus de la Universidad Nacional de Rio Cuarto (Marchesi et al., 2006). De dichos destiladores, existen dos que son asistidos con diferentes sistemas solares auxiliares precalentadores del agua de la batea, el D2C asistido por dos colectores solares de placa plana, el DCSA (Esteban et al., 2004) asistido con un colector solar acumulador, los cuales fueron comparados con el tercer destilador de batea sin sistema auxiliar, o sea del tipo básico DB (Figura 1).



*Figura 1. Vista de los destiladores solares en el laboratorio del G.E.S. de la Universidad de Rio Cuarto, antes de las reformas realizadas debajo del DB. De izquierda a derecha están el D2C., luego el DB y por último el DCSA.*

El objetivo de este trabajo es registrar la producción instantánea de los destiladores, juntamente con las diferentes temperaturas en lugares estratégicos de los mismos, para ser comparadas y lograr mediante su estudio mejoras en la producción de los mismos. A estos equipos se les tomaron sistemáticamente temperaturas en la cara superior de la cubierta de vidrio, en el agua de la batea y en los asistidos térmicamente, se les tomó también en varias partes de sus respectivos tanques de almacenamiento con termocuplas para tal fin. De la misma manera se tomaron datos de producción de destilado con sendas balanzas adaptadas y colocadas en la parte inferior del DB, lugar que fue acondicionado para almacenar lo producido y además proteger de la intemperie los equipos de medición, la PC y las mismas balanzas.

#### **EQUIPOS PARA LA MEDICION**

Para la medición de temperatura en las distintas partes de los destiladores, se utilizaron termocuplas del tipo T, las que fueron conectadas al datalogger "FLUKE netdaq 2640". Este adquisidor permite la entrada de 20 datos simultáneamente, ya sea DC Volts, AC Volts, Resistencia, Frecuencia, como así también varios tipos de Termocuplas. También permite variar el tiempo de muestreo que va desde el orden de segundos hasta horas. Estos datos son procesados y enviados a una PC la que luego los presenta en planillas del tipo Excel.

Para la recolección del producido por cada uno de los destiladores, se utilizaron recipientes plásticos, uno por cada destilador, los cuales fueron colocados sobre balanzas electrónicas del tipo comercial "Kretz mod. 3200E" de capacidad 31 Kg. las que fueron adaptadas en nuestro laboratorio para ser reconocidas por el adquisidor de datos FLUKE.

Dicha adaptación consistió en tomar los cables de salida del transductor de peso (strain gauge) cuya señal luego es traducida en la parte electrónica digital de las mismas. Dichos cables fueron seccionados y posteriormente a través de una bornera (Figura 2) conectados al adquisidor FLUKE. Se utilizó cable del tipo mallado, para filtrar los ruidos que se pudieran

introducir en el sistema, también se colocó un quinto cable, conectado a tierra, el cual fue conectado con la parte metálica de las balanzas, del adquisidor FLUKE y de la PC.

### PUESTA A PUNTO DEL SISTEMA Y DESCRIPCION DEL MISMO

Se comprobó que la salida de la strain gauge que es del orden de los mV, tiene una respuesta lineal ( $y=m.x+b$ ) respecto al peso colocado sobre la balanza lo que permitió que dicha señal, en mV, luego de ser acondicionada fuese reconocida y aceptada por el FLUKE. En la Figura 3 se muestra el setup experimental montado en nuestro laboratorio para obtener los parámetros de dicha función lineal. Es de hacer notar que a pesar de que las balanzas eran similares en marca y característica, y de poseer respuestas lineales, los parámetros  $m$  y  $b$  fueron distintos para cada una de ellas.

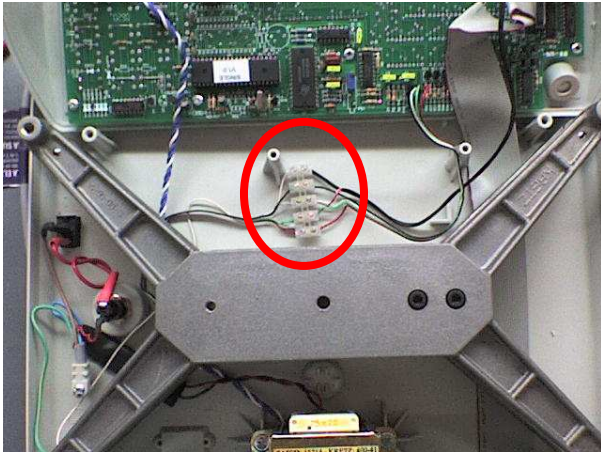


Figura 2. Muestra de la bornera de conexiones.



Figura 3. Set up experimental. PC, FLUKE y balanza para puesta a punto de la misma.

El lugar mas apropiado para instalar todo el sistema de medición fue la parte inferior del destilador básico que fue recubierta con chapa galvanizada remachada en la que se instalaron las tres balanzas con sus respectivos colectores del destilado, también se colocaron el adquisidor FLUKE, y la PC que iría grabando y almacenando los datos enviados por dicho adquisidor. Mediante caños plásticos se condujo el destilado de los tres equipos hacia cada bidón recolector como así también fueron conducidas las termocuplas.

Se colocaron 5 termocuplas al D2C, una en la cara superior de la cubierta, otra en la batea y las restantes dentro del tanque a diferentes profundidades. En el DB se colocaron 2 termocuplas para medir la temperatura del vidrio de cubierta y la de batea. En el DCSA se instalaron 6 termocuplas, en el vidrio, en la batea y el resto en diferentes alturas dentro del tanque acumulador. Dichas termocuplas fueron conectadas al FLUKE conjuntamente con otra que toma temperatura ambiente. En la Figura 4 y 5 se muestra la ubicación de los instrumentos de medición y la instalación.



Figura 4. Ubicación del sistema de medición.



Figura 5. Vista de la instalación completa.

### TOMA DE DATOS

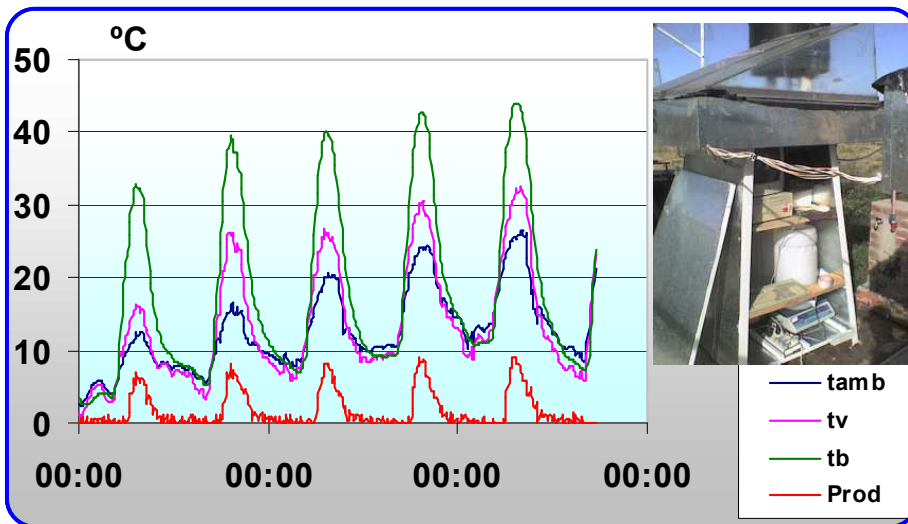
Este montaje se terminó de realizar en los últimos días del mes de mayo de 2007 y posteriormente se comenzaron a tomar datos de producción. En un primer momento dichos datos fueron almacenados cada 10 minutos. El primer inconveniente fue que esos valores medidos tenían demasiada variabilidad debido a que el destilado caía “a chorritos” y no por “goteo” debido a la acumulación dentro de los caños plásticos. Posteriormente se decidió tomar datos cada 20 min. para disminuir dicha

variación lo que derivó en los gráficos que se presentan a continuación, los que corresponden a una serie de 5 días claros ocurridos durante los primeros días del mes de junio de 2007. Se tomaron datos en los meses de junio y julio en los que encontramos muy buena repetibilidad de los valores obtenidos. Es de hacer notar que debido a la Emergencia Energética en la que se encontraba nuestro país en esos meses, es que se debió soportar cortes de energía en varias oportunidades lo que no permitió contar con información continua.

**RESULTADOS y DISCUSION**

**Destilador Básico**

En la Figura 6 se observan las curvas obtenidas para el DB para la serie de 5 días consecutivos claros, en los que se observa como las temperaturas fueron en ascenso periódicamente, como así la producción que se muestra en el mismo. Se observa claramente que las temperaturas de batea y vidrio (Tb y Tv), siguen cíclicamente a las variaciones de la temperatura ambiente. Dichas temperaturas son mayores a la ambiente durante las horas en que hay radiación solar, pero se invierten durante la noche, primero la Tv y luego la Tb. En cuanto a la producción propiamente dicha, se ve que inicia aproximadamente a las 12:00 hs manteniéndose hasta las 21:00 hs, logrando su máximo alrededor de las 15:00 hs en que alcanza valores máximos de 0.20 Kg./h. Es de hacer notar también que los máximos en las Tv y Tb, se logran antes que el máximo en la temperatura ambiente (Ta). Durante las horas del día, cuando hay radiación solar, la producción aumenta rápida y significativamente con la diferencia de temperaturas Tb – Tv como era de esperarse. En la tabla 1 se muestran las producciones diarias y en la Figura 7 se muestra en detalle un día típico. En ésta se observa que la temperatura en la batea alcanza los 43 °C cuando la Ta fue de 24 °C aproximadamente, manteniendo durante todos los días una diferencia aproximada de 20 °C entre ambas.



día	Prod Kg.
1	1,08
2	1,34
3	1,40
4	1,45
5	1,57

Figura 6. Temperaturas en el Destilador Básico y Producción del mismo. La producción está en escala Kgx100 y cada 20 min.

Tabla 1. Producción diaria DB

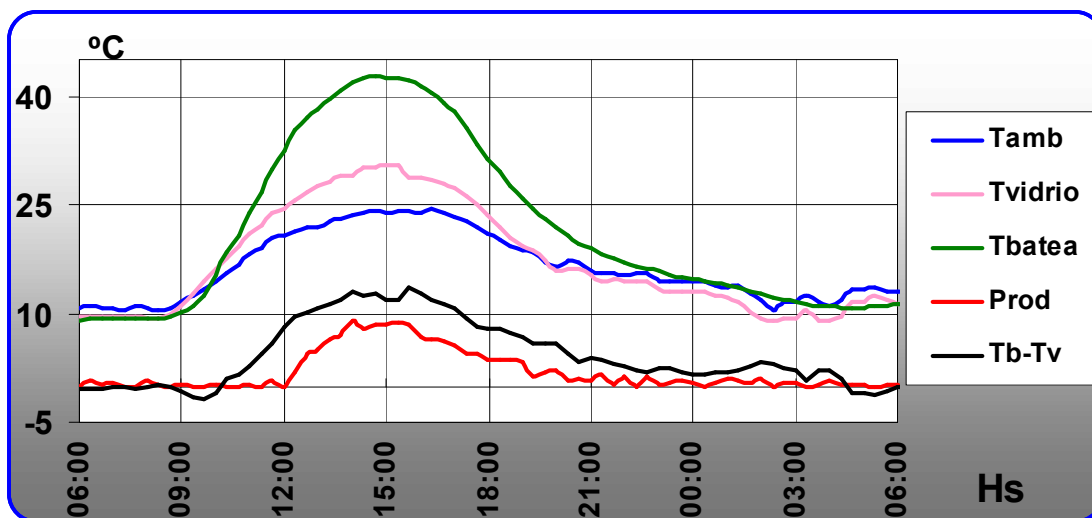
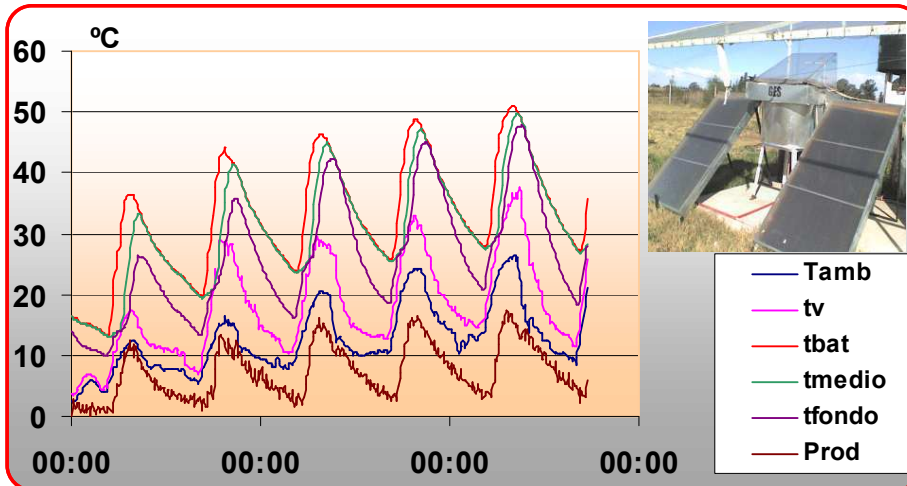


Figura 7. Temperaturas en el Destilador Básico, Producción y Diferencia de Temperaturas entre Vidrio y Batea. La producción está en escala Kgx100 y cada 20 min.

### Destilador Asistido por Colectores Solares Planos

En el caso del destilador asistido por colectores solares planos para el precalentamiento del agua de la batea, se puede apreciar en la Figura 8, en la que se muestran los mismos 5 días del caso anterior, que se nota que las curvas de  $T_b$  y  $T_v$ , mantienen la tendencia de la temperatura ambiente como en el caso anterior, pero casi siempre superiores a la misma, en cambio en las temperaturas del agua del tanque se nota un retraso en alcanzar los valores máximos, debido justamente a la inercia térmica de los colectores solares y al volumen de agua almacenada. La diferencia  $T_b - T_v$  oscila entre los 10 °C y los 20 °C y en este caso la producción se mantiene durante las 24 hs. con máximos de aproximadamente 0.5 Kg./h. en las horas pico. En la tabla 2 se muestran las producciones diarias y en la figura 9 se muestra en detalle un día típico. La curva de  $T_b - T_v$  alcanza un máximo en horas de la tarde aproximadamente a las 18:00 hs cuando ya  $T_v$  descendió siguiendo a la  $T_a$ , y la  $T_b$  se mantiene debido al almacenamiento de agua caliente en el tanque.



día	Prod Kg.
1	3,28
2	4,61
3	5,75
4	6,32
5	6,81

Tabla 2. Producción diaria D2C

Figura 8. Temperaturas en el Destilador Asistido D2C y Producción del mismo. La producción está en escala Kgx100 y cada 20 min.

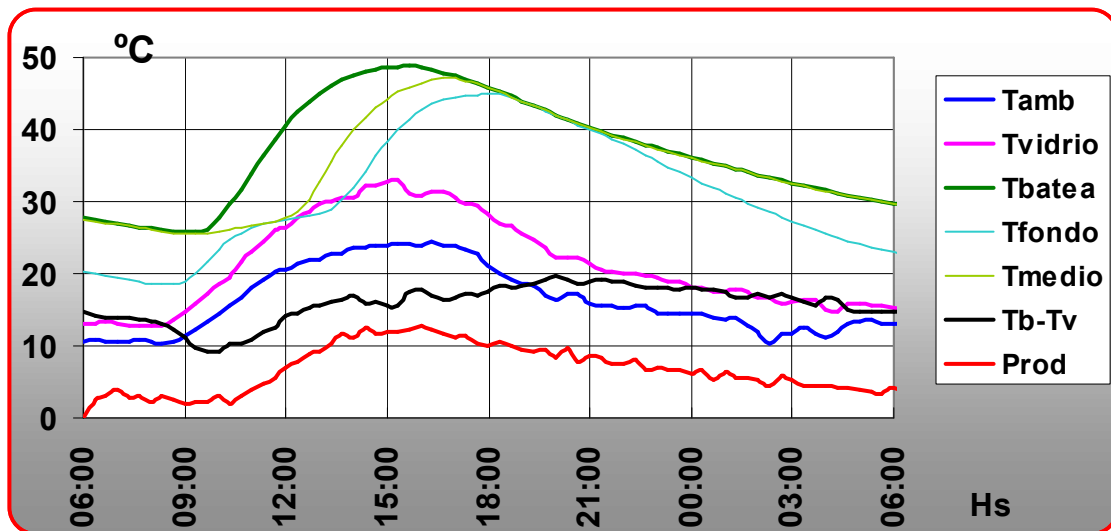


Figura 9. Temperaturas en el Destilador Asistido D2C, Producción y Diferencia de Temperaturas entre Vidrio y Batea. La producción está en escala Kgx100 y cada 20 min.

### Destilador Asistido por Colector Solar Acumulador

En este caso (Figura 10), se nota que las curvas son mas suaves durante la serie de 5 días en todos los casos y de reacción muy lenta para alcanzar los máximos de temperatura de agua, debido a que este destilador ha mostrado una gran inercia térmica en todos los ensayos. Vemos que las temperaturas del agua son siempre mayores a la  $T_a$  pero no alcanza en ningún caso a las temperaturas alcanzadas por el destilador anterior. La diferencia  $T_b - T_v$  ronda los 10 °C y en las horas de mayor radiación esta diferencia llega a invertirse, debido a que la  $T_v$  aumenta mas rápidamente que la  $T_b$ . En esos

horarios, es cuando se dan los valores mas grandes de producción que rondan los 0.28 Kg./h, no mucho mas que el destilador básico, pero sí durante mas tiempo, como se observa en la Figura 11 que ilustra como la producción desciende muy lentamente. En dicha figura se muestra un día típico y en la Tabla 3 la producción diaria.

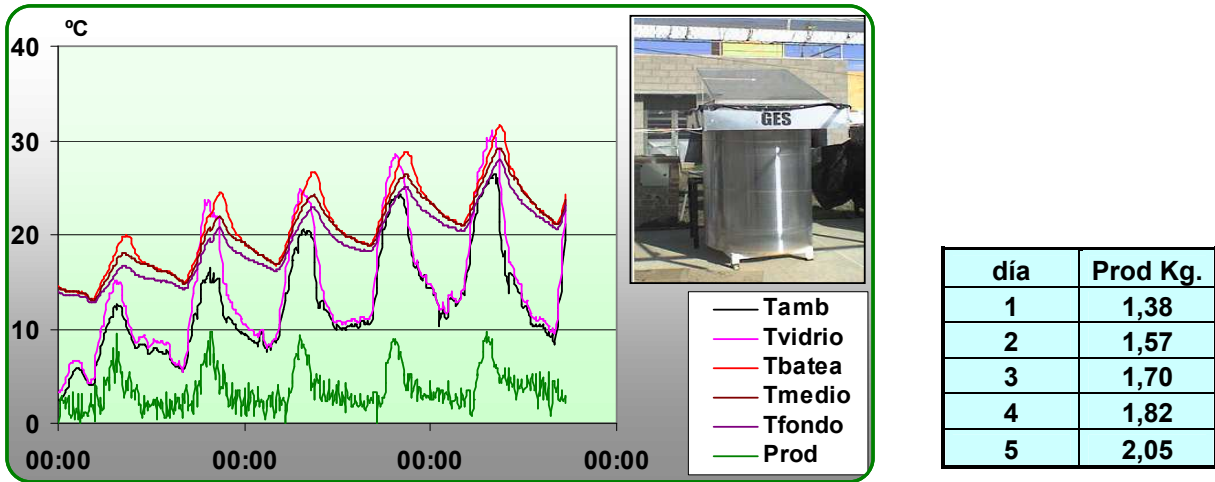


Figura 10. Temperaturas en el Destilador Asistido DCSA y Producción del mismo. La Producción está en escala Kgx100 y cada 20 min.

Tabla 3. Producción diaria DCSA

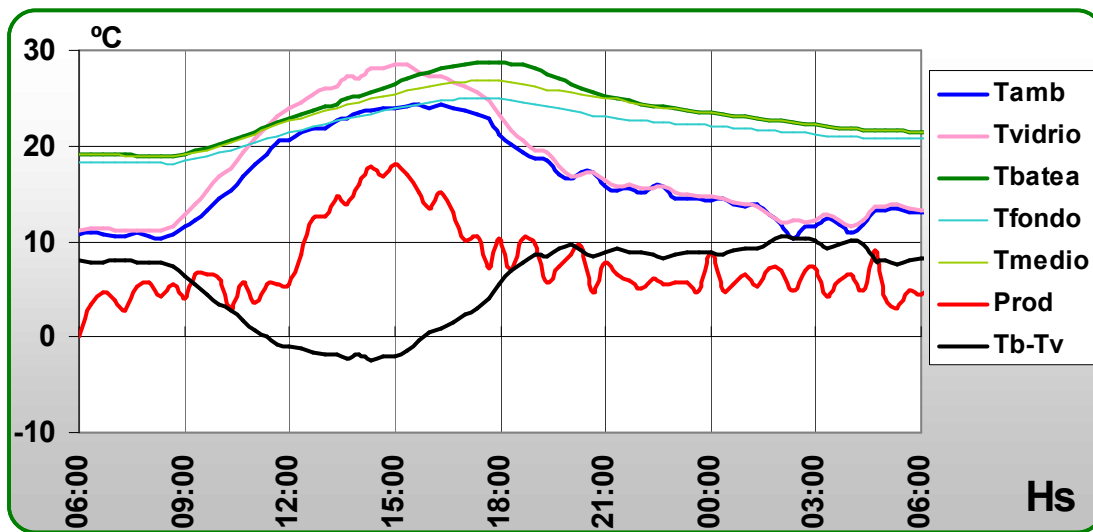


Figura 11. Temperaturas en el Destilador Asistido DCSA, Producción y Diferencia de Temperaturas entre Vidrio y Batea. La producción está en escala Kgx200 y cada 20 min.

### Comparación de las Producciones Horarias

En la Figura 12 se muestran las comparaciones entre las producciones horarias de los tres destiladores de un día típico. Notamos que los destiladores asistidos con sistema de precalentamiento del agua de la batea producen durante casi las 24 hs, no así el destilador básico cuya producción se produce durante las horas de mayor radiación. Es por esta causa principalmente que las producciones de los destiladores asistidos térmicamente son mayores que en el básico. En el caso del DCSA, la producción aumenta en un 30% aproximadamente mientras que en el D2C la misma se ve aumentada casi 400%, ambas respecto al DB. Este destilador es muy dinámico en su respuesta, no así el DCSA, que mantiene de todos modos un nivel de producción bastante estable. El D2C en cambio mantiene durante gran parte del día niveles de producción aceptables y muy superiores.

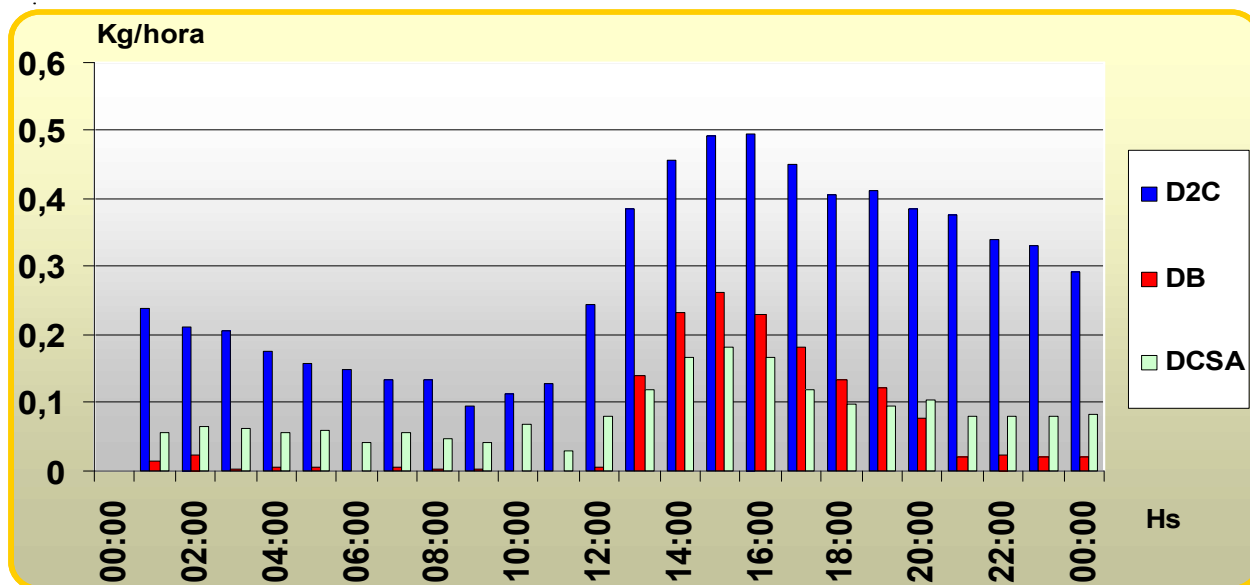


Figura 12. Comparación de las producciones horarias entre los tres destiladores

### CONCLUSIONES

En primer lugar puede concluirse que se logró, a partir de una adaptación de balanzas comerciales, medir la producción instantánea de destiladores solares con gran exactitud durante las 24 hs del día.

Con los ensayos realizados se comprobó que es posible incrementar la producción de un destilador solar de batea aumentando la temperatura del agua del mismo.

La producción de destiladores solares asistidos térmicamente no se reduce solamente al período en que existe radiación, sino que como se vio, dicha producción continúa durante gran parte de las horas sin sol.

A partir de los resultados obtenidos, se observa en el destilador básico, una mayor producción cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre batea y cubierta.

Se puede apreciar que el destilador asistido con colectores planos normalmente duplica la producción horaria del DB y del DCSA durante las horas de sol y llega a triplicar esos valores durante el resto del día.

En caso del destilador con acumulador respecto al básico, se vé que aunque la producción es mayor en el primero, la respuesta es más ágil en el DB.

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

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parcialmente financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCYT), proyecto 2003-15077.

### 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
- Ben Bacha, Dammak T, Ben Abdalah A. Maalej A, Ben Dia H, (2006) Desalination Unit Coupled with Solar collectors and a Storage Tank. Modelling and Simulation. Desalination 206 (2007) 341-352.
- 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
- Follari J, 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
- Hanson A. , W. Zachritz, K. Stevens, L. Mimbela,(2003) Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies, Solar Energy, vol 76, 635-645

- Joseph J, Saravanan R, Renganarayanan S (2004) Studies on a Single Stage Solar Desalination System for Domestic Applications. Elsevier Desalination 173 (2005) 77-82
- Kalogirou S.(2004) Seawater Desalination using Renewable Energy Sources. Progress in Energy and Combustion Science. Elsevier 31 (2005) 242-281.
- 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.
- Sartori E.(1996) Solar Still versus Solar Evaporator. A comparative Study Between Their Thermal Behaviors. Solar Energy Vol. 56, No. 2, pp. 199-206, 1996.
- Tiwari G, H. N. Singh, Rajesh Tripathi, (2003) Present status of Solar Distillation. Solar Energy, vol 75, 367-373.
- 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.

**ABSTRACT** This work indicates the way used to measure experimentally instantaneous production of solar distillers asisted with auxiliary solar systems of preheating the basin water to be compared with a distiller of the basic type, to which were also measured its production during the 24 hs of the day, through commercial scales adapted for such purpose. In this work also appears details of the above mentioned installation and results obtained during a series of 5 clear days of the winter months for each of the equipments, those who were constructed in the National University of Rio Cuarto for previous works. These results allow a clear estimation to the hourly productions of the same ones, like thus also their speed of answer by climatic variations. Also they allow concluding in the advantages that the preheating of the water of the basin, which indicates that the objectives were reached. These results are presented by means of graphs and tables.

**Keywords:** Desalination, Solar distillation, Water quality, Water purification.