

## **DESTILACIÓN SOLAR EN LA U.N.R.C. CONSTRUCCIÓN Y PRIMEROS RESULTADOS**

**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)  
[educculi@ing.unrc.edu.ar](mailto:educculi@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 aborda experimentalmente la posibilidad de un aumento en el rendimiento y una mejora en la producción de destiladores solares al asistirlos con sistemas solares auxiliares de precalentamiento del agua de la batea. Se muestran detalles de construcción y primeros resultados obtenidos en la Universidad Nacional de Río Cuarto. Los equipos de destilación son similares a los construidos en la Universidad de San Luis, con mejoras en las aislaciones térmicas de la batea, además se incorporaron superficies selectivas a los mismos. Se construyeron tres destiladores solares, en los que el conjunto batea-cubierta fueron idénticos. Se evaluaron durante 5 meses los comportamientos de éstos para compararlos, obteniéndose producciones que llegaron casi a quintuplicar el producido por el destilador básico, mostrando que los objetivos fueron logrados. Dichos resultados son presentados mediante tablas.

**Palabras clave:** Desalinización, Destiladores Asistidos, Materiales, Destiladores Solares, Calidad de Agua.

### **INTRODUCCIÓN:**

La destilación solar ha sido utilizada para producir agua potable en lugares en que el agua disponible es de baja calidad y el acceso a otros métodos de purificación es muy oneroso. Debido al bajo costo de instalación y mantenimiento de destiladores solares, es que éste puede llegar a ser un buen método para la obtención de agua de excelente calidad a partir de aguas salobres. Aunque el agua abunda en la Tierra, aquella de utilidad para consumo del hombre es escasa, figura 1. Como vemos solamente el 3% del total es agua dulce. Aún así, de este pequeño porcentaje, el 20% es subterránea y el 79% está en forma de hielo y glaciares. Del 1% restante, se debe descontar la humedad del suelo y atmósfera, dando como resultado que lo accesible en superficie es realmente ínfimo y más aún en zonas alejadas de estas fuentes. Este recurso, que si bien es renovable, es finito a escala humana en algunos ámbitos y altamente vulnerable a contaminarse en determinadas situaciones. (Tiwari G, et al 2003). El agua es un solvente excepcionalmente bueno, a veces llamado “solvente universal” porque disuelve casi todas las sustancias, dados los tiempos suficientes, aún en pequeñas cantidades. Algunas sustancias son muy solubles, por ejemplo la sal común o sal de mesa. El agua puede naturalmente poseer mala calidad si al circular por los sedimentos (o rocas) toma algunos elementos químicos que disueltos en la misma, se encuentren por encima de los límites de aptitud establecidos. En esos casos dichas impurezas resultarán tóxicas para la salud.

En la zona sur de la provincia de Córdoba, el mayor recurso para el consumo, industria, agricultura y ganadería se debe al ámbito subterráneo. El agua del acuífero freático de esta zona varía de composición en sentido Noroeste-Sudeste, haciéndose más salina hacia el Este y Sudeste provincial por estar alejada de las zonas donde inicia su circulación, próximas a las sierras, como se aprecia en la figura 2. Considerando que el Código Alimentario Argentino (C.A.A.) admite hasta  $1.5 \text{ Kg/m}^3$  de sales totales disueltas en agua, vemos que en nuestro sur de Córdoba, existen varias localidades con graves problemas para acceder a fuentes de agua seguras, por ejemplos en zonas como Gral. Levalle que posee  $12 \text{ Kg/m}^3$  o mas. En otras zonas existen altos contenidos de Arsénico y Flúor en el agua subterránea como por ejemplo en Alejo Ledesma se detectaron  $1.7 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$  de Arsénico y en zonas como Sampacho  $4 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$  de Fluor cuando según el C.A.A. los límites para el consumo humano de estos elementos es de  $0.5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$  y de  $1.3 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$  respectivamente. El exceso de Arsénico en aguas de consumo puede producir Hidroarsenicismo Crónico y el Flúor puede generar Fluorosis (moteado marrón en los dientes o afectación a los huesos) (Blarasin y Cabrera 2003).

Las tecnologías convencionales como cloración, sólo sirven para desinfectar dichas aguas, pero no para desalinizarlas. Otras poblaciones usan el método de ósmosis inversa que solamente desaliniza las aguas pero no las desinfecta ni extrae la contaminación producida por pesticidas y agroquímicos, aparte de ser un método muy costoso para su operación de entre 21600 y 36000 kJoule / m<sup>3</sup>. Los ablandadores de agua, bajan la dureza de las mismas pero tampoco extraen metales ni las desinfectan. Existen otros métodos, aunque no se enumerarán en este trabajo.



En nuestro caso, continuando las experiencias obtenidas en la Universidad de San Luis en las que se agregaron espejos para aumentar la radiación solar incidente, se propone aumentar la producción de destilado aumentando la temperatura del agua en la batea, para ello recurriremos a incorporar a la misma, agua proveniente de colectores solares precalentadores. Emplearemos dos tipos de calentadores de agua: 1) un colector solar acumulador y 2) colectores solares planos directamente acoplados a un tanque acumulador que se continúa en su extremo superior en la batea del destilador. En una primera etapa evaluamos teóricamente la capacidad de colección solar de la batea en función de la geometría de la cubierta vidriada y mostramos que entre una cubierta compuesta por un vidrio principal cuya normal apunta al Norte (cubierta asimétrica) y la cubierta tipo capilla con eje Norte Sur (cubierta simétrica), la primera presentaba mayor colección de radiación solar. (Fasulo et. al. 2004).

#### **EXPERIENCIA EN RIO CUARTO:**

Los destiladores se construyeron en el Laboratorio de Energía Solar que la Universidad Nacional de Río Cuarto posee, al Norte del Campus y cruzando la ruta 8, para que el G.E.S. (Grupo de Energía Solar) realice sus experiencias. En este predio se ha construido una plataforma de hormigón con su eje Norte Sur sobre la cual se han instalado los tres destiladores solares que vamos a experimentar. En un principio y debido a que en esta zona es muy común la caída de granizo y piedra, lo primero que se construyó fue una malla antigranizo de alambre, con trama romboidal, que cubre dicha plataforma para proteger las superficies vidriadas, tratando que a su vez no afecte los valores de radiación solar incidente, la que es atenuada en un valor aproximado del 10%.

#### **CONSTRUCCIÓN DE LOS MODULOS:**

Se construyeron tres bateas de iguales dimensiones con cubierta asimétrica desmontable de vidrio de espesor 0.004 m. Optamos por esta geometría por su mayor capacidad de coleccionar radiación solar como se dijo anteriormente. Este diseño solo permite una única orientación para su operación, la que corresponde a su eje puesto en la dirección Este-Oeste. En estas condiciones casi toda la radiación solar ingresará al destilador por la placa de vidrio principal. Cada módulo contiene 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. Una cubierta vidriada desmontable 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. La placa de vidrio que se ubica en la parte posterior forma un ángulo aproximado de 80° respecto a la horizontal, de forma tal que para el periodo estival, cuando el sol alcanza su mayor aproximación al cenit a medio día, los rayos no incidan sobre su cara exterior, sus medidas son 0.84 x 0.48 m. Completan la cubierta dos laterales de vidrio de forma triangular, pegados entre sí y al perfil de acero inoxidable que soporta dicha estructura vidriada mediante resinas, lo que le confiere estanqueidad al sistema. figura 5.



*Figura 5. Vista de las cubiertas vidriadas desmontables. Se aprecia en primer plano al destilador básico con su cubierta removida y cruzada sobre la batea del mismo. En segundo plano el destilador con Acumulador con la cubierta en posición de trabajo.*

Estos destiladores fueron emplazados de manera que el nivel de agua en la batea sea el mismo en los tres casos, de manera que pueden ser abastecidos por un único depósito manejado con un flotante para lograr aproximadamente de 0.01 a 0.02 m de agua en cada uno. En la figura 6 se muestra en detalle el soporte de dicha cubierta, similar al utilizado por Follari 1994 pero con algunas modificaciones. Se observa desde adentro hacia afuera el canal colector de destilado, el soporte para el vidrio, el encastre para el policarbonato alveolar, que a su vez hace de aislante térmico entre la batea y la cubierta desmontable, y en la

parte externa el tramo que guía al agua de lluvia hacia afuera para evitar que ingrese al destilador provocando variaciones en el nivel de agua en su interior.

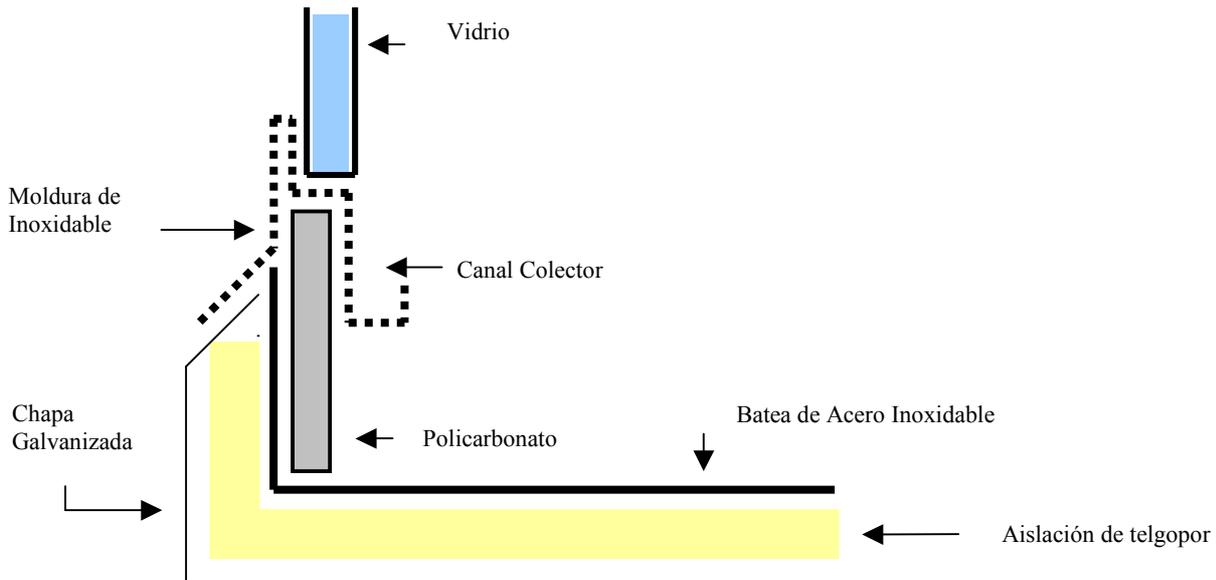


Figura 6. Corte Transversal de un destilador, se aprecia en detalle la moldura que sirve de base a la cubierta desmontable.

#### ARMADO DE LOS DESTILADORES:

A mediados del año 2005 se comenzaron a construir los destiladores, dichas construcciones fueron efectuadas por los mismos autores de este trabajo, con la colaboración de un alumno interesado en este tema. Se comenzó colocando la malla antigranizo descrita anteriormente, debido a que esta zona es propensa a dicho fenómeno meteorológico. Posteriormente se armaron las cubiertas desmontables de vidrio, las aislaciones de los tanques y bateas, el recubrimiento de las mismas con chapa remachada, la fabricación de las patas de hierro ángulo con sus correspondientes sistemas de regulación de altura y por último las instalaciones y colocación de tanques de agua de alimentación. Algunos trabajos muy específicos, como soldaduras con Acero Inoxidable, plegados y cortes fueron hechos en talleres particulares. En el mes de Marzo de 2006, estaban ya en funcionamiento los tres equipos con lo que se dio inicio a las mediciones que damos en la tabla 1.

En la figura 7 se muestra el laboratorio del G.E.S. y los equipos de destilación solar. El equipo del centro es un destilador solar de batea básica (D.B.) compuesto por la batea y cubierta descrita anteriormente, la cual se aisló en su parte inferior y laterales con una capa de 0.1 m de télgopor y éste se recubrió con chapa galvanizada remachada. Este equipo fue colocado sobre 4 patas de hierro ángulo en cuya parte inferior se adosaron reguladores de altura, para controlar el nivel de agua en la batea. El agua salada ingresa al mismo por su parte inferior, en el medio de la batea y el destilado se extrae por la parte media de la cara posterior del destilador, o sea la cara que da al sur. Debajo del mismo se coloca el tanque recolector de destilado.

El equipo que se observa a la derecha (D.C.S.A.) consta de batea aislada también con una capa de 0.1 m de télgopor en sus laterales y parte inferior, con cubierta desmontable. 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. La parte exterior de dicho tanque, a diferencia del montado en San Luis, no está pintado de negro, sino que se le ha recubierto con una superficie selectiva cromo negro autoadhesivo depositado sobre una lámina de aluminio. Está aislado a su vez con dos cubiertas de polycarbonato alveolar separadas 0.015 m entre sí y a su vez separadas de la superficie del tanque otros 0.015 m, a diferencia del de San Luis cuyas separaciones son 0.040 m aproximadamente y asentado sobre tacos de madera, los que a su vez apoyan sobre una placa de madera de forma circular. Este descansa sobre 4 patas de hierro ángulo con dispositivo regulador de altura similar al descrito anteriormente. La base de la batea tiene una abertura circular de igual diámetro que el tanque y es por donde se comunican ambas partes. El agua salada ingresa por la parte inferior del mismo, a través de una placa dispersora y se va calentando hasta llegar a la parte superior del destilador, extrayéndose el destilado igual que antes por la parte posterior del mismo.

En el caso del destilador de la izquierda (D.2C.), se le adosó en su parte inferior un Tanque Acumulador de Acero Inoxidable cuyas medidas son 0.8 m de altura por 0.8 m de diámetro, aislado con télgopor desmenuzado y forrado con chapa galvanizada. La batea, aislada con una capa de télgopor, tiene en su base una abertura circular de igual diámetro que el tanque y es por donde se comunican ambas partes. (Fasulo et. al. 2001). Este conjunto está asentado, como en los casos anteriores sobre una base construida en hierro ángulo, de altura regulable. La alimentación en este caso es por la parte superior del tanque, luego de que el agua se precaliente en dos colectores solares, colocados en paralelo, de placa plana de 2 m<sup>2</sup> de superficie cada uno, orientados al Norte con un ángulo de inclinación de 44°. Las placas absorbedoras de dichos colectores poseen también superficie selectiva cromo negro y cerrando la caja de los mismos, una cubierta frontal de polycarbonato celular de 0.006 m de espesor.



Figura 7. Vista de los destiladores solares en el laboratorio del G.E.S. de la Universidad de Rio Cuarto. De izquierda a derecha están el D.2C., luego el D.B. y por último el D.C.S.A.

#### EXPERIENCIAS:

En la tabla siguiente se muestra el promedio diario en litros producido por cada destilador en días claros de cada mes, desde Marzo hasta Julio de 2006. En las últimas dos columnas se comparan las producciones de los destiladores con precalentamiento de agua respecto al básico.

PERIODO	A DESTILADOR BASICO LTS / DIA	B DESTILADOR ACUMULADOR LTS / DIA	C DESTILADOR C/ COLECTORES LTS / DIA	C. / A.	B. / A.
<b>Marzo</b> Promedio 3 días claros	2.655	3.970	9.270	3.49	1.49
<b>Abril</b> Promedio 4 días claros	2.322	3.49	9.215	3.96	1.50
<b>Mayo</b> Promedio 4 días claros	1.68	2.57	6.81	4.05	1.52
<b>Junio</b> Promedio 3 días claros	1.16	1.89	5.76	4.96	1.62
<b>Julio</b> Promedio 3 días claros	1.21	1.95	5.94	4.91	1.61

Tabla 1. Producción diaria en litros de cada destilador. Comparaciones entre ellos.

Como vemos el producido por el destilador básico (A) es congruente con lo previsto (entre 1 y 4 litros por día). Se ha llegado a un máximo en el mes de Marzo de 2.8 lts/día, disminuyendo hacia los meses de invierno juntamente con la menor duración de la radiación solar. Lamentablemente no se pudieron tomar datos en los meses de verano cuando los valores de radiación toman un máximo debido a que aún no estaban finalizados ninguno de los destiladores. En el caso del destilador con acumulador (B) notamos una mejoría en los valores de producción debido al calentamiento del agua en el tanque. La producción aumenta notablemente en el caso del destilador asistido por dos colectores solares (C), a causa de la mayor temperatura lograda en el agua de la batea, debido a que este destilador es alimentado por su parte superior con agua proveniente de los colectores solares y a la menor inercia térmica de este destilador respecto al anterior (B) en el que por la gran masa de agua que posee y el movimiento en ascensión de la misma, el calentamiento es mas lento.

En las figuras 8 y 9 se muestran respectivamente las comparaciones de lo producido entre el destilador C (asistido por dos colectores) y el A (destilador básico) en función de los meses de Marzo a Julio de 2006 y la relación entre lo producido durante el mismo período por los destiladores B (asistido con acumulador) y A.

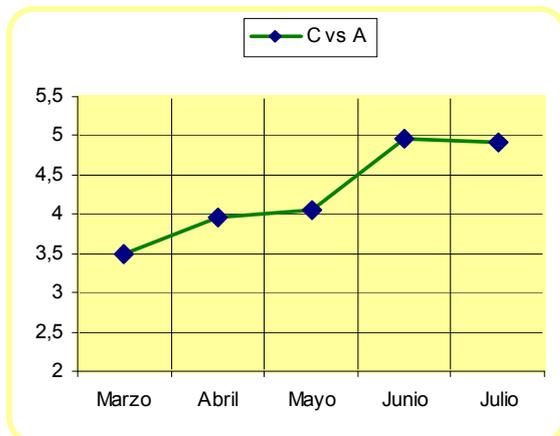


Figura 8. Comparación entre destiladores C y A



Figura 9. Comparación entre destiladores B y A.

## CONCLUSIONES:

En primer lugar podemos decir que hemos adquirido capacitación para construir dispositivos solares de alta calidad calentadores de agua para ser aplicados posteriormente a destiladores solares.

Se puede apreciar la gran ventaja, en cuanto a producción se refiere y analizando la tabla 1, del pre calentamiento del agua a ingresar al destilador, pues algunas mediciones indicaron casi 10 litros en un día claro del mes de Marzo con el destilador asistido con colectores.

Como vemos en la figura 8, se ha llegado en algunos casos, meses de invierno, casi a quintuplicar la producción de un destilador básico, utilizando colectores solares planos para precalentar el agua de la batea. En los meses en los que la radiación solar dura más horas, dicha relación es menor debido a que el destilador básico trabaja durante más horas al día.

En caso del destilador con acumulador respecto al básico, figura 9, el incremento del destilado ronda el 50 al 60 %, haciéndose más notorio este efecto en los meses de menor cantidad de horas de sol. En ambos casos los descensos producidos en el mes de Julio, se debieron a las más altas temperaturas registradas ese mes respecto a Junio.

La desalinización que se consigue 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

## AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen la dedicación, el esfuerzo y la mano de obra prestada por los investigadores docentes del Grupo de Energía Solar (G.E.S.) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto, para llevar adelante la ejecución de este proyecto, así como el apoyo prestado por el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas Físico Químicas y Naturales de la misma. Del mismo modo, manifestamos también que este trabajo es parcialmente financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (FONCYT), proyecto 2003-15077.

## REFERENCIAS:

- Blarasin M, y Cabrera A, (2003). Año Internacional del agua dulce, Aguas subterráneas y Ambiente. Cartilla de divulgación. Editorial UNRC.
- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes, 2ª edición. Wiley Interscience, New York.
- Esteban C., J.Franco y A.Fasulo (2000) - Destilador Solar Asistido con Colector Solar Acumulador. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4 pp 39-41
- Esteban C., J.Franco and A. Fasulo (2002).- Solar Distiller Assisted by Solar Collector accumulator. proceeding of EuroSun 2002, Bologna, Italia.
- Fasulo A., J. Adaro, J. Marchesi y J. Follari (2004). 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 (2004) 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

- Fasulo, A., (2000). The Thermal losses of a Solar Accumulator Collector. Proceedings of World Renewable Energy Congress VI, Vol. 4, 2694 – 2697.
- Fasulo A. Follari, J. and Barral, J. (2001). Comparison between a simple solar collector accumulator and conventional accumulator, Solar Energy, vol 71, 389-401
- Follari J. , (1994) . Un destilador solar tipo invernadero desmontable; Actas de la 17ma Reunión de trabajo de ASADES ; Tomo I , pp 45 a 50.
- 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
- 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 paper shows experimental developments on solar stills, which were made to improve their efficiencies and increase their productivity. The developments were based on the assistance of the basins by means of auxiliary solar heaters. Constructive details are shown and results are presented. These equipments, built in the National University of Rio Cuarto, are similar to other systems built in the National University of San Luis, but the basin thermal insulations were augmented and selective surfaces were added. Three different equipments were mounted, which have the same basic basin-cover system, but two of them are assisted by solar heaters. The performances of these equipments were evaluated during five months in order to make comparisons. These comparisons showed that the assisted stills can produce almost five times more distilled water than the basic system, which means that the objectives of the project were achieved. The results are presented and shown in tables.

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