

## EVALUACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN DE MODIFICACIONES PROPUESTAS EN UN DESTILADOR SOLAR ASISTIDO POR UN TANQUE COLECTOR ACUMULADOR INTEGRADO

Javier Zizzias<sup>1\*</sup>, Rodolfo Stoll<sup>1</sup>, Javier Marchesi<sup>1</sup>, Amílcar Fasulo<sup>1,2</sup> y Fabián Venier<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. N° 36 Km. 601  
5800 Río cuarto Tel. 0358-4676485-e-mail jzizzias@ing.unrc.edu.ar

<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco y Pedernera  
5700 San Luís Tel. 2652-424689 int. 103.

*Recibido: 13/08/12; Aceptado: 04/10/12*

**RESUMEN:** En este trabajo se presenta la evaluación de modificaciones propuestas para mejorar la producción de un destilador solar asistido por un tanque colector acumulador integrado. Para esto se desarrolló y se validó mediante experimentación un modelo físico-matemático que describe el comportamiento del destilador, el cual sirvió de base para desarrollar la simulación del mismo, la que también fue validada experimentalmente. Posteriormente mediante simulaciones se evaluaron distintas modificaciones en la geometría del dispositivo y se compararon los resultados obtenidos con los originales. Estos resultados establecen que reduciendo a la mitad el tamaño del tanque colector, mejorando la aislación de la base y aumentando la separación de las cubiertas de policarbonato que lo rodean, se logra una mejora en la producción y un abaratamiento en la construcción del mismo. Queda demostrar estos resultados experimentalmente a partir de la construcción y evaluación de un prototipo. Los resultados se muestran mediante tablas y gráficos.

**Palabras clave:** destilador solar, colector-acumulador, simulación, modificaciones y evaluación.

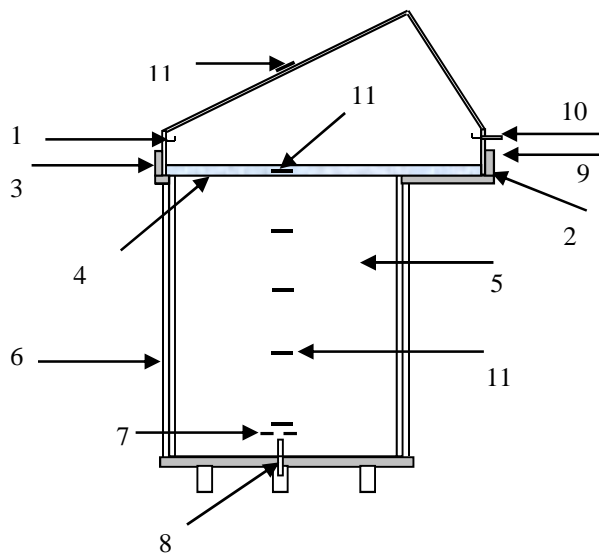
### INTRODUCCIÓN

La destilación solar se ha venido desarrollando en forma ininterrumpida durante las últimas décadas en todo el mundo. Las ventajas que ofrece en cuanto al no uso de energías convencionales hace que en numerosos países las investigaciones sobre su desarrollo sean importantes, sobre todo aquellos en que la escasez de agua potable es significativa. En general, estas investigaciones se centran en la principal desventaja que tienen estos destiladores que es su baja producción y eficiencia. Esto hace que para producir agua destilada se necesiten grandes superficies cubiertas por destiladores y una importante inversión económica inicial. Numerosas investigaciones dan cuenta de que una significativa mejora en los niveles de producción se logra auxiliando a los destiladores solares con colectores solares de distinto tipo los cuales precalientan el agua de la batea aumentando con esto su producción (Voropoulos et al., 2011; Marchesi et al., 2008). En este sentido el Grupo de Energía Solar de la UNRC conjuntamente con el Laboratorio de Energía Solar de la UNSL han venido desarrollando desde fines del siglo pasado prototipos de destiladores solares activos los que son auxiliados por colectores solares planos o por un tanque colector acumulador integrado (Esteban et al., 2000; Fasulo et al., 2002). Este último, llamado Destilador Solar Colector Acumulador, DSCA, es el analizado en este trabajo.

El DSCA consiste en un tanque colector acumulador conectado en su parte superior a un destilador solar de batea con cubierta de vidrio asimétrica a través de una abertura de igual diámetro que el tanque (0,80m). El tanque de aproximadamente 600 litros es de acero inoxidable exteriormente cubierto por una superficie selectiva y esta rodeado lateralmente por 2 cubiertas de policarbonato. El fondo está apoyado en una base de madera que le sirve de sostén y aislación. La batea del destilador es también de acero inoxidable cubierta con un plástico negro y tiene aislación de poliuretano expandido en sus laterales y en el fondo. La cubierta es de vidrio y asimétrica.

La principal característica de este destilador es que debido a la energía que es capaz de almacenar la masa de agua contenida en el tanque durante el período de radiación, la producción de agua destilada continúa durante la noche, incrementando los niveles de producción diarios. En los primeros estudios que se llevaron adelante se constató que la producción del DSCA es un 77% superior al de batea simple (Fasulo et al., 2001). También se determinaron las pérdidas térmicas de todo el dispositivo (Esteban et al., 2004). Luego con el objetivo de tener un conocimiento más detallado del funcionamiento del mismo se retomó el estudio experimental de las pérdidas térmicas pero discriminando entre las que se producen por las paredes laterales y por el fondo del tanque y las que se producen por el del destilador (Zizzias et al., 2011; Fasulo et al., 2010). Se realiza luego un estudio analítico del funcionamiento del dispositivo a partir del cual se proponen modelos físico-matemáticos que representan tanto el funcionamiento del destilador propiamente dicho como el funcionamiento del tanque colector acumulador (Zizzias et al., 2012a). Con el propósito de poder evaluar modificaciones que optimicen su funcionamiento se realiza a partir de aquellos modelos un programa que simula el funcionamiento del DSCA en función de los parámetros característicos del mismo (Zizzias et al., 2012b). Validada la simulación a partir de resultados experimentales se analizan posibles modificaciones en la geometría del dispositivo y se simulan en el programa realizado. En este trabajo se presentan las modificaciones propuestas y los resultados obtenidos.

En la Figura 1 se observa un esquema del DSCA y las respectivas referencias.



- 1- Marco de acero inoxidable Canales y soporte placas de vidrio.
- 2- Material aislante, recubre parte inferior de la batea de acero inoxidable.
- 3- Chapa metálica de acero galvanizado protectora del material aislante.
- 4- Membrana de plástico, perforada cubre fondo de la batea.
- 5- Interior del tanque de acero inoxidable.
- 6- Dos cubiertas concéntricas de policarbonato.
- 7- Placa deflectora del flujo de agua.
- 8- Tubo ingreso de agua cruda.
- 9- Soporte de material aislante.
- 10- Tubo descarga exceso de agua.
- 11- Termocupla

Figura 1: Esquema y referencias del Destilador Solar acumulador usado en nuestra experiencia

## METODOLOGÍA

Para obtener el programa que simula el funcionamiento del DSCA se planteó en primer lugar un modelo físico-matemático que incluye todas las transferencias de calor que se producen en el mismo. Luego, como se mencionó anteriormente estos modelos, tanto del destilador como del tanque colector acumulador, fueron verificados comparando las pérdidas térmicas obtenidas experimentalmente con las obtenidas mediante el modelo. A partir de este se realizó la simulación utilizando para ello el software Engineering Equations Solver, EES, que es el que permite resolver el sistema de ecuaciones planteadas en el modelo. En este trabajo se presenta los principales aspectos de la simulación la cual ya fue publicada.

## SIMULACIÓN

La simulación que se realizó se divide en dos partes; una calcula la radiación absorbida por el tanque colector acumulador y la otra simula el funcionamiento del DSCA calculando las temperaturas de los distintos componentes del mismo como así también las pérdidas térmicas y la producción.

### Simulación de radiación absorbida por colector-acumulador

Para determinar las ganancias de energía del colector que se producen por la radiación solar, se modela el tanque como una superficie cilíndrica hexagonal, de tal forma que quedan determinado un colector de 6 caras verticales, 3 de las cuales dan al norte y las otras tres al sur. El cálculo de la radiación absorbida está basado en el modelo propuesto por Duffie y Beckman (1991). La ecuación dada por el modelo de cielo isotrópico para obtener la radiación absorbida por cada uno de los 6 colectores verticales es:

$$S = Ac \cdot Ib \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + \frac{1}{2} \cdot Ac \cdot Id \cdot (\tau\alpha)_d + \frac{1}{2} \cdot Ac \cdot \rho_g \cdot I \cdot (\tau\alpha)_g \quad (1)$$

Los productos transmitancia-absortancia,  $(\tau\alpha)$ , tanto para radiación directa, como para la radiación difusa o reflejada son función del ángulo que forman los rayos incidentes del sol y la normal a la superficie. Lo mismo ocurre con el factor geométrico  $R_b$ .

Como datos de entrada para la simulación se toman valores promedio horarios de radiación global horizontal en  $W/m^2$ . Como salida se obtiene la radiación solar absorbida horaria por el colector. Se consideró que las tres caras que dan al norte reciben radiación directa, difusa y reflejada mientras que las tres que dan al sur, solo reciben radiación difusa.

El programa principal está formado por dos subprogramas los cuales calculan la radiación absorbida por la cara norte y la sur. Estos subprogramas usan como datos de entradas la latitud, el ángulo horario, la declinación, el día juliano, el azimut solar, la radiación global horizontal y la radiación difusa previamente calculada. También utilizan el coeficiente de transmitancia, el factor geométrico y ángulo zenital, todos calculados anteriormente en procesos realizados por el programa principal. Como datos de salida se obtienen la radiación absorbida por cada superficie vertical en  $W/m^2$ . Luego el programa principal calcula la radiación absorbida por cada uno de los 6 colectores y la total absorbida por todo el tanque colector en Watt (valores medios horarios). La resolución comienza con un valor propuesto y luego los valores de cada variable son ajustados hasta que la diferencia entre el paso anterior y el paso actual este de acuerdo al criterio de convergencia del programa.

### Simulación del DSCA

Se basa en un modelo simplificado en el que no se tiene en cuenta la estratificación en el interior del tanque ni la convección que ahí se produce. Está formado por un sistema de 6 ecuaciones, de las cuales 4 de ellas representan los balances de energía en las 2 cubiertas de policarbonato, el vidrio y la batea y las otras dos, que son ecuaciones diferenciales, representan la variación de temperatura del agua del tanque y del agua de la batea. Las 6 ecuaciones están conformadas por coeficientes de transferencia de calor variables con las temperaturas. Las seis ecuaciones son las siguientes:

Balance de energía en el vidrio

$$\alpha'_g I + h_{r,wg}(T_w - T_g) + h_{c,wg} \cdot (T_w - T_g) + h_{e,wg} \cdot (T_w - T_g) = h_{t,ga} \cdot (T_g - T_a) \quad (2)$$

Balance de energía en la batea

$$\alpha'_b \cdot I = h_{k,ba} \cdot (T_b - T_a) + h_w \cdot (T_b - T_w) \quad (3)$$

Balance de energía en el agua de la batea

$$\alpha'_w \cdot I + h_w \cdot (T_b - T_w) = m \cdot c \cdot \frac{dT_w}{dt} + h_{r,wg} \cdot (T_w - T_g) + h_{c,wg} \cdot (T_w - T_g) + h_{e,wg} \cdot (T_w - T_g) \quad (4)$$

Balance de energía en la cubierta de policarbonato interior

$$h_{c,ip1} \cdot (T_t - T_{p1}) + h_{r,ip1} \cdot (T_t - T_{p1}) = h_{c,p1p2} \cdot (T_{p1} - T_{p2}) + h_{r,p1p2} \cdot (T_{p1} - T_{p2}) \quad (5)$$

Balance de energía en la cubierta de policarbonato exterior

$$h_{c,p1p2} \cdot (T_{p1} - T_{p2}) + h_{r,p1p2} \cdot (T_{p1} - T_{p2}) = h_{c,p2a} \cdot (T_{p2} - T_a) + h_{r,p2a} \cdot (T_{p2} - T_a) \quad (6)$$

Balance de energía en el tanque colector acumulador

$$S = M_t \cdot c \cdot \frac{dT_t}{dt} + U_L \cdot (T_t - T_a) + U_F \cdot (T_t - T_a) + \dot{q}_{tw} \quad (7)$$

Las ecuaciones (2), (3) y (4) representan balances de energía en el destilador. Los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor que se presentan se realizaron a partir de las relaciones propuestas por Dunkle (1961) y Cooper (1969).

Las ecuaciones (5), (6) y (7) representan balances de energías en el colector-acumulador. Los cálculos de los coeficientes de transferencia utilizados fueron realizados con expresiones propuestas por la bibliografía de referencia (Incropera y De Witt, 1999; Mills, 1995).

La radiación absorbida calculada más la radiación global horizontal, la temperatura ambiente y la velocidad del viento son los datos de entrada para el cálculo de las temperaturas de los distintos componentes del dispositivo como temperatura del agua de la batea, del agua del tanque, de la batea, de la cúpula de vidrio y de las cubiertas de policarbonatos. A partir de estos valores de temperaturas el programa determina el valor de los coeficientes de transferencia y los flujos de energía que se producen en el dispositivo, entre ellos, la energía que aporta el colector acumulador al destilador, llamado calor útil, y las pérdidas térmicas del DSCA. También se obtiene la producción del destilador.

### Calor útil

Se denomina así a la energía que aporta durante la noche el colector-acumulador a la batea del destilador. Su determinación presenta alguna dificultad ya que durante el periodo nocturno el agua de la batea y el agua del tanque tienden a la misma temperatura. El aporte de este calor compensa las pérdidas térmicas que se producen por la cúpula de vidrio del destilador. Sin esta transferencia de energía del tanque a la batea, la temperatura del agua de la batea debido a las pérdidas mencionadas sería igual a la temperatura ambiente como ocurre en la batea de un destilador de batea simple. Debido al equilibrio térmico alcanzado, determinar el aporte de energía del tanque a la batea no se puede realizar considerando la diferencia de temperatura entre ambas. Para encontrar la expresión que cuantifica este aporte, se utiliza como una primera aproximación la relación que se obtiene experimentalmente entre las pérdidas por el destilador y por el tanque. Esta relación, que fue confirmada por el modelo matemático, expresa que aproximadamente un 70% de las pérdidas totales del dispositivo se

producen por el destilador, lo cual significa que las pérdidas del tanque por la parte superior son aproximadamente el doble que las que se producen por las paredes laterales y el fondo. Según esto se puede establecer la siguiente relación:

$$\dot{q}_{tw} = 2 \cdot \dot{q}_{ta} \quad (8)$$

Donde  $\dot{q}_{tw}$  son las pérdidas del tanque hacia la batea y  $\dot{q}_{ta}$  son las pérdidas del tanque hacia el ambiente por los laterales y por el fondo. Estas pérdidas del tanque por la parte superior,  $\dot{q}_{tw}$ , representan la ganancia de energía de la batea a la que llamamos calor útil.

Se utilizó la ecuación (2) para calcular estas pérdidas. Con estos datos, se obtuvo por correlación lineal simple una expresión que da el calor útil en función de la diferencia de temperaturas del tanque y la ambiente.

$$\dot{q}_u = 10,069 \cdot (T_t - T_a) + 3,3639 \quad (9)$$

Esta expresión que da el calor útil, esto es, la energía que aporta el tanque colector a la batea, es la que finalmente se utiliza en el programa de simulación. Es importante aclarar que este aporte no se produce cuando la temperatura del agua de la batea es superior a la del agua del tanque.

### Cálculo de la producción

La producción de un destilador solar depende básicamente del coeficiente de transferencia por evaporación y de la diferencia de temperaturas del agua de la batea y el vidrio. Si bien Tiwari (2008) presenta una expresión general para su cálculo, la estadística experimental señala que cada destilador tiene una expresión que da una producción que le es propia. Para determinar una expresión que dé la producción del DSCA se utilizó el método input-output propuesto por Belissiotis (1995). Este utiliza la correlación lineal múltiple para dar la producción en función de las variables mencionadas. Sin embargo se logra una mejor aproximación si aparte estas variables se agregan la radiación absorbida por el tanque y la radiación global horizontal. La expresión encontrada, la cual tiene un coeficiente de regresión de 0,97 es la siguiente:

$$P_{DSCA} = -0,024745 - 0,013676 \cdot (T_w - T_a) + 0,0562805 \cdot h_{e,wg} - 0,0000622 \cdot S - 0,0001285 \cdot I \quad (10)$$

### Validación del modelo

Para validar el modelo se utilizaron datos obtenidos experimentalmente. En las figuras (2), (3) y (4) se presentan los resultados obtenidos para la temperatura del agua del tanque y del agua de la batea y para la producción para varios días del mes de octubre.

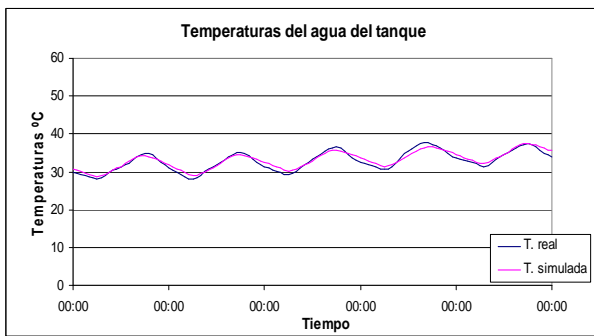


Figura 2: Temperaturas reales y simuladas del agua del tanque.

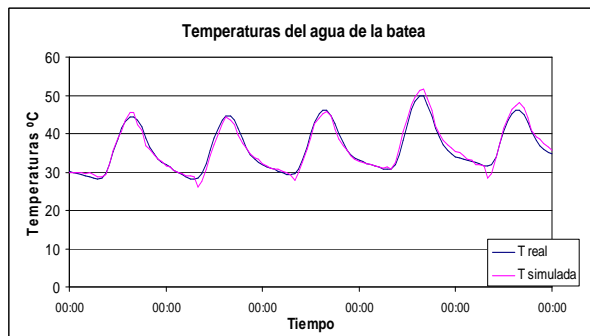


Figura 3: Temperaturas reales y simuladas del agua de la batea del destilador.

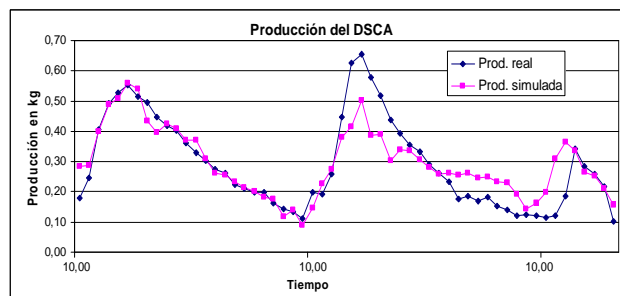


Figura 4: Producción simulada y real del DSCA

Como se observa en las gráficas la aproximación de los resultados obtenidos mediante la simulación con los obtenidos experimentalmente es buena, lo cual valida el modelo. Además se comprobó que los valores obtenidos de los coeficientes de transferencia de calor son semejantes a lo que prevé la teoría, como así también los valores de las pérdidas térmicas que se obtienen son semejantes a los valores obtenidos experimentalmente. El modelo también responde de manera satisfactoria a variaciones propuestas en los datos de entrada, como volumen de la batea y el tanque, espesor de las aislaciones, etc.

## MODIFICACIONES PROPUESTAS Y ANALISIS DE LAS MISMAS

### *Reemplazo de la superficie colectora por aislación en la mitad sur del tanque.*

Debido a que la cara sur del tanque no recibe radiación directa sino que recibe solamente radiación difusa se hace un análisis sobre la conveniencia o no de cubrir este sector del tanque con aislación. Para esto se compara la energía absorbida por el tanque, es decir la energía que aporta la radiación difusa con las pérdidas que se producen solo por esa parte del tanque. Se utilizan las mediciones realizadas en el mes de julio ya que estas se consideran las más desfavorables debido a la menor radiación diaria que recibe el tanque colector y a la menor temperatura ambiente la cual produce mayores pérdidas de energía (Zizzias *et al.*, 2011).

Utilizando los dos programas desarrollados se determinan los valores de radiación absorbida y las pérdidas que se producen por la cara sur durante un día completo.

La tabla que se muestra a continuación da los valores de pérdidas y ganancias de energía mencionados.

Pérdidas totales diarias por la cara sur	Ganancias (radiación absorbida por la cara sur del tanque)
1,49 MJ	7,21 MJ

Tabla 1: Pérdidas y ganancias térmicas de la cara sur del tanque colector

Se observa que la ganancia de energía es muy superior a las pérdidas que se producen durante todo el día. Esto significa que es conveniente que la cara sur siga siendo colectora y que no sea cubierta con material aislante, más aún si se tiene en cuenta las características climáticas del día, ya que fue un día de baja temperatura promedio.

### *Aumento en la aislación en el fondo del tanque*

Si se compara las pérdidas que se producen por la pared lateral del tanque con las del fondo se concluye que por este las pérdidas si bien son menores en valores absolutos no lo son en valores relativos al área de las superficies por donde se producen estas pérdidas. Esto se debe básicamente a que por un lado, la superficie selectiva que cubre la pared lateral del tanque posee una muy baja emisivida, lo que disminuye notablemente la transferencia por radiación y a que las dos capas de policarbonato que rodean al tanque disminuyen el coeficiente global de transferencia de calor que caracteriza las pérdidas por esa pared. Por otro lado el fondo del tanque posee solo como aislación la placa de madera en donde se asienta el mismo.

Se propone entonces cubrir la base con aislación de poliuretano expandido de 0,10m de espesor al cual se lo cubriría con chapa galvanizada.

Las gráficas 5 y 6 comparan las temperaturas medias del agua del tanque y del agua de la batea obtenida de la simulación con el diseño original, con las temperaturas obtenidas de la simulación con la modificación del diseño propuesta.

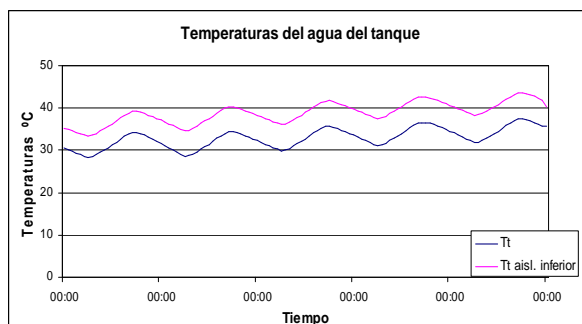


Figura 5: Temperaturas simuladas del agua del tanque con y sin aislación de poliestireno expandido en la base

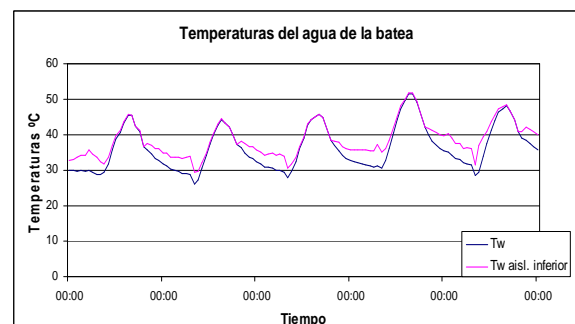


Figura 6: Temperaturas simuladas del agua de la batea con y sin aislación de poliestireno expandido en la base

Se observa que durante la noche la temperatura del mismo disminuye en forma menos pronunciada cuando se agrega la aislación, mejorando la performance del DSCA al menos durante este periodo. Durante el día no hay modificaciones ya que la temperatura del agua del tanque no alcanza nunca la temperatura del agua de la batea.

### Separación de las placas de policarbonatos.

Debido a que los coeficientes de transferencia de calor con el cual obtenemos las pérdidas por la pared lateral del tanque dependen de la separación entre las placas, es decir la distancia entre la pared del tanque y los policarbonatos, se realizaron simulaciones con el programa modificando dicha separación.

Las distintas corridas del programa realizadas evidenciaron que si se disminuye la separación las pérdidas son mayores y por el contrario si la separación entre placas aumenta las pérdidas disminuyen. Sin embargo, a partir de una determinada separación la variación de estas pérdidas se hace insignificante. Si a esto se le suma que aumentar la separación implica aumentar el costo en policarbonato, se considera conveniente que la separación entre el tanque y las dos placas no sea mayor de 0,03m, es decir que se propone un aumento de la separación de 0,01m.

Los resultados para 0,02m, que es la distancia original, y para 0,03m de separación entre cada par de placas son mostrados en las figuras 7 y 8. En ella se pueden observar las temperaturas del tanque para las distintas separaciones.

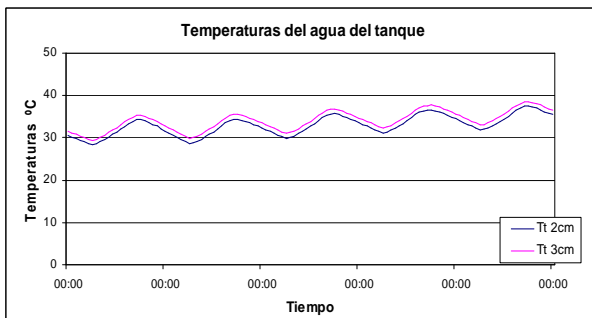


Figura 7: Temperaturas simuladas del agua del tanque considerando dos distancias distintas entre placas, 0,02 y 0,03m

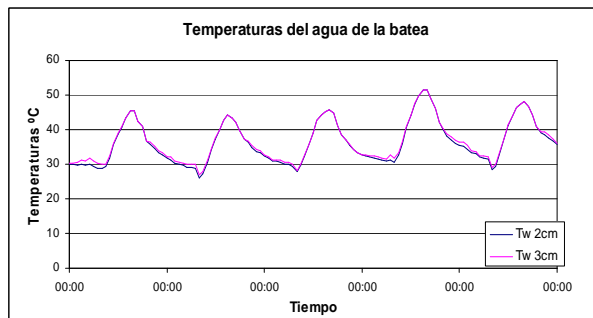


Figura 8: Temperaturas simuladas del agua de la batea considerando dos distancias distintas entre placas, 0,02 y 0,03m

Se nota en el tanque un pequeño aumento de la temperatura del agua, aumento este que es casi imperceptible en el agua de la batea.

### Tamaño y forma del tanque.

Si bien la característica principal del DSCA es la gran inercia térmica que representa el importante volumen de agua almacenado en el tanque, es conveniente analizar si un menor tamaño del mismo u otra geometría es capaz de aumentar el calor útil o en su defecto mantener los valores del calor útil pero disminuyendo los costos del dispositivo.

Se realizaron varias simulaciones con el programa modificando el tamaño del tanque. Los resultados que se muestran a continuación son de tres simulaciones. La primera con el volumen actual, la segunda con la mitad del volumen y la tercera con un volumen que representa la cuarta parte del volumen original.

Lo que se observa es una disminución de la temperatura del agua del tanque, disminución que se hace más importante a medida que disminuye el tamaño del tanque. Esto se debe fundamentalmente a que se hacen comparativamente más importantes las pérdidas por el fondo del tanque, ya que el tamaño relativo de este, frente al tamaño de la pared lateral, aumenta considerablemente al disminuir el tamaño del tanque. Es decir, a medida que achicamos el tamaño del tanque la disminución de la superficie que colecta energía es proporcionalmente mayor que la disminución de la superficie que pierde energía.

Las variaciones de las temperaturas se muestran en las figuras 11 y 12.

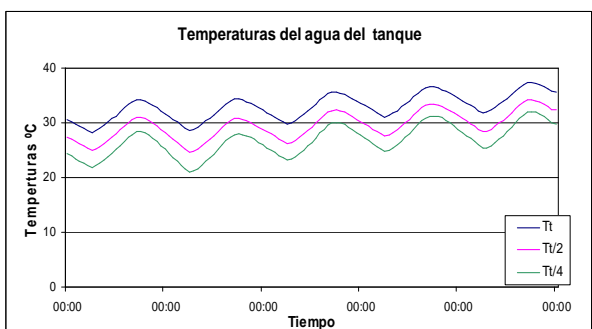


Figura 11: Temperaturas simuladas del agua del tanque colector para distintos tamaños del mismo

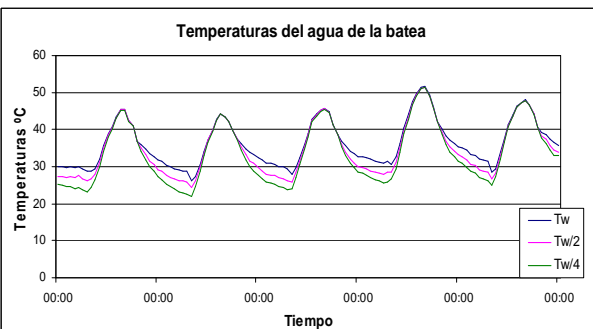


Figura 12: Temperaturas simuladas del agua de la batea tanque para distintos tamaños del tanque colector

### Combinación de las modificaciones propuestas

Después de analizar los resultados obtenidos con las simulaciones realizadas con las distintas modificaciones parciales propuestas, se analiza una combinación de estas modificaciones.

Con el objetivo de reducir costos se reduce el tamaño del tanque a la mitad. Conjuntamente con esto, se mejora la aislación del fondo del tanque agregando una plancha de poliestireno expandido de 0,10m. Se propone además aumentar 0,01m la separación de las cubiertas de policarbonato y desplazar la batea del destilador hasta el borde del tanque de tal forma que la sombra que proyecta sea lo más pequeña posible.

Se realiza la simulación con las modificaciones propuestas y se obtienen los resultados que se muestra en las figuras 13 y 14. Se observa en estas un aumento promedio de la temperatura del tanque de 8°C y un aumento promedio de la temperatura del agua de la batea de 5°C.

Evidentemente este aumento de temperatura va a repercutir en un aumento de la producción del destilado, con lo cual estaríamos obteniendo, de confirmarse experimentalmente estos resultados, dos importantes mejoras; por un lado el aumento de la producción y por el otro una disminución del costo del equipo por el menor tamaño del tanque colector-acumulador.

Se presentan a continuación las gráficas con las temperaturas del agua del tanque y del agua de la batea. Se presenta también las gráficas que comparan la producción sin considerar y considerando las modificaciones propuestas.

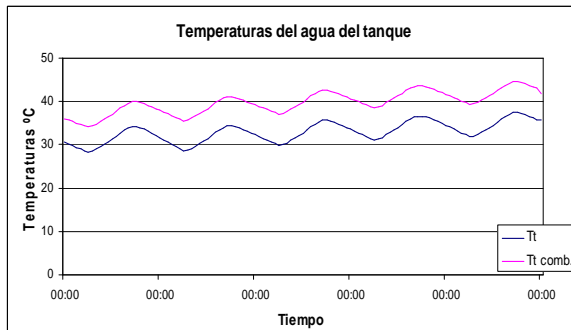


Figura 13: Temperaturas simuladas del agua del tanque con la geometría actual del tanque y con las modificaciones propuestas.

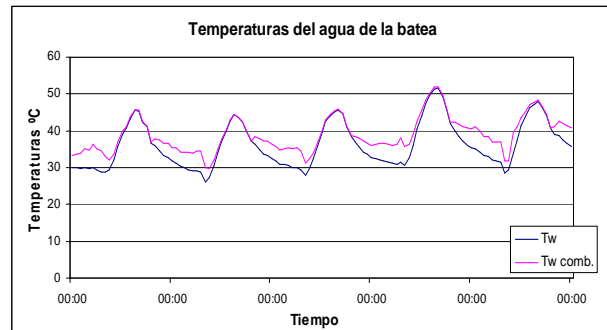


Figura 14: Temperaturas simuladas del agua de la batea con la geometría actual del tanque y con las modificaciones propuestas.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado en forma sintética la simulación del comportamiento de un destilador solar colector acumulador. Se presenta también la validación experimental del mismo. A partir de la simulación se han propuesto y estudiado posibles modificaciones en la geometría del tanque colector, algunas de las cuales significan una mejora en la producción de destilado y a su vez un menor costo de fabricación del DSCA. Esto deberá ser confirmado experimentalmente. Sin embargo el modelo físico-matemático en el cual se basa la simulación, a causa de las simplificaciones del mismo, no permite hacer análisis de otro tipo de modificaciones. El modelo no considera la convección natural interna que se produce en el tanque, la cual debe ser importante ya que la poca estratificación que hay indica que hay mezcla en el fluido producto de esta convección. Una mayor estratificación podría significar un aumento en la temperatura de la parte superior del tanque y por ende en la batea pero la confirmación de esto significa profundizar los estudios completando el modelo teniendo en cuenta la convección, trabajo que se plantea a futuro.

### NOMENCLATURA

$T_a$  Temperatura ambiente en °C  
 $T_w$  Temperatura del agua de la batea en °C  
 $T_t$  Temperatura agua del tanque en °C  
 $T_g$  Temperatura del vidrio en °C  
 $T_{p1}$  Temperatura cub. de policarbonato interior  
 $T_{p2}$  Temperatura cub. de policarbonato exterior  
 $V$  Velocidad del viento en m/seg.  
 $I$  Radiación global horizontal en  $W/m^2$   
 $I_b$  Radiación directa en  $W/m^2$   
 $I_d$  Radiación difusa en  $W/m^2$   
 $S$  Radiación absorbida en  $W/m^2$   
 $h_{c,p1}$  Coef. Transf. por convección desde el tanque a policarbonato 1 en  $W/m^2$

$h_{c,p1p2}$  Coef. Transf. por convección desde policarbonato 1 a policarbonato 2 en  $W/m^2$   
 $h_{c,p2}$  Coef. Transf. por convección desde policarbonato 2 al ambiente en  $W/m^2$   
 $h_{r,tp1}$  Coef. Transf. por radiación desde el tanque al policarbonato 1 en  $W/m^2$   
 $h_{r,tp1}$  Coef. Transf. por radiación desde policarbonato 1 a policarbonato 2 en  $W/m^2$   
 $h_{r,tp1}$  Coef. Transf. por radiación desde policarbonato 2 al ambiente en  $W/m^2$   
 $h_{k,p1}$  Coef. Transf. por conducción en el policarbonato 1 al ambiente en  $W/m^2$   
 $h_{k,p2}$  Coef. Transf. por conducción en el policarbonato 2 al ambiente en  $W/m^2$

$U_L$  Coeficiente total de pérdidas por los laterales del tanque  $W/m^2$   
 $U_F$  Coeficiente total de pérdidas por el fondo del tanque en  $W/m^2$   
 $h_{c,ma}$  Coef. Transf. por convección desde madera al ambiente en  $W/m^2$   
 $h_{k,m}$  Coef. Transf. por conducción en el madera en  $W/m^2$   
 $h_{r,ma}$  Coef. Transf. por radiación desde madera al ambiente en  $W/m^2$   
 $h_{c,wg}$  Coef. Transf. por convección desde el agua al vidrio en  $W/m^2$   
 $h_{r,wg}$  Coef. Transf. por radiación desde el agua al vidrio en  $W/m^2$   
 $h_{e,wg}$  Coef. Transf. por evaporación desde el agua al vidrio en  $W/m^2$   
 $h_{c,bw}$  Coef. Transf. por convección desde batea al agua en  $W/m^2$   
 $h_{c,ga}$  Coef. Transf. por convección desde el vidrio al ambiente en  $W/m^2$

$h_{r,ga}$  Coef. Transf. por radiación desde el vidrio al ambiente en  $W/m^2$   
 $h_{k,g}$  Coef. Transf. por conducción en el vidrio en  $W/m^2$   
 $\alpha_g$  Fracción de radiación absorbida por el vidrio  
 $\alpha_w$  Fracción de radiación absorbida por el agua  
 $\alpha_b$  Fracción de radiación absorbida por la batea  
 $(\tau\alpha)_b$  Producto transmitancia-absortancia de la radiación directa  
 $P_{DSCA}$  Producción del DSCA en kg  
 $(\tau\alpha)_d$  Producto transmitancia-absortancia de la radiación directa  
 $(\tau\alpha)_g$  Producto transmitancia-absortancia de la radiación directa  
 $\rho_g$  Reflectancia del suelo  
 $Ac$  Área del colector en  $m^2$   
 $Rb$  Factor geométrico  
 $m$  Masa del agua de la batea en kg  
 $Mt$  Masa del agua del tanque en kg

## REFERENCIAS

- Belessiotis V., Voropoulos K. and Delyannis E. (1995); Experimental and theoretical method for the determination of the daily output of a solar still; Desalination, vol. 100, pp. 99-104.
- Cooper P. I. (1969); Digital Simulation of Transient Solar Still Processes. Solar Energy, vol12, pp. 313-331.
- Duffie J. and Beckman W. (1991); Solar Engineering of Thermal Processes; Second Edition, Jhon Willey & Sons, Inc. New York.
- Dunkle R. V. (1961); Solar Water Distillation: The Roof Type Still and Multiple Effect Diffusion Still. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization Victoria, Australia.
- Esteban C., Franco J. y Fasulo A. (2000); Destilador solar asistido con colector solar acumulado AVERMA, Vol. 1, 3.8
- Esteban C., Fasulo A y Franco J. (2004); Pérdidas térmicas del destilador solar asistido con colector solar acumulador, XII Congreso Ibérico y VII Congreso Ibero-Americano de energía solar, Vigo España
- Fasulo A., Follari J. y Barral J. (2002); Un nuevo colector solar acumulador. Energías renovables y medio ambiente. Vol. 10, pp. 43-49.
- Fasulo A., Follari J. and Barral J. (2001) - Comparison between a Simple Solar collector accumulator and a Conventional Accumulator. - Solar Energy, Vol. 71, N° 6 pp. 389-401.
- Fasulo A., Zizzias J., Odicino L., Marchesi J. (2011); Fasulo A., Evaluación de un destilador colector solar acumulador operado en condiciones térmicas extremas. CAyER 2011 pp. 566-576.
- Incropera F., De Witt D. (1999); Fundamentos de transferencia de calor. Prentice Hall
- Marchesi J, Ducculi E, Adaro J. y Fasulo A. (2008); Comparación del rendimiento de un destilador solar de batea básico respecto de un destilador asistido térmicamente. AVERMA; Vol. 12, pp. 63-70.
- Mills A. F., (1995); Transferencia de calor. Mac Graw-Hill/Irwin
- Tiwari, G.N. and Tiwari A.K. (2008). "Solar Distillation Practice for Water Desalination. Systems Anshan Tunbridge Wells UK and Anamaya Publishers, New Delhi. Print in India
- Voropoulos K., Mathioulakis E. and Belessiotis V. (2001); Experimental investigation of a solar still coupled with solar collectors,. Desalination, vol.138, pp. 103-109
- Zizzias J., Fasulo A., Venier F., Marchesi J., Odicino L. (2011); Evaluación detallada de un destilador solar colector acumulador. ASADES 2010 vol.14 pp. 03.63-03.69.
- Zizzias J., Marchesi J., Fasulo A., Venier F., (2012); Verificación de un modelo matemático propuesto para la determinación de pérdidas en un dispositivo formado por un destilador solar acoplado a un tanque colector- acumulador. XV Congreso Ibérico y X Congreso Ibero-Americano de energía solar, Vigo España.
- Zizzias J., Stoll R., Marchesi J., Fasulo A., Venier F. (2012); Modelado Físico-Matemático y simulación de un destilador solar asistido con un colector acumulador integrado. Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, CAIM2012. Octubre 2012. Buenos Aires. (Aceptado para su publicación)

**ABSTRACT:** This paper presents the evaluation of proposed changes to improve the production of a solar collector aided integrated accumulator tank. In order to do this, a physical-mathematical model describing the behavior of the distiller was developed and validated by experimentation. This model provided the basis for developing the simulation itself, which was also validated experimentally. Later, various changes in the geometry of the device were evaluated by performing simulations and the results were compared with the original ones. These results establish that halving the size of the collection tank, improving the insulation of the base and increasing the separation of polycarbonate covers that surround it, it is achieved an improvement in production and a reduction in the costs of construction. It remains to demonstrate these results experimentally from the construction and evaluation of a prototype. The results are shown in tables and graphs.

**Keywords:** solar still, collector-accumulator, simulation, modification and evaluation.