

## **Patio solar : Opción para el aprovechamiento de la energía solar térmica. Aplicaciones domésticas e industriales**

### **Solar Courtyard: Option for thermal solar energy improvement. Domestic and industrial applications**

**MSc. Ciro Bergues-Ricardo, MSc. Maritza Alonso-Mancebo**

Universidad de Oriente, Cuba. cbergues@uo.edu.cu

---

#### **RESUMEN**

Patio solar es un patio que contiene, al menos un equipo solar térmico , como el calentador barato tipo FIMSOL, de materiales de la construcción, que cuesta de 2 a 6 USD/m<sup>2</sup> , y tiene un 10% de eficiencia térmica. Se evalúa energética y económicamente un calentador solar FIMSOL, se caracteriza su impacto ambiental, y sus perspectivas de aplicación doméstica e industrial, así como en el apoyo térmico de secadores solares.

**Palabras claves:** calentador solar de agua , calentador solar industrial.

---

#### **ABSTRACT**

Solar court yard is a court yard that includes a solar thermal equipment, as the solar cheap heater of construction materials, Fimsol, that costs 2 to 6 USD /m<sup>2</sup>, and has a 10% of thermal efficiency. Is evaluated energetically and economically a solar heater Fimsol, is characterized its environmental impact, and its perspectives of domestic and industrial applications, as well as thermal support of solar dryers.

**Keywords** : solar heater, solar industrial water heater.

---

## **INTRODUCCION**

Para que el ahorro de portadores energéticos convencionales y la descontaminación del medio ambiente se hagan parte de la cultura y del quehacer cotidiano de la población de las zonas tropicales, es importante que la población haga estas actividades aprovechando todos los medios de que dispone, y de estos medios el primero es su casa. El patio solar es una alternativa para lograr esto, con pocos recursos e inversión. El mismo es una opción real para el calentamiento solar de agua y el uso de esta en procesos industriales.

Los calentadores tipo FIMSOL de materiales de la construcción son calentadores compactos de muy bajo costo y pueden ser construidos muy fácilmente por usuarios, albañiles y operarios industriales. Fueron desarrollados en la Facultad de Mecánica, Universidad de Oriente, Cuba. Se adecuan a las condiciones tropicales y fueron evaluados mostrando su efectividad y viabilidad económica.

Patio solar : P atio que contiene, sin perder su función social, al menos un equipo solar térmico , como un calentador tipo "FIMSOL", de materiales de la construcción , u otros equipos solares térmicos como una sauna solar, etc.

Para lograr equipos de calentamiento de agua viables en Cuba y la CELAC se deben priorizar las variantes de tecnología nacional, con materiales locales, que tengan un costo dentro de las posibilidades de las masas, y que puedan ser construidos y sostenidos por ellas. Esta es una tendencia dada en este trabajo opuesta a la de la industria de calentadores convencionales, que es una industria de élite, con productos de alto precio de venta del orden de los 150 a 600 cuc/m<sup>2</sup> /4-5-6/, para los calentadores de tubo, y de 50 a 250 para los calentadores compactos, y altas eficiencias térmicas medias, del orden de 50 al 80%.

Los colectores solares compactos y los secadores solares directos de fácil tecnología y muy bajo costo deben ser generalizados en forma sostenible en Cuba y el mundo, pues son los más convenientes para nuestras zonas tropicales, para el ahorro de energía.

La aplicación de calentadores solares de agua baratos de tipo compacto no se limita a su uso por la población. Pueden ser utilizados en procesos tecnológicos e industriales con temperaturas de 40 a 70 grados Celsius. Estos niveles de temperatura, [1-4], son utilizados en la industria química en procesos con biomasa, síntesis orgánica, etc.

En la Universidad de Oriente, el centro de estudios de Eficiencia Energética, y el Centro de Investigaciones de Energía Solar, entre los años 1990 y 2013 se desarrollan investigaciones sobre el diseño, evaluación y utilización de equipos de calentamiento de

agua baratos, apropiados para su utilización industrial y por la población[ 5, 6], a fin de lograr equipos baratos, con una eficiencia térmica aceptable y factibles para su generalización a gran escala. .En particular, el calentador solar tipo "FIMSOL "descrito aquí, fue desarrollado como sistema de apoyo térmico al secado solar a bajo costo de productos varios, dentro del tema de investigación"Criterios integrales para el diseño de secadores solares directos", en el que se diseñaron, construyeron y evaluaron varios prototipos de calentadores solares hechos de materiales de la construcción. Los prototipos eran de mármol, mosaicos, cemento, arena, y piedra caliza en diversas combinaciones. Sus superficies eran de 0,5 a 2 m<sup>2</sup>. A continuación, se describe una de las variantes de calentador obtenidas y evaluadas en Cuba.

En la teoría y práctica de los calentadores solares de agua en el mundo, generalmente la disminución de los costos específicos viene acompañada de la disminución del Tiempo de vida útil, por el uso de materiales como polietilenos y otros plásticos, como en la India, china y países latinoamericanos como Brasil /6/. Uno de los aspectos relevantes del calentador descrito aquí es precisamente que sus costos son muy bajos, de unos 2 a 6 USD/m<sup>2</sup> , manteniendo muy altos tiempos de vida útil, de unos 30 a 50 años. Este hecho no tiene antecedentes directos en el estado del arte de esta rama del uso de las fuentes de Energía Renovable.

El objetivo del trabajo es la definición y evaluación de un patio solar, que contiene un calentador solar de agua barato con materiales de la construcción.

## **FUNDAMENTACION TEORICA**

Según los datos disponibles de física ambiental, en los suelos homogéneos en las regiones tropicales expuestos a la radiación solar como consecuencia de la conducción del calor en los materiales que componen el suelo, se produce una estratificación horizontal de temperaturas, las mayores ocurren en la superficie, y estas van disminuyendo hasta unos 20 a 25 cm de profundidad, donde las temperaturas tienden a igualarse a la de la masa inferior.

En este espacio, si se sitúa una fina holgura llena de agua, el mismo se calentará, y tendrá la mayor temperatura en la parte superior de la holgura, y la menor en la parte inferior . Las temperaturas medidas en diversos materiales, alcanzaban un máximo de 50 grados Celsius cuando la superficie captadora del piso estaba pintada de negro. Esto coincidió con datos anteriores de física ambiental. Para la holgura de agua a una profundidad de entre 2 y 5 cm, en dependencia del material del piso y el espesor de la holgura, la distribución de temperaturas daba entre 40 y 50 grados Celsius para el agua en diversas mediciones y materiales de la construcción variados. Estas consideraciones originaron el diseño de los prototipos de calentador tipo "FIMSOL".

## **METODOS UTILIZADOS Y CONDICIONES EXPERIMENTALES**

### ***Experiencias previas:***

Las mediciones térmicas, efectuadas en Cuba en condiciones de verano e invierno, utilizando agua almacenada en holguras horizontales de espesor de 2 a 5 cm. Las holguras estaban rodeadas por capas de diversos materiales como cemento, concreto, asfalto, chinás pelonas, y lajas de piedra. Las experiencias se realizaron con el agua estacionaria, con cargas de agua entre 20 y 50 litros/m<sup>2</sup>, según el espesor de la holgura.

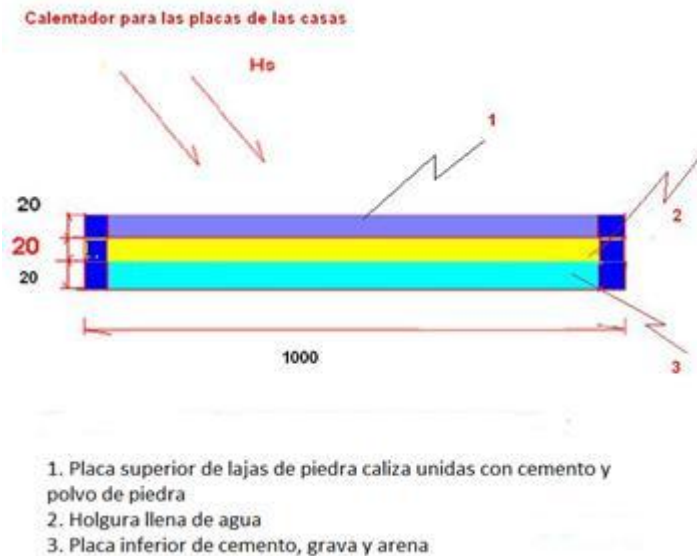
En mediciones horarias preliminares de temperatura efectuadas con termómetros de error relativo máximo de 2 %, los resultados para la holgura de 2 cm de espesor daban temperaturas diurnas del agua entre 40 a 50 grados Celsius en horas pico de radiación, entre 11:00 am y 3:00 pm. Estos niveles de temperatura son adecuados para el calentamiento solar doméstico e industrial del agua.

El resultado de los balances térmicos primera ley efectuados con estos datos experimentales de temperatura, y con la conductividad térmica de los materiales utilizados a las temperaturas obtenidas, fue que aproximadamente el 10% de la radiación solar incidente se utiliza para calentar el agua. Los experimentos previos se realizaron durante 2 años en días de radiación solar promedio de unos 4,5 a 5,5 kWh/m<sup>2</sup> día como corresponde a condiciones medias de la radiación solar global en Cuba, que tiene un valor de unos 5 kWh/m<sup>2</sup> día.

### ***Calentador solar "FIMSOL 3"***

De estas experiencias preliminares surgió la idea de que una estructura de capas tipo sándwich de unos 2 cm de espesor de cada capas, con una holgura intermedia para el agua de unos 2 cm, daría una distribución similar de temperatura.

El calentador, evaluado en este trabajo, que se muestra en la figura 1, se compone de una capa superior de lajas de piedra unidas con polvo de piedra y cemento de 20 mm de espesor, y una capa inferior de grava, arena y cemento de 20 mm de espesor.



**Fig 1.** Esquema del calentador "FIMSOL 3"

La capacidad del colector es 20 litros de agua por metro cuadrado.

El calentador puede no tener cubierta o tener una cubierta de polietileno de 125 micras que haga bien el efecto invernadero, como el de marca "Long date termal" o de larga duración térmica. La cubierta puede ser también de vidrio de 4 mm de espesor. Se prefiere el polietileno por sus características ópticas similares a las del vidrio, pero con un costo mucho menor, de solo unos 0,50 USD/m<sup>2</sup> [4,5]. Cuando existe cubierta esta se separa de la superficie captadora de materiales de la construcción por un espacio de unos 20 mm, para disminuir las pérdidas por convección, tensando la cubierta con separadores de madera.

La ventaja principal de este colector es que puede ser construido directamente y en forma sencilla por el usuario o la empresa que lo va a utilizar. Ver a continuación la figura 2.



**Fig 2.** Foto del calentador "FIMSOL 3", hecho con materiales de la construcción

## Evaluación del prototipo del "FIMSOL 3".

La evaluación del prototipo se realizó desde Marzo hasta el mes de Junio de 2013. Los días de las pruebas eran días claros, o parcialmente nublados.

En condiciones de Cuba la radiación sobre superficie horizontal e inclinada a  $18^\circ$  con azimut 0, no tienen una diferencia considerable, así que se eligió la posición horizontal, por ser de menor costo, por adecuarse a la disposición de placas, plazoletas, pisos y carreteras. No presenta problemas para su orientación por el usuario común.

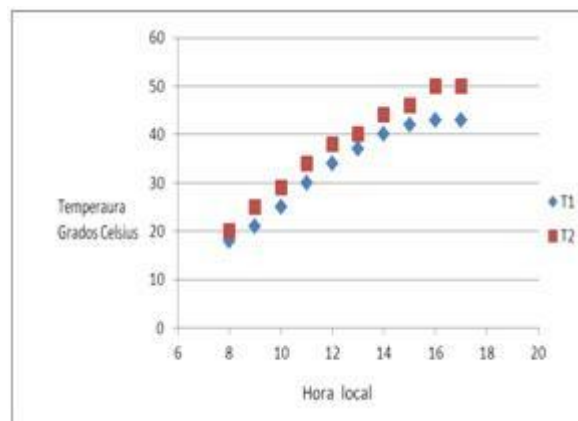
La variante evaluada fue la de la figura 1, con solo 20 mm de espesor para la placa superior de piedra caliza, con el mismo espesor de la holgura de agua. Las temperaturas del aire exterior y del agua en la parte inferior y superior de la holgura fueron tomadas horariamente en horas diurnas con termómetros de mercurio con precisión  $0,1^\circ\text{C}$  y verificadas con termopares de laboratorio y nivel de error relativo máximo de 3 a 5 %.

Los parámetros tomados fueron: temperaturas del aire exterior, ( $^\circ\text{C}$ ), velocidad del viento (m/s), dirección del viento, y nivel de radiación solar global ( $\text{kWh/m}^2$ ), tomados en la estación actinométrica del Grupo de energías renovables aplicadas (GERA), y procesados en el Centro de Estudios de Eficiencia Energética (CEEFE), Universidad de Oriente (Fig.2, 3, 5).

Los datos de temperatura del agua y radiación solar fueron tomados en forma horaria. Las temperaturas del agua en la parte inferior y superior de la holgura constituyen dos series de datos, que se observan en cada evaluación, y entre ellos existe una diferencia media cercana a 5 grados Celsius.

## RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se dan los resultados de las evaluaciones realizadas



**Fig 3.** Evaluación calentador de agua día 9-3 -2013.

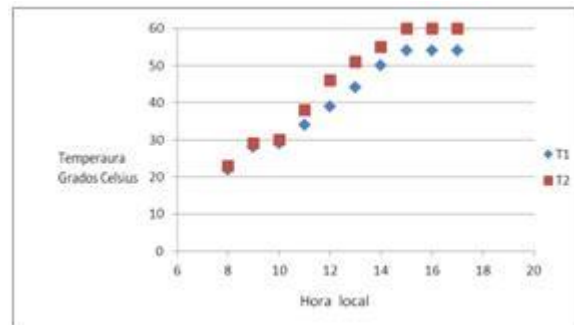
La radiación solar global fue en este día 5,637 kWh/m<sup>2</sup> día, y el calentador no tenía cubierta ni aislamiento en el piso.

La eficiencia térmica media del calentador obtenida en los días de la evaluación fue de 10%. Se observa en la curva de temperatura del agua que esta sobrepasa los 38 °C alrededor de las 12:00 m. Considerando el día simétrico desde el punto de vista de la incidencia de radiación solar, si se hace una extracción de agua a las 12:00 m, y se sustituye toda el agua por agua a temperatura ambiente, las temperaturas vuelven a alcanzar los 38 o 40 °C a las 5:00 pm, hora en la cual se hace otra extracción.

Existe además la posibilidad de hacer una sola extracción por día a las 5 pm a una temperatura del agua de 50°C. Todo ello se comprobó reiteradamente en los meses evaluados.

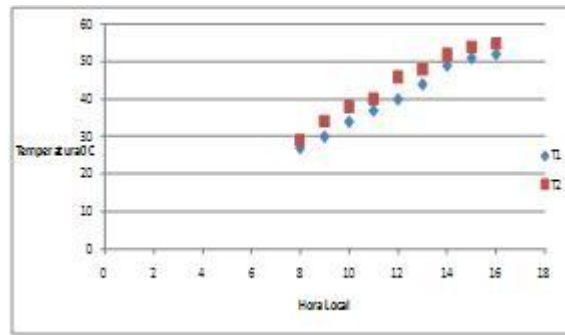
El día 16-3 -2013, la radiación solar global en este día fue 6,206 kWh/m<sup>2</sup> día, y el calentador no tenía cubierta ni aislamiento en el piso. Se observa en la curva de temperatura, un comportamiento similar al logrado en la Figura 3.

En días con radiación difusa abundante, parcialmente nublados, como los citados, el agua a las 12:00 m puede alcanzar los 40 °C de temperatura, lo que evidencia las posibilidades del calentador para trabajar en días semicubiertos o parcialmente nublados, sin cubierta ni aislamiento con una eficiencia térmica equivalente de un 10 al 11%. Ver a continuación la figura 4.



**Fig 4.** Evaluación calentador de agua día 7- 4- 2013.

La radiación solar global fue 6,296 kWh/m<sup>2</sup> día y el calentador tenía una cubierta de polietileno.



**Fig 5.** Evaluación del calentador de agua día 23.6.2013.

En días como el 31-3 -2013, la radiación solar global en este día fue 6,206 kWh/m<sup>2</sup> día, y el comportamiento de la curva de temperatura fue similar. El calentador tenía una cubierta de polietileno.

En la figura 5, La radiación solar global fue de 5,191 kWh/m<sup>2</sup>día. La cubierta utilizada fue de polietileno especial de tipo 3 M de capa fina, apropiado para hacer el efecto invernadero. Este día semicubierto se hizo una extracción de 20 kg de agua a la 1:00 pm. Con una eficiencia térmica equivalente de  $\eta_t = 20,6\%$  en el período considerado. El incremento de la eficiencia térmica se explica porque la cubierta realiza el efecto invernadero, con la consiguiente acumulación de calor y el incremento de la temperatura hasta unos 50 a 60 grados Celsius [2, 3].

Para el cálculo de la eficiencia térmica del calentador se utilizó la expresión:

$$\eta_{ter} = Eu/Esinc \quad (1)$$

Donde:

*Eu*: Energía útil, kWh/m<sup>2</sup> día

*Esinc*: Energía solar incidente, kWh/m<sup>2</sup> día

La energía útil del secador en el tiempo considerado se calcula, teniendo en cuenta que el agua se encuentra estacionaria, con la expresión:



$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = Eu \quad (2)$$

Donde:

M: Masa del agua almacenada en la holgura, kg

Cp: Capacidad calorífica del agua, kJ/kgK

$\Delta T_p$ : Diferencia de temperaturas entre el agua caliente y el agua a primeras horas de la mañana, cuando comenzaba la evaluación.

Aquí el intervalo de tiempo dt es el que tiempo el agua permanece dentro del calentador durante el día hasta su extracción.

Si se hace una extracción del agua alrededor de la 1:00 pm, y se sustituye por agua fresca, al final del día la temperatura asciende a niveles de 40 a 50 grados Celsius, en dependencia de si hay o no cubierta de polietileno.

Se demostró en este caso que el calentador FIMSOL 3 es capaz de transferir al agua por conducción rápidamente parte de la energía acumulada gracias a la gran capacidad calorífica de la piedra.

Desde el punto de vista termodinámico debe extraerse el agua a la temperatura lo más cercana posible a la necesaria para su aplicación práctica, para minimizar las pérdidas en general y en línea [1,12]. Para el baño y el lavado de vajillas, por ejemplo, las temperaturas adecuadas están en el orden de los 40 grados Celsius.

Si se aplica el calentador solar para el apoyo térmico del proceso del secado de semillas, por ejemplo de maíz, calabaza y soja, la temperatura del agua no debe superar los 36 a 40 grados Celsius, que es la que puede soportar el endosperma de estas semillas sin degradarse y sin disminuir su capacidad germinativa [5].

Si se secan estos productos para el consumo directo, la temperatura de extracción del agua puede ser de 50 a 60 grados Celsius. Estos niveles de temperatura se alcanzan sin dificultad en el FIMSOL 3 en condiciones tropicales.

Las evaluaciones demuestran la viabilidad técnica de la propuesta. Las eficiencias térmicas logradas y calculadas son de 10% sin cubierta y hasta 15 al 20% con cubierta de polietileno. Estos no son altos valores, pero la viabilidad económica del calentador es buena si se tienen en cuenta sus costos bajos.

El calentador puede ser perfeccionado, poniéndose aislamiento por piso y pared, y llegándose al 20-30% de eficiencia térmica, que está en el orden de la eficiencia de los calentadores compactos tradicionales más baratos. Las temperaturas logradas son más bajas en este calentador, sin embargo este hecho es favorable, y termodinámicamente una temperatura de 40 a 50 grados causa menores pérdidas que una más elevada [ 3, 5, 11,12].

## Impacto energético, económico y medioambiental:

En la Tabla 1 se presenta la valoración económica.

**Tabla 1**

Valoración económica. Costo del calentador solar. (El costo total del calentador es de 122.42 MN)

Si este valor lo convertimos en cuc según la tasa de cambio actual que es 1 x 25 serian 4.90 USD.)	
Costo total de materiales, 2 placas.	$0,353 \times 2 = 0,706 \text{ USD/m}^2$ calentador
Costo de la energía.	Cero (construido por el operario sin consumir electricidad ni combustible)
Poliuretano	$0,5 \text{ USD /m}^2$
Mano de obra	$0,185 \text{ USD/m}^2$
En el caso del calentador , compuesto de lajas de piedra totalmente, el costo total será:  Materiales: $0,706 \text{ USD/m}^2$ Costo total: $0,706 + 0,185 + 0,05 = 0,941 \text{ USD/m}^2$ Y la variante del mismo con cubierta de polietileno costará, incluyendo pintura: $0,941 + 0,65 + 0,5 = 2,091 \text{ USD/m}^2$ Esto representa un costo muy bajo para la variante de piedra caliza. El costo de este calentador es muy inferior al de los calentadores de las referencias /1 a 9/ (unas 15 a 20 veces o más)	

Este calentador ahorra para un 11% de eficiencia unos  $0,55 \text{ kWh/m}^2$  días, lo que para unos  $4 \text{ m}^2$  será necesario para una familia media de 3 personas en Cuba, para un índice de consumo de agua de unos 27 L por persona y día, lo que da unos  $2,2 \text{ kWh/día}$  y para la variante de  $10 \text{ m}^2$  será  $5,5 \text{ kWh/día}$ .

Si tomamos como índice de emisiones en la termoeléctrica un kg de  $\text{CO}_2$  por kWh generado, lo que corresponde a una termoeléctrica semejante a la Renté, con un rendimiento de un 33 %, ciclo Rankine y como combustible petróleo medio, (Termuehlen 1992) [ 5], y la eficiencia media de las duchas de resistencia de un 100%, entonces por sustitución de duchas se evitará en emisiones, en diferentes plazos de tiempo, gran cantidad de  $\text{CO}_2$  , para un coeficiente de utilización de 0,9. Los ahorros de energía por sustitución de duchas eléctricas y emisiones de  $\text{CO}_2$  evitadas aparecen en las Tablas 2 y 3 para diferentes plazos de tiempo.

La Tabla 2 corresponde a la variante sin cubierta ni aislamiento. La tabla 3 corresponde a la variante con cubierta de polietileno de 125 micras de espesor.

**Tabla 2**

Ahorro energético kWh y disminución de emisiones de  $\text{CO}_2$

Impacto energético y ambiental de los calentadores para un 10 % de eficiencia (sin cubierta de polietileno)
---

Tiempo	Área 1m <sup>2</sup>	Área 4m <sup>2</sup>	Área 10m <sup>2</sup>	Área 25 m <sup>2</sup> (Patio solar)
	kWh (kgCO <sub>2</sub> )	kWh (kgCO <sub>2</sub> )	kWh (kgCO <sub>2</sub> )	kWh (kgCO <sub>2</sub> )
1 día	0,5 (0,5)	2 (2)	5 (5)	12,5 (12,5)
1 mes	13,5 (13,5)	54 (54)	135 (135)	337,5 (337,5)
1 año	164,25 (164,25)	648 (648)	1620 (1620)	4050 (4050)

**Tabla 3**  
Ahorro energético kWh y disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>

Impacto ambiental y energético de los calentadores para un 20 % de eficiencia (con cubierta de polietileno)				
Tiempo	Área 2m <sup>2</sup>	Área 4m <sup>2</sup>	Área 10m <sup>2</sup>	Área 25 m <sup>2</sup> (Patio solar)
	kWh(kgCO <sub>2</sub> )	kWh (kgCO <sub>2</sub> )	kWh(kg CO <sub>2</sub> )	kWh(kg CO <sub>2</sub> )
1 día	2 (2)	4 (4)	10 (10)	25 (25)
1 mes	54 (54)	108 (108)	270 (270)	675 (675)
1 año	657 (657)	1314 (1314)	3240 (3240)	8100 (8100)
TVU (50 años)	32850 (32850)	65700 (65700)	162000 (162000)	405000 (405000)

Las Tablas 2 y 3 están dadas, para diferentes intervalos de tiempo y áreas de calentador. Las emisiones se dan en kg de CO<sub>2</sub> , y la energía eléctrica ahorrada por sustitución de duchas, en kWh. Los resultados son significativos y diferentes a los de calentadores solares compactos tradicionales. Téngase en cuenta que el costo unitario es de 10 a 20 veces menor, y el tiempo de vida útil es entre 2 y 3 veces mayor en el "FIMSOL" que en calentadores tradicionales.

El costo del calentamiento del agua obtenida se obtiene dividiendo la inversión total en la construcción del equipo y en el mantenimiento, entre la cantidad total de agua calentada. Este es para el 10% de eficiencia, y un coeficiente de utilización del calentador de un 90%, suponiendo una inversión en mantenimiento igual al 20% del costo inicial, de  $(2+0,4) / 20 \times 365 \times 0,9 = 2,4 / 6570 = 0,000365$  USD/kg agua caliente, el primer año, o sea , 0,0365 centavos de dólar por kg. Empleando electricidad para calentar la misma cantidad de agua, por metro cuadrado, a razón de 0,5 kWh/m<sup>2</sup> día ahorrados, esto será al año  $0,5 \times 0,25 \times 365 \times 0,9 / 6750 = 41,06 / 6570 = 0,00625$  USD / litro de agua caliente, o sea 0,6 c de USD/litro, o sea el valor del calentamiento de agua solar por unidad de masa es 20 veces menor que el costo de calentar el mismo volumen de agua con el calentador eléctrico, y esto sin considerar el precio de la ducha.

### **Perspectivas de aplicación industrial**

Como lo demuestran los valores de la Tabla 4, los resultados extrapolados a mayores áreas confirman el interés industrial en la producción de agua caliente que puede tener un patio solar de estas características. Su uso como sistema de apoyo energético en secadores solares directos presenta posibilidades reales de utilización primero en planta piloto, y después en empresas industriales.

**Tabla 4**

Calentador de agua de plataforma con holgura interior de 1 a 5 cm de la superficie.  
Áreas y productividad (ACT: Agua caliente sanitaria).

Área m <sup>2</sup>	Dimensiones m x m	kg act/día	Ton act/día	KWh ahorrados/día	kgCO <sub>2</sub> Dejadoss de emitir/día
10 000	100 x 100	225 000	225	3 000	2970
5 000	71 x 71	112 500	112.5	1 500	1485
2 500	50 x 50	56 250	56.25	750	742
625	25 x 25	14 062	14.062	187.5	185
100	10 x 10	2 250	2.25	30	29.7
25	5 x 5	562.5	0.562	7.5	7.42

Como se observa en la tabla elaborada para áreas de patio de 25 a 10 000 m<sup>2</sup>, las presentan impacto ambiental y energético adecuado para capacidades semindustriales e industriales. La extrapolación de estos resultados es confiable, pues la radiación solar recibida y la energía útil son proporcionales al área del calentador. La eficiencia térmica se mantendrá aproximadamente constante al variar poco el comportamiento hidrodinámico de los flujos de aire y agua así como de las pérdidas de energía, para materiales similares.

El uso de estos calentadores como auxiliares térmicos de secadores solares produce mayor capacidad trabajo del secador por el mayor suministro energético.

Este calentador de agua puede ser escalado en carreteras, plazas, patios, a muy bajo costo, integrándose a la arquitectura local, y tiene perspectivas industriales interesantes para la economía del país y la región.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó y evaluó una variante de calentador solar de holgura hecho materiales de la construcción. El mismo es lo puede hacer el usuario, con grandes posibilidades de replicación rápida, muy bajo costo, de 2 hasta 6 cuc /m<sup>2</sup> valores de eficiencia entre 10 y 20% y tiempo de vida útil muy elevado, de 20 a 50 años.
2. Esta variante puede ser construida en el flanco sur de patios solares por el propio usuario, y puede dar alrededor de 20 a 40 litros de agua por m<sup>2</sup> de calentador y día, a temperaturas entre 40 y 50 grados Celsius, según el nivel de eficiencia térmica obtenido.
3. Los índices energéticos, ambientales, económicos y sociales de las variantes propuestas fueron analizados, y son altamente positivos, ya que ahorran entre 0,5 y 1 kWh/m<sup>2</sup> día de energía eléctrica y evitan la emisión de 0,5 a 1 kg de CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> día. Son sistemas autónomos de calentamiento que están por primera vez al alcance de la población de bajo poder adquisitivo.

4. Pueden ser utilizados patios solares industrialmente para el apoyo de equipos solares térmicos, como secadores solares de productos agrícolas y saunas solares. Fueron analizadas las perspectivas de aplicaciones industriales del calentador, que son reales, y deben comenzar a generalizarse.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. ALTA, Dennis, BILGILI Emin, et al, "Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and Exergy analyses". *Applied Energy*, Vol. 87, 2010, pp 2953-20973.
2. ALTOBELLI F., CONDORI M., DURAN G. MARTINEZ C. "Solar dryer efficiency considering the total drying potential, Application of this potttential as a resource indicator in North west Argentine". *Solar Energy* Vol 105. 2014. pp 742-759.
3. BJORN, Peter Jelle. "Solar radiation glassing factors for windows panes, glass structures, and electrochromic windows in buildings. Meassurements and calculations". *Solar energy Materials and solar cells*. Vol 116, 2013, p. 291-323.
4. BELLESIOTIS V., DELYANNIS "Solar drying". *Solar Energy* Vol 85, 2011, p. 1665 – 1691.
5. BERGUE Ciro, GRIÑÁN Pedro et al. "Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno". *Tecnología Química*. Vol. XXIII. No 1, 2003.
6. BERRIZ L. ÁLVAREZ, M. Manual de calentadores solares, Habana, Cuba, 1993.
7. CHAMI N. ZOUGHAIB A. "Modelling natural convection in a pitched thermosin building roofs and experimental validation using particle image velocimetry". *Energy and buildings*, Vol 42, 2011, p. 1267-1274.
8. HAKEN F, OZTOP A. "Energetic and exergetic aspects of solar air heating. (solar collector) systems". *Renewable and sustainable energy review*, Vol 21, 2013, p. 59-83.
9. S. VIJAYA, S. INIYAN, RANKO G. "A review of solar drying technologies". *Solar Energy*, Vol 85, 2011, p. 1665-1691.
10. SHOBANNA Singh, SUBODH Kumar. "New approach for thermal testing of solar dryer. Development of generalized characteristic curve". *Solar energy*, Vol 86, 2012, p. 1981-1991.
11. SHOBANNA Singh, SUBODH Kumar. "Testing method of thermal performance based rating of various solar dryer designs". *Solar energy*, Vol. 86, 2012, p. 88-98.
12. VARUN Naveen Sharma, IK Bhat, D grover, "Optimization of a smooth flat pate solar air heater using stochastic iterative perturbation technique". *Solar energy*. Vol 85, 2011. p 2331-2337.

Recibido: Noviembre 2016  
Aprobado: Marzo 2017

*MSc. Ciro Bergues-Ricardo.* Universidad de Oriente, Cuba. [cbergues@uo.edu.cu](mailto:cbergues@uo.edu.cu)