

CALEFACCION SOLAR DE UNA PISCINA A MUY BAJO COSTO

Gustavo Riso¹, Miriam Cutrera¹, Mario Battioni¹, Javier Schmidt¹, Miguel Ángel Lara²

¹IFIS Litoral – CONICET-UNL. Güemes 3450, 3000 Santa Fe

²Facultad de Cs. Exactas, Ing. y Agrimensura – Instituto de Física Rosario (UNR- CONICET)
Av. Pellegrini 250 – (2000) Rosario - Santa Fe
gusrisso@fiq.unl.edu.ar, malara@fceia.unr.edu.ar

Recibido 02/09/15, aceptado 02/10/15

RESUMEN: Se propuso el diseño de un dispositivo que funcione como calefactor solar térmico para una piscina hogareña, utilizando para tal motivo una cubierta de chapa de un techo ya existente. Se fijó como consigna que la temperatura del agua en la pileta debía aumentar a razón de un grado centígrado por hora (idéntico comportamiento al de una caldera comercial para uso en piscinas), en la franja horaria de 11 a 16 horas, durante el período de octubre a marzo. A modo de prototipo, se fabricó un dispositivo similar al propuesto, pero en una superficie que representaba el 5,8% del área disponible. Se midieron los valores de temperatura del agua a la entrada, salida e intermedio, la temperatura ambiente y la radiación. En base a los cálculos de calor requerido, se comprobó que el dispositivo propuesto cumple con la consigna planteada.

Palabras claves: Calentamiento de agua, colectores solares planos, ahorro de la energía.

INTRODUCCIÓN

Dada la finitud de los recursos no renovables y la perspectiva de incremento del precio del gas natural, en el presente trabajo se describe la construcción de un equipo para calefacción de una piscina hogareña (Figura 1), usando tecnología solar térmica de muy bajo costo y nulo impacto visual.

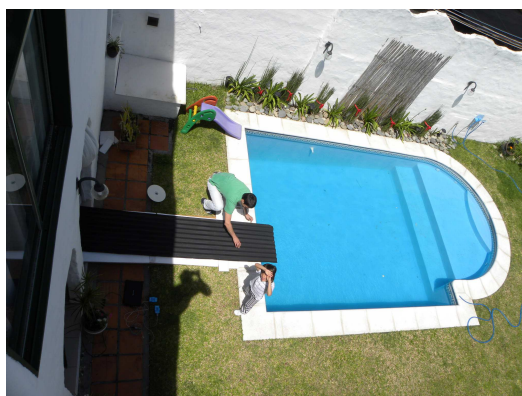


Figura 1: Piscina a calefaccionar

En la actualidad existen en el mercado calderas diseñadas para tal fin, alimentadas con gas natural, que pueden elevar la temperatura un grado por hora ($1^{\circ}\text{C}/\text{h}$) consumiendo aproximadamente 1300 kcal/h por cada metro cúbico de agua en la piscina. Si bien el costo de estas calderas es accesible, consumen gas natural, que es un insumo innecesariamente subsidiado para tal efecto. Por esto resulta interesante plantear el uso de tecnologías alternativas a fin de mitigar el derroche de una fuente finita y que

¹ IFIS Litoral

² Investigador del CONICET (IFIR - UNR).

además produce impacto ambiental (GEI, 2011). En la actualidad Argentina no es autosuficiente en cuanto a la producción de gas natural, por lo que debe importar esta materia prima con la consiguiente pérdida de divisas (Placco *et al*, 2008.).

La propuesta de diseño es trabajar con materiales de bajo costo tanto en la cubierta protectora como en los bastidores. Por otro lado, como placa de intercambio y soporte del agua se utilizan las chapas acanaladas que forman la cobertura de un quincho ya existente, empleándose la bomba de agua que alimenta al filtro para hacer circular el fluido.

El objetivo principal del presente trabajo es desarrollar un dispositivo con el cual se pueda calentar el agua de una piscina, ubicada en la ciudad de Santa Fe (latitud $31^{\circ} 42'$, longitud $60^{\circ} 46'$) entre los meses de octubre y marzo con una tasa de elevación de la temperatura de 1°C por hora, en la franja horaria de 11 a 16 hs. Esto implica elevar la temperatura 5°C por día de aprovechamiento solar. Es de destacar que en el presente trabajo la tasa de elevación de temperatura es independiente de la temperatura de inicio.

MATERIALES Y DISEÑO

El funcionamiento de este dispositivo se plantea para días soleados y de elevada temperatura ambiente (mayor a 24°C), dado que son las condiciones más usuales de uso de la piscina. Como superficie colectora se utilizará el techo acanalado de un quincho, que se encuentra situado a 3 metros de la piscina, con una altura de 6 metros y con una superficie total de 35m^2 .

Las chapas colectoras del agua a tratar fueron pintadas con pintura negra de alta absorbancia y baja emitancia; cada uno de los valles de la ondulación funciona como un canal para el agua proveniente de la pileta, la cual es ingresada al intercambiador mediante un caño perforado. Como cubierta se colocó un film de polipropileno soportado en un bastidor de madera el cual a su vez se atornilla a las chapas.

Para evitar la mezcla del agua de la pileta con la de lluvia, se diseñó un sistema de doble colección (Figura 2). La cubierta de polipropileno sobrepasa la superficie colectora, decantando el agua de lluvia en la mitad de la superficie de la canaleta. Finalmente todo el sistema se cubre con una malla fina tipo gallinero, que protege el polipropileno del granizo.

Demanda termica para cumplir el objetivo

Para el cálculo del equipo se debe conocer la cantidad de calor (energía) a suministrar al volumen de agua a fin de lograr el aumento de temperatura deseado. También es necesario contemplar las pérdidas de calor propias del sistema por conducción y convección, además de las pérdidas y/o ganancias por evaporación y radiación, a través de las paredes de la pileta.

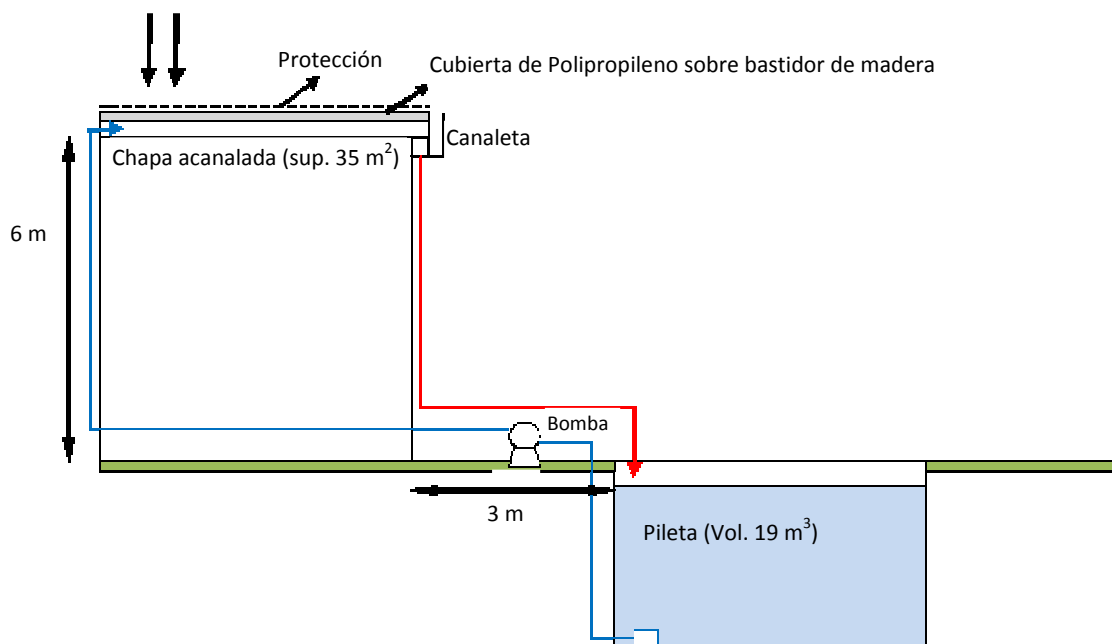


Figura 2: Esquema del sistema y su funcionamiento

El volumen de agua en la pileta es de 19.000 litros, y la temperatura inicial estimada es de 24 °C, en consecuencia el calor total requerido considerando las pérdidas es:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) + Q_p \quad (1)$$

Donde:

m = masa de agua = 19.000 Kg

c_p = calor específico = 1 kcal /kg. °K

T_f = temperatura final = 29 °C

T_i = temperatura inicial = 24 °C

Q_p = calores de pérdida (evaporación, conducción, radiación)

$$Q = 19.000 \text{ Kg} \cdot 1 \text{ Kcal/Kg} \cdot \text{°K} \cdot (302-297) \text{ °K} + Q_p$$

$$Q = 95.000 \text{ Kcal} + Q_p$$

Calculo del calor perdido – Q_p

Para el cálculo del calor perdido, consideramos los tres fenómenos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación, además de la evaporación.

Radiación:

Según la fórmula de Stefan-Boltzmann, las pérdidas por radiación están en función de la diferencia entre la temperatura media del medio ambiente y la del agua, elevadas ambas a la cuarta potencia y expresadas en grados Kelvin.

$$Q_{\text{rad}} = \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_{\text{ag}}^4 - T_{\text{ciel}}^4) \cdot S \quad (2)$$

Donde:

σ : $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (Constante de Stefan-Boltzman)

ϵ : 0,95 (Emisividad del agua)

T_{ag} : Temperatura del agua

T_{ciel} : Temperatura de cielo °K (se toma un valor entre 15 °C y 20 °C menor a la temp. ambiente)

S : Superficie de la piscina m^2

Como se ve, este fenómeno está asociado a emisividades relativas y a valores de temperatura del medio ambiente y del agua. Dado que estos valores son cercanos, y que a medida que transcurre el tiempo el flujo de calor se puede invertir (debido a la irradiación de las paredes circundantes hacia el agua de la pileta), no induce a errores sensibles despreciar la transferencia de calor mediante radiación.

Si bien es cierto que a medida que transcurren las horas, y particularmente a la noche, tendremos pérdidas por radiación hacia el medio ambiente (situación que se puede evitar con un cobertor flotante), en nuestra consigna se especificó que deseamos elevar la temperatura del agua de la pileta en 5°C, sin importar la temperatura de la que se parte. En consecuencia, para el fenómeno de transferencia de calor por radiación debemos considerar solamente lo que ocurre en las 5 horas de experiencia propuestas, que por lo expresado mas arriba puede ser despreciado sin que introduzca un error apreciable.

Convección

Para calcular las pérdidas por convección utilizamos la fórmula que se detalla a continuación aplicable para velocidades de viento despreciables y agua sin agitación:

$$Q_{\text{conv}} = 0,6246 \cdot (T_{\text{ag}} - T_{\text{aire}})^{4/3} \cdot S_{\text{vaso}} \quad (3)$$

Donde:

T_{ag} = Temperatura del agua

T_{aire} = Temperatura del aire

S_{vaso} = Superficie de la piscina

Las pérdidas de calor por convección en este caso son prácticamente despreciables, ya que al aplicar la fórmula empírica (3) el valor resultante es muy pequeño. Esto se debe a que la diferencia de temperatura con la cual trabajamos en la piscina climatizada respecto al ambiente también es muy pequeña, llegando en distintas horas del día a revertirse el sentido del flujo de calor. Por lo tanto, el suponer despreciable en esta situación este mecanismo de transferencia de calor no induce a errores sensibles.

Conducción:

En este caso, la transferencia de calor se producirá tanto a través de las paredes de la piscina como así también por medio del piso. Esta transferencia dependerá de las características constructivas de la pileta (enterrado, visto, etc.) y del coeficiente de transmisión térmica del material empleado. En nuestro caso la pileta es de hormigón, y está embutida en la tierra al ras del suelo

$$Q_{TC} = C_T * S * (T_{Ag} - T_{ex}) \quad (4)$$

Dónde:

C_T = coeficiente de transmisión de muros y base (1,50 W / m² °C)

S = superficie de hormigón de la pileta (base + paredes) = 36 m²

T_{Ag} = temperatura del agua de la piscina. En este caso tomamos la temperatura media a lo largo de nuestro periodo de funcionamiento, $T_{Ag} = 26^\circ$

T_{Ex} = temperatura exterior en la tierra alrededor de la pileta.

Para estimar la temperatura de la tierra alrededor de la pileta, recurrimos a trabajos del INTA donde se ha medido la temperatura en función de la profundidad. (Damiano F. *et al.*, 2010)

En éste se puede ver que a 10 cm la temperatura es 3°C mayor que la del medio ambiente, mientras que a una profundidad de 1,2 mts, la misma desciende 5°C respecto del medio ambiente.

Para nuestro caso, considerando una media en el ambiente de 24°C, vamos a tomar un valor de temperatura exterior de 20°C, y para nuestra experiencia de 5 hs.

$$Q_{TC} = 1375 \text{ kcal}$$

Evaporación:

Este fenómeno depende de la humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura del agua, y otras variables menores. Para nuestro caso proponemos dos métodos para el cálculo de este valor:

- *Metodo de Visentini*

Se calcula mediante una ecuación empírica propuesta por Visentini *et al.*, que tiene en cuenta el descenso del volumen de agua por evaporación

$$E = 40 * t \quad (5)$$

Donde:

E = evaporación media anual en mm

t = temperatura media en °C (27°C en nuestro caso)

Con el valor de E se calcula el volumen perdido en las 5 hs. en estudio, y con ese volumen y el calor latente de evaporación del agua obtenemos el calor perdido por este mecanismo:

$$Q_{P_{Ev}} = 5929 \text{ kcal}$$

- *Metodo de Bernier*

Es un método que se aplica a piscinas cubiertas (Moreno Corrales, 2012), contempla el numero de bañistas y también una cierta cantidad de espectadores (influye poco en la fórmula).

$$M_e = S * [(16+133 * n) * (W_e - G_a * W_{as})] + 0,1 * N \quad (6)$$

Dónde:

M_e = masa de agua evaporada [kg/h]

S = superficie de piscina [m^2]

W_e = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua [kg_{ag}/kg_a]

W_{as} = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior [kg_{ag}/kg_a]

G_a = grado de saturación

n = número de nadadores por m^2 de superficie de lámina de agua

N = número total de ocupantes (espectadores).

Para nuestra situación, el calor perdido por evaporación según el método de Bernier nos arroja un valor de:

$$Q_{P_{Ev}} = 6534 \text{ Kcal}$$

En nuestros cálculos finales consideramos el valor de evaporación obtenido por Bernier, ya que es el que da una mayor pérdida y en consecuencia nos posicionamos en una situación más desfavorable. Con toda esta información se calcula la pérdida total de calor:

$$Q_{T_{perdida}} = Q_{P_{ev}} + Q_{P_{cond}} + Q_{P_{rad}} \quad (7)$$

$$Q_{T_{perdida}} = 6.354 + 1375 = 7729 \text{ Kcal}$$

Para tener en cuenta los errores intrínsecos del método de cálculo, se usa un coeficiente de seguridad del 30%. En consecuencia

$$Q_{T_{perdida}} = 7729 * 1,3 = 10.047 \text{ Kcal}$$

Introduciendo este valor en la ecuación (1), se calcula cual será el calor total que debe aportar el equipo para lograr la consigna de elevar la temperatura del agua en 5°C en la franja horaria de 11 a 16 hs entre los meses de octubre a marzo.

$$Q = Q_c + Q_{Tp}$$

$$Q = 95.000 + 10.047 = 105.047 \text{ kcal}$$

De acuerdo a las condiciones de diseño, el sistema consiste en la utilización de las chapas acanaladas del techo de un quincho, pintadas de negro y en las cuales en la parte superior va colocado un caño negro de Nylon con pequeños agujeros cuya suma de áreas es igual al área del caño de alimentación.

En la parte inferior de las chapas, y sobre la canaleta existente va colocada otra canaleta de mitad de sección, que cumple la función de colector. Todo el sistema esta cubierto por un film de polipropileno.

La superficie libre de captación del recurso solar es de 35 m²; y con ella se deberá obtener una energía disponible en el lapso de 5 hs de 105.000 kcal

Prueba de funcionamiento mediante sistema piloto

Para analizar la viabilidad del proyecto, se construyó en escala piloto un sistema similar al propuesto, con una superficie que representa el 5,8 % de la superficie disponible. La experiencia se realizó durante 8 días soleados del mes de octubre de 2013. Los valores presentados en las tablas que siguen son los promedios de los ensayos realizados.



Figura 3: Vista de la superficie colectora propuesta

Se tomó la temperatura del agua a la entrada, a la salida, en la mitad de la chapa, y la temperatura ambiente. Se midió el caudal y la radiación. Para las medidas de temperatura se utilizaron termocuplas que fueron conectadas a un equipo de adquisición de datos de 6 canales marca ADAM mod. 4018 M

Para la medición de radiación en el plano de la chapa, se utilizó un solarímetro marca KIPP & ZONNEN. El caudal se midió con cronómetro y una cubeta, y finalmente la chapa fue aislada con placas de Telgopor



Figura 4: Sistema de adquisición de temperatura

Modelo a escala piloto

Calor Que Debe Aportar El Sistema Piloto

Caudal de agua = 5,05 Lt / min = 303 Lt /h

Sup. colectora = 0,67 m * 3,05 m = 2,04 m²

Sup. propuesta = 35 m²

Vol. de piscina = 19000 lt

Relación sup. colectora /sup. propuesta = 2,04 / 35 = 0,058

Calor necesario en 5 horas = 105.047 Kcal

Calor necesario por hora = 21.009 Kcal

Como la relación de la superficie colectora (sistema piloto) a la superficie propuesta es de 0,058, nuestra superficie piloto nos debe aportar como mínimo:

$$\text{Calor min del sist piloto} = \text{calor necesario} * \text{relac de sup} \quad (8)$$

$$\text{Calor min del sist piloto} = 21.009 \text{ Kcal/h} * 0,058$$

$$\text{Calor min del sist piloto} = 1218 \text{ Kcal/h}$$

En base a esto podemos calcular la diferencia de temperatura mínima que tendrá que tener el agua entre la entrada y la salida

$$Q = m * c_p * (T_s - T_e) \quad (9)$$

$$1218 \text{ Kcal/h} = 303 \text{ Kg/h} * 1 \text{ Kcal/ Kg } ^\circ\text{C} * (T_s - T_e)$$

$$T_s - T_e = 1218 \text{ Kcal/h} / 303 \text{ Kg/h} * 1 \text{ Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_s - T_e = 4,02 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Figura 5: Chapa colectora, placas aislantes y polarímetro y : Sistema de distribución a cada uno de los canales



Figura 6: Sist. en funcionamiento con el vertido por canales y Vista general con la cubierta instalada

Resultados

Hora	Radiación W / m ²	T ambiente °C	T entrada °C	T salida °C	T media °C	Te - Ts °C
11:00	870	22,5	22,3	26,2	24,2	3,9
11:30	895	22,9	22,3	26,4	24,3	4,1
12:00	920	23,4	22,6	26,9	24,7	4,3
12:30	967	23,8	22,8	27,3	25	4,5
13:00	998	24,4	23,1	27,8	25,3	4,7
13:30	1023	24,9	23,1	28,0	25,5	4,9
14:00	1010	25,3	23,2	28,0	25,6	4,8
14:30	997	25,8	23,5	28,2	25,8	4,7
15:00	990	26,2	23,5	28,0	25,7	4,5
15:30	930	26,2	23,6	27,9	25,7	4,3
16:00	915	25,8	23,6	27,9	25,6	4,3

Tabla 1: resumen de los valores medidos en la experiencia

La Tabla 1 muestra que, excepto en el horario de las 11 hs., el sistema responde a la consigna planteada, y que además se puede extender el horario de funcionamiento.

Eficiencia del dispositivo

La eficiencia de un colector solar se define como el cociente de la energía térmica útil frente a la energía solar total recibida.

En el presente trabajo, realizamos el cálculo de la eficiencia con la potencia útil que aporta el sistema calefactor y la potencia recibida en el área del equipo:

$$P_{recibida} = \text{Radiación} * \text{área} \text{ [Kw]} \tag{10}$$

$$P_{util} = \rho * \text{Caudal} * c_p * (T_s - T_e) \text{ [Kw]} \tag{11}$$

La Tabla 2 muestra la evolución de los valores de Potencias y Eficiencia para el lapso en estudio.

HORA	Potencia recib Kw	Potencia util Kw	EFICIENCIA E util / E recib %
11:00	1,827	1,372	75,3
11:30	1,879	1,443	76,1
12:00	1,932	1,513	77,9
12:30	2,030	1,584	78,3
13:00	2,095	1,654	79,1
13:30	2,148	1,724	79,9
14:00	2,121	1,689	79,6
14:30	2,093	1,654	79,3
15:00	2,079	1,584	77,9
15:30	1,953	1,513	77,9
16:00	1,921	1,513	78,0

Tabla 2: Energía y Eficiencia durante las 5 hs. en estudio

La Figura 9 muestra un rendimiento homogéneo y cercano al 80% durante el transcurso de toda la experiencia.

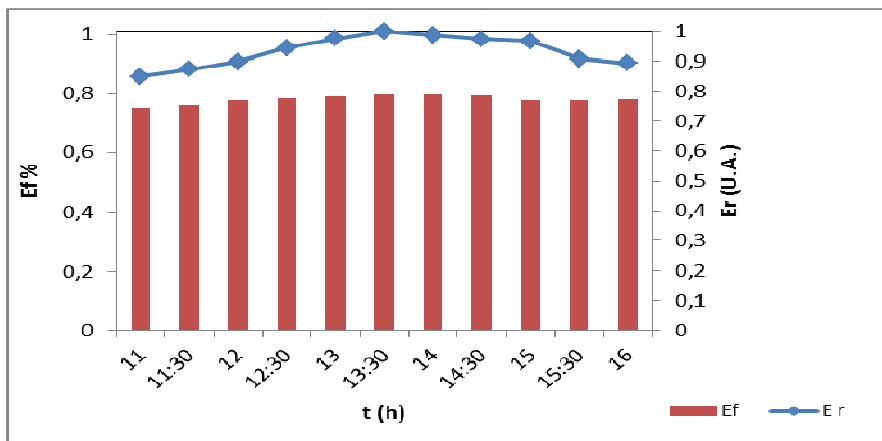


Figura 9: Comparación de la Energía recibida con la Eficiencia obtenida (valores normalizados)

Es de destacar que este buen rendimiento se da en gran medida debido a que no existe un elevado salto de temperatura del agua entre la entrada y la salida. Por otro lado, la diferencia del 5 % de eficiencia entre el máximo y mínimo, está relacionada directamente con la radiación incidente.

Costos y ahorro de emisiones de CO₂

Cuando se planteó la consigna del diseño y fabricación de un calefactor solar térmico, se impuso que este debía ser de muy bajo costo.

Para este trabajo se propuso la utilización de una cubierta de chapas acanaladas ya existentes que formaban parte del techo del quincho aldeaño a la piscina, en consecuencia el costo principal se reduce

a cero. La bomba para la circulación del fluido es la que, en la actualidad, está acoplada al filtro.

En el modelo a escala piloto, que representó un 5,8 % de la superficie propuesta, la inversión total en pintura, cubierta de polipropileno, bastidores, cañería de alimentación como la de retorno, y los elementos de fijación, nos insumió una inversión total de \$ 68.

En consecuencia, extrapolando a la superficie total, el costo estimado de fabricación del calefactor solar es de \$ 1170.

Para analizar el ahorro de emisiones de CO₂ que se logra al calefaccionar la piscina por este método, se usó la “Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero” (GEI, 2011)

La cantidad de energía requerida en nuestro proceso para elevar la temperatura del agua es:

$$E = 105.000 \text{ Kcal} = 122,11 \text{ Kw h}$$

Según la guía antes citada, para el gas natural:

1 m³ de GN en combustión aporta ----- 2,15 Kg CO₂

1 m³ de GN en energía aporta ----- 10,65 Kw h

En consecuencia al necesitar producir 122,11 Kw h estaríamos aportando al medio:

$$\text{CO}_2 = (2.15 \text{ Kg CO}_2 * 122,11) \text{ Kw h} / 10,65 \text{ kw h} = \boxed{24,65 \text{ Kg CO}_2}$$

Esta es la cantidad diaria que evitaríamos entregar al medio con nuestro calefactor solar.

CONCLUSIONES

De las mediciones de temperatura se observa que el sistema cumple con la consigna planteada de aporte de calor en la franja horaria sugerida para el período octubre - marzo. Trabajos realizado por el GENOC (Cutrera *et al.*, 2010) a una distancia de 3 kilómetros del emplazamiento propuesto, muestran que los niveles de radiación durante la experiencia pueden considerarse valores típicos para los meses referidos, además se ve que se puede extender el horario más allá de las 16 horas.

Se hicieron mediciones con el equipo sin aislar la parte posterior de la chapa, y se observó que no había variación respecto al rendimiento con la chapa aislada térmicamente. Esto suponemos que se debe a que cuando circula el agua, la chapa toma inmediatamente la temperatura del fluido, y como además la temperatura ambiente al momento de la experiencia era similar a la del fluido, el intercambio de calor en esa zona es despreciable.

Mas allá de la simpleza de la tecnología planteada, el dispositivo demostró tener un apreciable rendimiento.

REFERENCIAS

- Cutrera M., Battioni M., Risso G. y Buitrago R.H. (2010). Correlaciones entre la radiación solar, sus componentes, el ángulo de Montaje y la generación de los módulos fotovoltaicos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14
- Damiano F. *et. al* (2010). Evaluación del modelo microclimático del suelo ; I Congreso Internacional de Hidrología de llanuras- Septiembre 2010.
- Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (2011). Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático.
- Follari J. y Fasulo A. (1998). Veinte años con los calefones solares argentinos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 5.
- Juanicó L. E, 2008. Diseño innovativo de techo solar económico, para calefacción y refrigeración de viviendas; II Congreso Brasileiro de Energia solar – Florianópolis noviembre 2008.
- Moreno Corrales L.(2013) , Diseño de instalaciones de máxima eficiencia en piscinas climatizadas. Proyecto fin de carrera.
- Placco C., Saravia L. y Cadena C. (2008). Colectores solares para agua caliente. INENCO - UNSa – CONICET Salta

ABSTRACT: We have designed a device to function as thermal solar pool heater, using an existing sheet roof. We established the goal that the temperature of the water in the pool should increase at the rate of one degree centigrade per hour in the interval between 11 and 16 hours. We built a prototype, with an area representing 5.8% of the available surface. Values of water temperature at the input, output and intermediate position in the device, as well as ambient temperature and incident radiation were measured. We found that the proposed device complies with the objective

Keywords: Water heating, flat solar collectors, energy saving.