

COLECTOR SOLAR MULTITUBO DE POLIETILENO PARA ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE ESTANQUES

Marco T. Domini¹, Mabel Medina^{1,3}, Miguel A. Lara²

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (UNR)

²Facultad de Ciencias Agrarias (UNR)- Instituto de Física Rosario² (CONICET)

³Consejo de Investigaciones. Universidad Nacional de Rosario.

TE: (0341) 4495467- Int 33; Fax: (0341) 4802654

E-mail: mmedina@fceia.unr.edu.ar / malara@fceia.unr.edu.ar

Av. Pellegrini 250. 2000 Rosario

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es conocer el comportamiento de un colector solar hecho en tubos de polietileno para acondicionamiento térmico de estanques. El interés de estos colectores reside en lo económicos y fáciles de construir, aunque presenten bajos valores de rendimiento debido a que el material de los tubos posee un bajo coeficiente de conductividad. Se realizan mediciones de temperatura y de radiación, con diferentes condiciones de cubierta, y se determinan valores de rendimiento para el mes de agosto. Se evalúa la posibilidad de utilizar los colectores en un establecimiento de producción de la microalga spirulina que necesita acondicionamiento térmico del medio de cultivo durante los meses de invierno.

PALABRAS CLAVES: Colectores solares; polietileno; estanques, spirulina.

INTRODUCCIÓN:

En la actualidad existen cada vez más formas de aprovechar la energía solar. Una de las formas más comunes es el calentamiento de agua mediante colectores planos. En este trabajo, se muestra el caso de un colector para el calentamiento de agua para piscinas y estanques. El tipo de colectores utilizado en estos casos no es fabricado en nuestro país. Debido a la diferencia cambiaria se hace muy costosa su importación, por lo que es de interés fabricarlos con materiales nacionales.

Los colectores solares planos son dispositivos que calientan un fluido utilizando la energía del sol. El principio de funcionamiento es sencillo. La energía solar en forma de radiación es absorbida por un material, aumentando la temperatura del mismo. Luego por conducción y convección éste transmite su energía al fluido que deseamos calentar. En estas transformaciones intervienen muchos factores, los cuales deben ser cuidadosamente estudiados para el diseño de instalaciones que utilicen este tipo de colectores. Algunos de estos factores son:

- Características del elemento absorbedor : Existen varias formas y materiales de construcción de absorbedores, por ejemplo:
 - Dos placas metálicas separadas algunos milímetros entre las cuales circula el fluido caloportador.
 - Placa metálica, que es el absorbedor propiamente dicho, sobre la cual están soldados o embutidos los tubos por los que circula el fluido caloportador. En lugar de una placa metálica se puede dotar a los tubos de aletas.
 - Tubos absorbedores de plástico, usados casi exclusivamente en acondicionamiento de piscinas.
- Capacidad del absorbedor: La inercia térmica del absorbedor indica la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura del absorbedor y del fluido caloportador que contiene en un tiempo determinado. La inercia térmica está pues ligada a la capacidad del absorbedor (volumen de líquido que puede contener) por lo que interesa reducir ésta al mínimo.
- Homogeneidad de la circulación del fluido. Si por ciertas partes del la circulación del absorbedor no hay una correcta circulación del líquido, el calor aportado a estas zonas por la energía solar estará mal utilizado, la temperatura se elevará anormalmente y las pérdidas serán mayores.
- Transmisión del calor de la placa absorbente a fluido caloportador: La transmisión correcta de calor al líquido depende mucho en este caso de la conductividad y del espesor del material de que está construida la placa absorbente, de la separación entre los tubos y de sus diámetros, del rendimiento del líquido, del régimen laminar o turbulento de este en los tubos, etc.
- Caudal de circulación del fluido: La cantidad de líquido que circula en un determinado tiempo por el colector es un factor muy importante para tener en cuenta debido a dos razones principales. En primer lugar necesitamos conocer la cantidad de energía, en forma de energía interna del líquido, ingresa y egresa del sistema para poder efectuar un balance energético. En segundo lugar el caudal es muy importante porque de este depende directamente la velocidad

² Investigador CONICET

de circulación del fluido en el interior y esto también está relacionado con la transferencia de calor entre el colector y el líquido

- Pérdidas de energía con el medio ambiente: Como pérdidas energéticas se tienen todas las posibles transferencias de calor del colector o del fluido con el medio ambiente. La temperatura ambiente, la velocidad del viento, forma y ubicación del colector, etc., son factores que deben tenerse en cuenta para evitar estas fugas y así aumentar la eficiencia de la instalación.

En este trabajo se describe la experiencia en un colector solar formado por un conjunto de tubos de polietileno (ver figuras 1 y 2). Se obtienen experimentalmente valores de rendimiento para diferentes situaciones de cubierta. El interés en este tipo de colector reside en que es sencillo de construir, y muy económico. Modelos similares son utilizados en el calentamiento del agua de piscinas para extender el período de utilización entre los meses de septiembre a marzo en el hemisferio sur.

Se desea evaluar su posible utilización en el acondicionamiento de estanques para el cultivo de la microalga spirulina. Este microalga se cultiva en estanques de varias decenas de metros de largo por 4 m. de ancho y con una profundidad de 0.15 m. En invierno, es crítico mantener la temperatura por encima de los 12 C. Se utilizan para ello cubiertas tipo invernadero sobre los estanques (Medina, 2003). Haciendo pasar reiteradamente el medio de cultivo por este tipo de colector solar se podría elevar la temperatura de dicho medio de cultivo, con consecuencias favorables para la producción.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO EXPERIMENTAL:

Se construyó un colector solar con caños de polietileno constituido por una serie de 62 caños de diámetro 16 mm y 1.4 mm de espesor, colocados unos al lado del otro y soldados a dos caños recolectores de diámetro 71 mm. en sus extremos. En la figura 2 se aprecia un esquema tridimensional y una foto del detalle constructivo del colector donde se ven los caños pequeños y uno de los grandes. En las puntas de los caños extremos se colocaron tapas y conexiones diagonalmente opuestas para la entrada y salida del líquido.

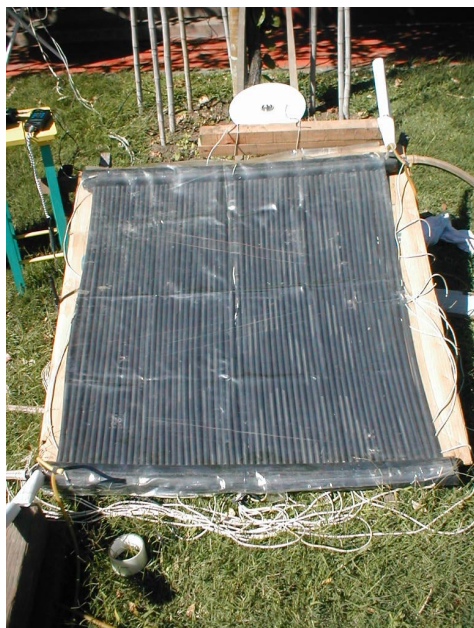


Figura 1: Colector con cubierta de PVC, e instrumentos de medición.

El colector se ensayó con tres tipos distintos de cubiertas, las cuales son de fácil colocación y extracción. Los materiales de las cubiertas fueron PVC 200 μ , PLD 100 μ y Rafialón doble laminado.

Las dimensiones del prototipo se estandarizaron en 1m de largo por 1m de ancho, de manera de tener una superficie de 1m² y así facilitar los cálculos energéticos.

En la parte posterior del colector se colocó una plancha de cartón y se apoyó sobre una estructura de madera, que permite modificar la inclinación. La inclinación del colector se determinó de acuerdo a la latitud del lugar y a la época del año (agosto; 43°).

La radiación global solar instantánea se midió con un solarímetro KIPP ZONNEN CM5 conectado a un sistema adquisidor de datos Datalogger Fluke 2280C. Las temperaturas en diferentes puntos del colector y del ambiente se tomaron con sensores tipo T- Norma NBS, conectados al sistema de adquisición de datos antes mencionado.

La temperatura a la entrada y salida del líquido se midió con termómetros (0,1 C), de mercurio de rango -10 a 60 C. La medición del caudal de agua se realizó por volumen en un determinado tiempo

En la figura 1 se observa el colector con una cubierta de PVC y los sensores utilizados en las experiencias.

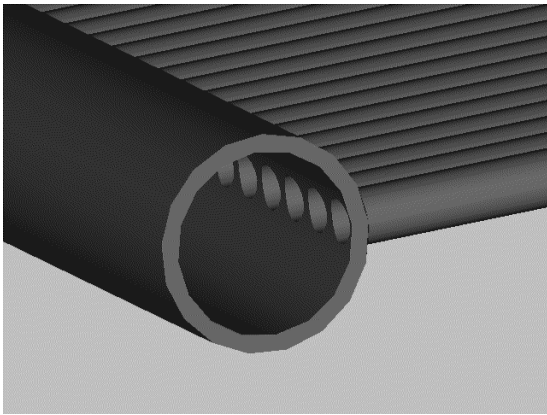


Figura 2 a) Esquema de la unión entre los caños



Figura 2 b) Foto que muestra el armado del colector.

ENSAYOS Y RESULTADOS

Las experiencias fueron realizadas en la zona rural de la localidad de Soldini, latitud 33° sur longitud $60^\circ 53'$ oeste en la provincia de Santa Fe, en el mes de agosto 2003, en días despejados con muy poca nubosidad por lo que la radiación solar era buena. Las mediciones fueron realizadas entre las 11:00 y las 15:00 horas, alrededor del mediodía solar.

La disposición de los sensores de temperatura puede apreciarse en la Fig. 3. Esta disposición permite conocer las temperaturas en el interior (en el agua), en la superficie superior e inferior y la temperatura ambiente. El solarímetro fue colocado sujeto a la estructura del colector y se encontraba sobre un mismo plano, de modo que la intensidad de radiación incidente en el sensor y el colector fuera la misma. Para la circulación del líquido se usó una manguera conectada a una línea de agua y se regulaba mediante una válvula de esférica.

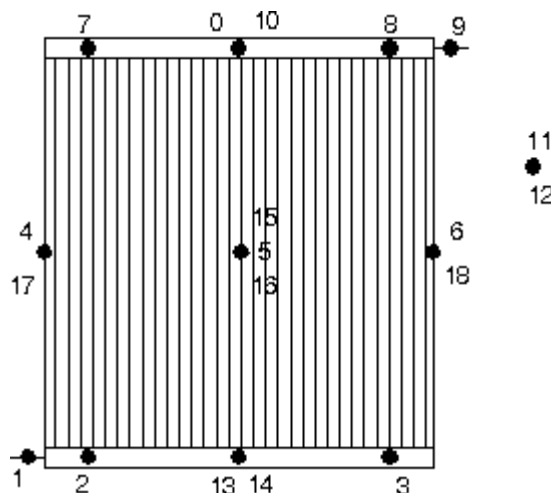


Figura 3.- Disposición de los sensores de temperatura. Los sensores de 1 a 9 obtenían mediciones dentro del colector. Los sensores 11 y 12 medían la temperatura ambiente. Los sensores 0, 13, 16, 17 y 18 medían la temperatura en la superficie superior. Los sensores 0, 14 y 15 medían la temperatura en la superficie inferior.

Análisis de temperaturas

En la figura 4 a) se observa la evolución del promedio de las temperaturas medidas en el agua en el colector sin circulación. El agua que se encuentra en los tubos de menor diámetro (medida por los sensores 4, 5 y 6) se calienta más que la que está en el tubo superior de mayor diámetro. No se descartan movimientos convectivos que mezclen parcialmente el agua. En la figura 4 b) se observa la evolución de las temperaturas en las superficies exteriores con respecto de la temperatura ambiente. Hay un calentamiento más marcado de la superficie de arriba en contacto con la radiación solar pero también hay un calentamiento en la superficie inferior.

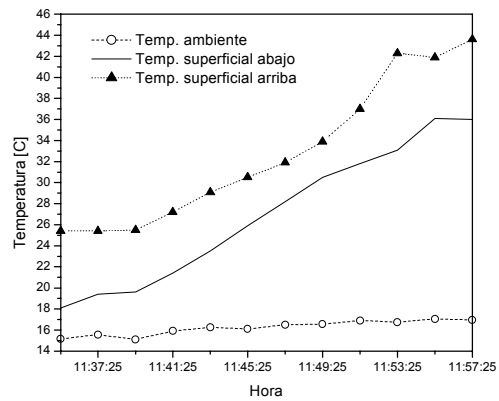
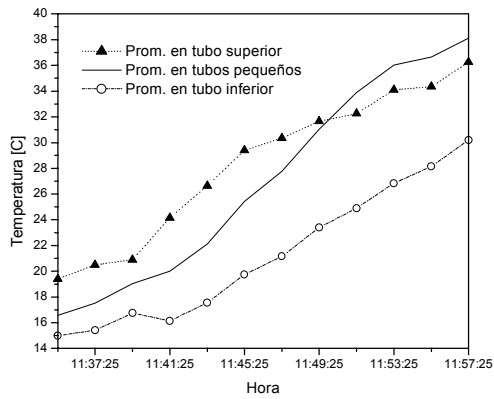


Figura 4 a) Temperaturas promedio en el agua del colector sin circulación: en el caño colector grande superior (sensores 7 y 8), en los caños pequeños centrales (sensores 4, 5 y 6.) y en el caño colector grande de abajo (sensores 2 y 3).

Figura 4 b) Temperaturas sobre las superficies exteriores del colector: en la superficie de arriba (sensor 16), en la superficie de abajo (sensor 15) y temperatura ambiente (sensores 11 y 12). Colector lleno de agua sin circulación

En la figura 5 se muestra el comportamiento térmico del colector con circulación de agua, sin cubierta. Las temperaturas promedio en el agua (figura 5 a) muestran el calentamiento del agua en el sentido de la circulación de la misma, desde la parte inferior hacia la superior. En este gráfico se ve cómo la temperatura de ingreso del agua afecta los restantes valores de temperatura porque la alimentación provenía de una manguera exterior, la temperatura de ingreso se veía afectada por las variaciones de la misma. En la figura 5b se muestran las temperaturas medidas en las superficies superior, que no supera los 25 °C, e inferior del colector, así como la temperatura ambiente.

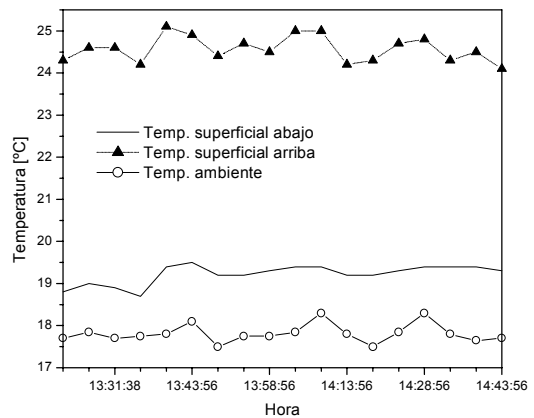
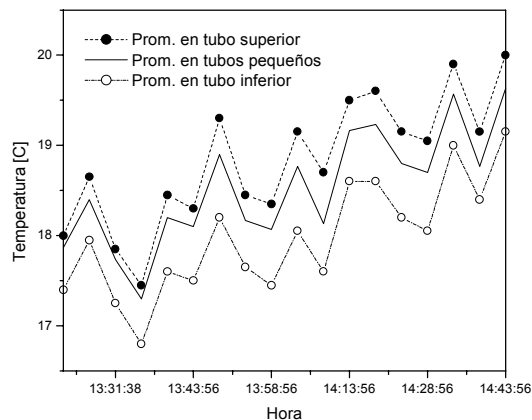


Figura 5 a) Temperaturas promedio en el agua del colector con circulación, sin cubierta: en el caño colector grande superior (sensores 7 y 8), en los caños pequeños centrales (sensores 4, 5 y 6.) y en el caño colector grande de abajo (sensores 2 y 3).

Figura 5 b) Temperaturas sobre las superficies exteriores del colector: en la superficie de arriba (sensor 16), en la superficie de abajo (sensor 15) y temperatura ambiente (sensores 11 y 12). Colector lleno de agua con circulación.

Del análisis de los registros de temperatura (figura 4 a y 5 a) se puede ver que en los caños de mayor diámetro, superior e inferior, se obtienen temperaturas menores, en parte porque el espesor de pared de los tubos es más grueso, lo que se traduce en una disminución de intercambio de calor con el fluido. Además, en la parte inferior es por donde ingresa el agua más fría, y en la parte superior, no se puede asegurar que esté completamente lleno y se producen burbujas de aire que disminuyen el intercambio. Es decir que la zona de mayor intercambio es la zona de tubos de menor diámetro.-

Cálculo del rendimiento

Para una evaluación de rendimiento los ensayos fueron semejantes de manera que los resultados fueran comparables con el colector descubierto y luego con los 3 tipos de cubiertas diferentes. Cada experiencia se realizó con tres caudales diferentes. Se tomaron mediciones de temperatura y de radiación global cada 1' 30".

Para el cálculo del rendimiento instantáneo del colector se utiliza el cociente entre energía entregada y energía recibida (Duffie, 1991):

$$\eta = \frac{m c_p \Delta T}{I}$$

Donde :

η Rendimiento instantáneo del colector, m Caudal másico de circulación del fluido, c_p calor específico del agua, ΔT diferencia de temperatura del agua entre la entrada y la salida del colector, I Intensidad de radiación

Cubierta	Q1= 2.23 10 ⁻⁴ m ³ / s			Q1= 1.58 10 ⁻⁴ m ³ / s			Q1= 9.5 10 ⁻⁵ m ³ / s			η promedio
	ΔT [C]	I [Wm ⁻²]	η	ΔT [C]	I [Wm ⁻²]	η	ΔT [C]	I [Wm ⁻²]	η	
Ninguna	0.4	908	0.41	0.5	908	0.36	1.0	907	0.43	0.4
PVC 200 μ	0.3	1000	0.28	0.4	717	0.36	0.8	790	0.40	0.35
Polietil.100 μ	0.3	962	0.29	0.4	921	0.28	0.8	979	0.32	0.30
Rafialón	0.3	881	0,31	0.4	881	0.30	0.7	982	0.28	0.29

Tabla 1.- Rendimientos obtenidos en distintas condiciones

En la tabla 1 se muestra una comparación de rendimientos para diferentes caudales y diferentes cubiertas. En promedio los rendimientos son decrecientes, de acuerdo con el coeficiente de transmisibilidad de cada una de las cubiertas, que fueron medidos en el transcurso de la experiencia y que se muestran en la tabla 2.

Cubierta	Coefficiente de transmisión (%)
PVC 200 μ	92.4
Polietil.100 μ	90.6
Rafialón	83.0

Tabla 2. Valores del coeficiente de transmisibilidad medidos para cada tipo de cubierta.

Los valores de rendimiento obtenidos están afectados de errores de medición, ya que las temperaturas de entrada y salida medidas tienen un error de ± 0.1 C. De la propagación de este error, se obtiene un error en el cálculo del rendimiento de ± 0.2 en el peor de los casos, que es el de mayor caudal y sin cubierta.

Los valores de rendimiento bajos son debido a que los caños están hechos de polietileno negro que tiene un coeficiente de conductividad $k = 0.42$ W/mC, lo cual lo hace un mal conductor de calor, como se puede ver en las figuras 4 b y 5 b, donde hay una diferencia de 6 °C entre la parte superior del caño (expuesta a la radiación solar) y la parte inferior.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

El objetivo de este trabajo fue conocer el comportamiento de un colector solar hecho en tubos de polietileno para acondicionamiento térmico de estanques. El interés en estos colectores reside en lo económicos y fáciles de construir, aunque presenten bajos valores de rendimiento debido a que el material de los tubos posee un bajo coeficiente de conductividad.

Los rendimientos de la tabla 1 muestran valores que deberían ser mayores cuanto mayor es el caudal porque el fluido circula a mayor velocidad dentro del colector. Esto se produciría por un mejor intercambio de calor entre colector y líquido, por la disminución de la temperatura del material absorbente y en consecuencia la disminución de las pérdidas con el medioambiente, ya sea por radiación o convección. Sin embargo, estos valores están fuertemente afectados por los errores de medición de temperatura en saltos térmicos pequeños, y por ello no se manifiesta este fenómeno. Se debería recurrir a una técnica más precisa en la medición de la temperatura si se desean cálculos más ajustados de rendimiento.

Los valores de rendimiento son menores cuando se usan cubiertas de acuerdo al coeficiente de transmisibilidad de las mismas, que disminuye la energía solar incidente sobre el material absorbente. Si bien el objeto de las cubiertas en colectores es de aumentar el rendimiento energético disminuyendo las pérdidas, en este caso no se cumple debido a que, en la época que se utilizan estos tipos de colectores, la diferencia de temperatura entre el medio ambiente y el colector es pequeña y con ello las pérdidas. Los ensayos fueron efectuados en días sin viento para que las pérdidas por convección fueran mínimas.

Este tipo de colectores puede ser una ayuda en el acondicionamiento de estanques para el cultivo de la microalga spirulina, cuyo rendimiento es mayor en el rango de temperaturas 20 – 39 C. Los estanques actualmente en uso son de 6.75 m³ (10 m x 4.5 m x 0.15 m). Para conservar la energía solar en invierno están protegidos con una cubierta tipo invernadero, logrando que la temperatura mínima en invierno esté alrededor de 13 C. De acuerdo con los valores de la tabla 1, bombeando un caudal de 3.125 10⁻⁴ m³/s desde las 11:00 horas hasta las 15:00 horas a través de 6 m² de colectores plásticos se obtiene una ganancia aproximada de 2.5 C en la temperatura del medio de cultivo. El bombeo debe realizarse con una bomba peristáltica, que es la que menor daño mecánico produce en las microalgas. Otro factor a considerar es la posibilidad de taponamiento o disminución de sección útil de los caños del colector a causa de la deposición de sales y de microalgas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto ING84, “Análisis de procesos de transferencia de calor y materia en procesos agroindustriales. Aplicaciones a la producción de microalgas”.

REFERENCIAS:

Duffie J. Beckman W. Solar Engineering of Thermal Process, 2^{da} ed. Willey & Son 1991.

Instalaciones de Energía Solar. Tomo III. CENSOLAR (1996)

M. Medina, A. Gastón, R. Abalone, M. A. Lara, Modelización térmica de estanques para producción de la microalga espirulina (*arthrospira platensis*), Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 7, N° 2, 2003 pág. 8.103.

POLYETHYLENE MULTI-TUBE SOLAR COLLECTOR FOR THERMAL HEATING OF PONDS

Abstract: The objective of this work is to know the behavior of a solar collector in polyethylene tubes for pool heating. These collectors are economic and the easy construct, although they present low efficiency because the material of the tubes has a low coefficient of conductivity. Measurements of temperature and radiation are made, with different conditions of cover, and values of efficiency for August are determined. It is evaluated the use of these collectors in an establishment of microalgae spirulina production, in which the ponds need thermal heating treatment during the winter.

KEYWORDS: Collectors, polyethylene, ponds, spirulina culture.