

UN COLECTOR SOLAR DE POLIPROPILENO

A. Fasulo(*) J.Follari(*) y M. Torres(*)

1-RESUMEN

Con el propósito de bajar los costos de los colectores solares para el calentamiento de agua, se construyeron receptores de materiales plásticos. La solución de los problemas que plantea este material en el uso propuesto, llevó a desarrollar técnicas apropiadas tanto para la construcción del receptor, como para el armado del colector. Se presentan tablas y gráficas del rendimiento de un colector prototipo de 2 m² de superficie con receptor de polipropileno, que se comparó experimentalmente, bajo condiciones físicas similares, con uno de igual superficie, cuyo receptor está realizado con dos chapas de acero inoxidable. Se efectuó una evaluación comparativa entre ambos. Finalmente se evaluó el comportamiento del colector de polipropileno incorporado a un calefón solar.

2-INTRODUCCION

El Laboratorio de Energía Solar de la Univ. Nac. de San Luis, se ha ocupado desde sus inicios, a mediados de la década del 70, de experimentar materiales ofreciendo alternativas para la construcción de dispositivos solares. En cada ocasión se han tenido en cuenta tanto la eficiencia térmica como la económica de los materiales y dispositivos en cuestión. Así se mostró que para el colector del tipo tubo aleta de mayor rendimiento construido con cobre, se podía ofrecer uno de mayor eficiencia económica empleando aletas de hierro en su reemplazo[1].

En la actualidad compiten en el mercado local varias marcas de colectores solares. Difieren tanto en las características del receptor, como en los materiales que emplean para su construcción; entre estos, uno de alta eficiencia y durabilidad, con una excelente adaptación a las zonas que tienen heladas, es el construido con dos chapas de acero inoxidable, como una especie de sobre. Su principal inconveniente reside en el precio del material, que es de importación. En la Tabla I se muestran los costos relativos de los componentes de un colector del tipo mencionado. El receptor representa un 49% del total. Por ello los esfuerzos se centraron, en una primera etapa, en reducir los costos del receptor.

(*) LABORATORIO DE ENERGIA SOLAR. (U.N.S.L.)

Receptor(materiales)-----	49 %
Caja (incluye aislaciones y vidrio) -----	35 %
Mano de obra y gastos grales. -----	16 %

TABLA I.
Costos relativos de un colector solar convencional.

3-MATERIALES PROPUESTOS

El primer objetivo fué mostrar la posibilidad del uso de plásticos en la construcción de receptores. Hay que tener en cuenta que éste puede superar los 100 grados estando sin agua, y que la radiación incidente generalmente destruye estos materiales. La bibliografía muestra diversos tipos de plásticos que podrían servir al fin propuesto [2].

Están disponibles en el mercado local, los de uso corriente en sanitarios: polietileno de baja densidad y polipropileno, entre otros. Las principales propiedades físicas se resumen en Tabla II de acuerdo a especificaciones de la firma productora. Como era de esperar, el polietileno no reúne las condiciones mínimas para reemplazar al acero. Sin embargo este material, dado su bajo costo, resultaría ventajoso empleado para construir colectores que operen a bajas temperaturas, como es el caso del calentamiento de piscinas. En este caso, el colector está constituido por tubos de polietileno extendidos en el techo o piso adyacentes a la pileta, sin ningún tipo de aislación o cubierta. Esta aplicación es válida donde las temperaturas del agua son relativamente bajas.

	Polietileno Baja Densidad	Polietileno Alta Densidad	Polipropileno
densidad (gr/cm ³)	0,92	0,95	0,91
tensión anular a 20 C. (kg/cm ²)	25	50	57
resist. al calor límite en operación continua (°C)	40	80	100
temp. de plast. (°C)	100	125-135	170-175
resistencia a la radiación solar	buena	buena	mala

TABLA II. Prop. Físicas del polietileno y del polipropileno.

En el caso del polipropileno, tal como se presenta en el mercado, responde bien desde el punto de vista de las temperaturas de trabajo, pero la radiación lo deteriora rápidamente. Este problema se supera usando un recubrimiento completo de pintura opaca. Para que este recubrimiento sea duradero y efectivo, se le debe hacer un tratamiento previo a la superficie.

4-RECEPTOR

Para la construcción del receptor procedimos de la siguiente forma, sea este de polietileno o polipropileno: formamos un enrejado de tubos paralelos, tan próximos entre sí como fué posible (tubos de 1/2 pulgada de diámetro). Los extremos de éstos son conectados a tubos del mismo material de mayor diámetro (1,5 pulgadas), dispuestos en forma transversal. Cumplen la función de distribuidores. La conexión entre los tubos de 1/2 pulgada y los tubos colectores se efectúa mediante soldadura por termofusión, si los primeros son de polipropileno, y mediante un conector apropiado ligado al tubo de polipropileno también por termofusión, si se trata de un enrejado de polietileno. El enrejado de polipropileno recibió entonces el tratamiento de superficie y la pintura, negro mate; luego se introdujo en la caja con las aislaciones correspondientes. Una placa de vidrio sellada completa el colector. En el caso del enrejado de polietileno, se ubica sin ningún tipo de aditamento.

5-EXPERIENCIAS

En una primera etapa se construyó, a modo de ensayo preliminar, un receptor de polipropileno de pequeñas dimensiones, con un enrejado de 14 tubos de 87 cm de longitud, que instalado en la caja conformaba un colector de $0,39 \text{ m}^2$ de superficie. Este fué comparado con otro de iguales dimensiones cuyo receptor se hizo en acero inoxidable. Ambos se conectaron con sendos termotanques de 20 litros para funcionar por termosifón, manteniendo la simetría en la instalación y la recepción de radiación. El calentamiento fué controlado mediante 5 termocuplas ubicadas en el eje del termotanque, igualmente espaciadas y con registro automático cada 30 minutos.

Las medidas se repitieron cinco días con temperaturas iniciales entre 12 y 35 grados. Este es un intervalo representativo de un calefón solar en uso. Los resultados indican que el colector con receptor de inoxidable colecta un 8% mas de energía que el de polipropileno, con una dispersión del 2% en las medidas. La repetición de los resultados con distintas temperaturas de arranque (dentro del intervalo mencionado), son similares, lo que indica un comportamiento semejante en función de la temperatura.

Por último, el seguimiento del enfriamiento nocturno, permitió verificar condiciones similares, ya que el calor perdido por los termotanques era igual dentro de los errores experimentales.

La tabla III muestra los datos promedios de las temperaturas en

los termotanques de dos de los días medidos. Estos pequeños calefones se mantienen operando desde hace un año, sin observarse alteraciones en su rendimiento o deterioro de sus partes.

Primer día

Hora	Tem Amb (°C)	Tem PP(°C)	Dif(°C)	Tem Ac(°C)	Dif(°C)
11	13.2	32.94		34.34	
			+12.46		+13.66
17	19	45.40		48.0	
			-10.20		-10.50
07(*)	12.5	36.0		37.5	

Segundo día

10	13.2	32.08		34.12	
			+20.72		+21.90
17	21.6	52.80		56.05	
			-15.30		-14.80
09(*)	10.5	37.50		41.2	

(*)del día siguiente.

TABLA III-Desempeño de los calefones de dimensiones pequeñas, donde Tem PP y Tem Ac corresponden a los valores medios de las temperaturas en el interior de los termotanques, conectados a los colectores de ambos tipos respectivamente.

Dado el buen resultado del ensayo preliminar, se decidió construir un colector prototipo de 2 m² de superficie en polipropileno. Para ello se utilizaron 36 tubos de 1.87 m de largo. El enrejado construido y tratado como en el caso anterior, se sujetó a la caja mediante una línea transversal ubicada a 2/3 de la base.

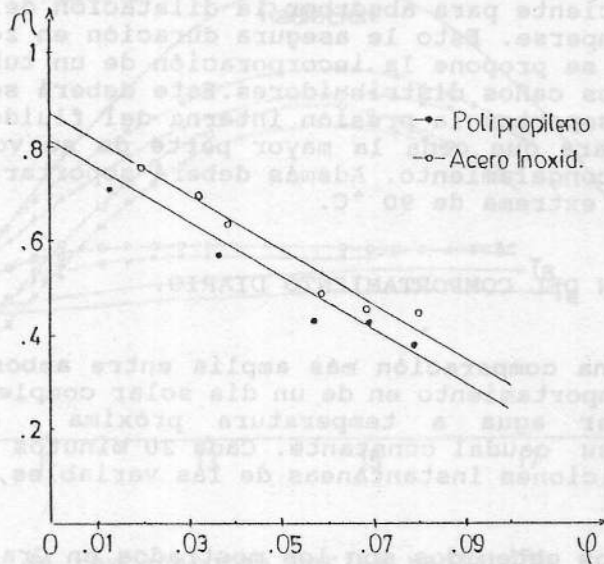
Luego se determinó su eficiencia haciéndole circular agua en un banco de pruebas disponible a tal fin. El mismo permite ingresar el agua al colector a través de un sistema termostatzado a la temperatura deseada y a presión constante.

Un colector de acero inoxidable (el receptor) de 2 m² de superficie, se expuso simultaneamente en las mismas condiciones de radiación y circulación de agua.

Los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica I, en la que cada valor es el promedio de entre 25 y 30 determinaciones individuales y consecutivas, efectuadas en las proximidades del mediodía solar. En esta gráfica se observa un rendimiento levemente superior en el colector de acero inoxidable (entre un 7% y un 12%), presentando una dispersión del 7% el polipropileno y del 3% el acero inoxidable.

Los datos de la Gráfica I se obtuvieron en la primavera de 1989. En esta época del año, en San Luis, los días soleados vienen acompañados por lo general de viento, de manera que algunos de estos

fueron tomados con velocidades en el límite de 4.5 m/s. De todos modos la finalidad era comparar el colector propuesto con otro conocido cuyas curvas de eficiencia se han obtenido en otras instituciones (CNIE).



GRAFICA I - Curvas de eficiencia para transformar la energía solar en térmica de colectores de 2 m² de superficie con receptores de tubos de polipropileno y de acero inoxidable.

La curva de eficiencia para el polipropileno es prácticamente paralela y se encuentra levemente por debajo de la del acero inoxidable (un 7%), de lo cual concluimos que este podría constituirse en un sustituto aceptable desde el punto de vista de su eficiencia.

Comparación con medida de la CNIE:

De la comparación de las medidas de eficiencia de colectores de acero inoxidable medidas en el banco de pruebas de la CNIE y en nuestros laboratorios siguiendo la Norma IRAM 210 002, se observó lo siguiente:

- a) Que la pendiente de ambas son próximas.
- b) Que la curva obtenida por CNIE se encuentra debajo en un 16% de la obtenida en nuestro laboratorio, porcentaje algo mayor para altos valores de la abscisa.

Constante de tiempo

Dado que se conocía este parámetro, medido por CNIE, para el colector de acero, se decidió determinar la constante de tiempo del colector de polipropileno. Resultó ser de unos 19,2 minutos, o sea 2,75 veces mayor que la del colector de acero que es de 7 minutos. Esto es compatible con la mayor inercia térmica del polipropileno con respecto al acero inoxidable y con el hecho que este colector contiene mas agua (13.5 L) que el de acero (7.85 L).

Congelamiento

Como se aprecia que este colector de polipropileno no podría resistir las presiones de un congelamiento completo sin romperse, se pensó que esto podría solucionarse dejando una cámara de aire en los tubos distribuidor inferior y colector superior. Se determinó que si esta cámara es del 7% del volumen de agua del colector, es suficiente para absorber la dilatación del agua al congelarse sin romperse. Esto le asegura duración en zonas de heladas. Para lo cual se propone la incorporación de un tubo flexible a lo largo de ambos caños distribuidores. Este deberá ser lo suficiente rígido para soportar la presión interna del fluido sin deformarse y flexible para que ceda la mayor parte de su volumen cuando se produzca el congelamiento. Además deberá soportar una temperatura de operación extrema de 90 °C.

6- EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DIARIO.

A) Colector

Para tener una comparación más amplia entre ambos colectores, se evaluó su comportamiento en de un día solar completo. Para ello se hizo circular agua a temperatura próxima a la ambiente, manteniendo su caudal constante. Cada 20 minutos se efectuaba una tanda de mediciones instantáneas de las variables, entre las 9 hs. y las 17 hs..

Los resultados obtenidos son los mostrados en Grafica II. En ella se verifica en primer lugar, que el colector de PP tiene mas inercia térmica que el de acero inoxidable. Esto se aprecia mejor al observar la separación de las curvas de eficiencia. Por la mañana, estas difieren en unos 15 puntos (entre las 9 y las 9,30 hs.), para luego reducirse y tomar en el intervalo del medio día los valores ya conocidos, de unos 5 puntos. A partir de las 15 hs. se aprecia un leve aumento en la eficiencia del PP como consecuencia de su mayor inercia térmica ya mencionada y la caída de la radiación solar. Hacia las 16 hs. la eficiencia del PP supera levemente al colector de acero. Esto mismo se observa en las curvas de potencia extraída y temperaturas de los colectores.

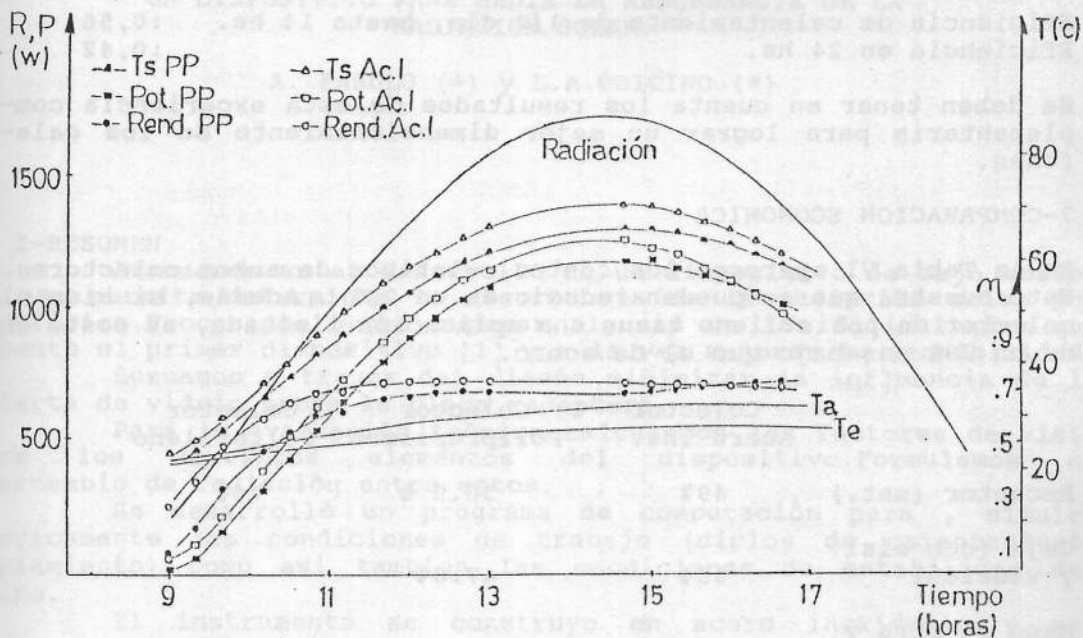
B) Calefón solar

En una segunda etapa, se incorporó el colector de PP a un termotanque de capacidad aproximada 90 litros, para conformar un calefón solar, funcionando por termosifón, con el termotanque 5 cm por sobre el nivel superior del colector. Se determinó la eficiencia global de las siguientes formas.

a) Con colector completamente soleado y sin extracción.

a1) Eficiencia desde las 9,20 hs a las 18 hs., (horas de calentamiento). El salto térmico medio fue desde 27,7 C a 68.5 C. La eficiencia fue 0,21

a2) Eficiencia desde las 9.20 a las 14 hs. (1/2 día). El salto térmico fue de 36,6 C. La eficiencia fue 0,44.



GRAFICA II. Curvas de temperaturas variadas, radiación y eficiencias de los colectores de acero y polipropileno en un día (Ta: temp. ambiente, Te: temp. de entrada del agua)

La pérdida de temperatura media durante la noche fue de 3 C. o sea 1,05 MJ.

a3) Eficiencia en 24 hs. El salto térmico fue de 37,8 C. La eficiencia alcanzada fue de 0,19

De esta experiencia surgió claramente que la temperatura requerida se alcanza a las 13 hs. Por ello se realizó a continuación, una medición extrayéndole al mediodía 50 litros a 50 C, observándose que se alcanzaba la misma temperatura al final del día. ante ello, se variaron las proporciones del colector, tapando el 40% de éste, o sea que quedó reducido a un colector de 1,20 m².

Las eficiencias por hora fueron las que se muestran en la siguiente tabla.

Hora	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Efic.	0,04	0,77	0,54	0,56	0,51	0,45	0,37	0,21	0,06

TABLA V - Eficiencias medias horarias del calefón .

En este caso se observó un mejor aprovechamiento de la energía a lo largo del día, lo que se hizo más evidente al analizar las siguientes eficiencias:

Eficiencia de calentamiento total, de 9.20 hs. a 18 hs.: 0,46

Eficiencia de calentamiento de 1/2 dia, hasta 14 hs. :0,56
 Eficiencia en 24 hs. :0,42

Se deben tener en cuenta los resultados de esta experiencia complementaria para lograr un mejor dimensionamiento de los calefones.

7-COMPARACION ECONOMICA

En la Tabla VI aparecen los costos relativos de ambos colectores. Esto muestra que se pueden reducir en un 26% . Además, si bien el colector de polietileno tiene una aplicación limitada, su costo es de un 78% mas bajo que el de acero.

	Colector Acero inox.	Colector Polipropileno	Colector Polietileno
Receptor (mat.)	49%	30.9 %	76%
Caja (con aisl. y vidrios)	35%	47.8%	---
Mano de obra y gastos grales.	16%	21.1%	24%
Total comparativo	100%	73.9%	22%

TABLA VI - Costos relativos comparativos de los colectores

8-CONCLUSIONES

Se dispone ahora de un nuevo material para la construcción de receptores de colectores solares, caracterizados por:

- 1) Buen rendimiento
- 2) Bajo costo.
- 3) Fácil construcción
- 4) Buena durabilidad

La novedad aportada es la que hace a los puntos 1 y 4 .Esto abre la posibilidad de ensayos con otros plásticos y/o diseños, que pueden mejorar mas la faz económica.

9-BIBLIOGRAFIA

- [1] Colección Plana de Energía Solar.
A. Fasulo, M. Marcolini y O. Gomez.
Actas 2da Reunión de Trabajo de ASADES.
- [2] Termoplásticos Reforzados - W.Tetow y B.Lanhan -Ed.
América