

## COLECTOR ACUMULADOR SOLAR PORTÁTIL DE BAJO COSTO<sup>#</sup>

G.Figueroa, C. Placco, M. Gea y L. Saravia  
Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO - CONICET)  
Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 – Salta  
Tel - Fax 0387-4255489 e-mail: figueroaoscargerardo@yahoo.com.ar

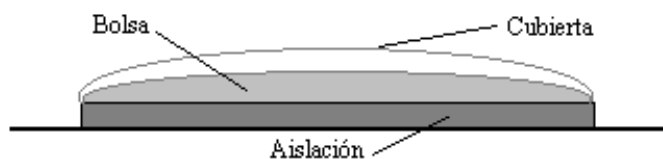
**RESUMEN:** En este trabajo se estudia un calefón solar portátil y de bajo costo. Para ello se construyó un equipo cuyo colector acumulador es una bolsa de PVC, la cubierta transparente es de plástico de invernadero y el aislante térmico posterior es una placa de polietileno expandido. Se realizó un estudio experimental a fin de determinar la eficiencia del sistema para distintas condiciones de temperatura ambiente y radiación solar. Se elaboró un modelo teórico y se realizaron simulaciones que permiten predecir la performance del sistema para distintas condiciones de funcionamiento. Se encontraron valores de eficiencia interesantes en relación al bajo costo del equipo. Se utilizaron materiales livianos y flexibles por lo que el equipo es fácilmente transportable.

**Palabras clave:** energía solar, colector acumulador, bolsas de PVC.

### INTRODUCCION

En un trabajo anterior sobre calentamiento de agua con energía solar se construyó y estudió un colector acumulador hecho con bolsas de PVC (Gea et al, 2005). Se encontraron características favorables del sistema en cuanto a bajo costo, eficiencia y sencillez constructiva. Además se comprobó la durabilidad de los colectores debido a la resistencia del PVC a la radiación ultravioleta y a las acciones mecánicas y térmicas. A partir de estos resultados se decidió la construcción y ensayo de un colector acumulador en una escala de tamaño menor, para agua caliente de uso sanitario.

Este está formado por una bolsa de PVC delgada de color negro. La cara que se expone al sol está cubierta con plástico de invernadero, formando entre las dos superficies una cámara de aire. La otra cara de la bolsa está aislada térmicamente con una lámina flexible de polietileno expandido (figura 1).



*Figura 1: Esquema básico del colector acumulador. La bolsa es de PVC, la cubierta es de plástico de invernadero y el aislante inferior es de polietileno expandido.*

El diseño del sistema fue pensado para una utilización discontinua: se carga inicialmente la bolsa con agua y cuando ésta alcanza la temperatura esperada, se descarga. La relación área de colección - volumen elegida permite alcanzar las temperaturas deseadas en pocas horas por lo que el sistema puede funcionar con más de un ciclo diario.

El equipo es liviano y plegable de manera que puede ser fácilmente transportable. Puede ser colgado verticalmente o colocado sobre una superficie horizontal o inclinada. Sus aplicaciones pueden ser variadas: desde camping y náutica hasta uso domiciliario, especialmente en localidades sin red de agua. Puede construirse de distintas dimensiones según la aplicación que se le desea dar: precalentamiento de agua para cocción de alimentos, aseo personal, lavadero o para cualquier otro uso que requiera temperaturas entre 40 C y 60 C, con volúmenes que van desde decenas hasta cientos de litros.

<sup>#</sup> Trabajo parcialmente financiado por la ANCyT

Para este estudio se construyeron dos colectores de distintas escalas, uno pequeño para una carga máxima de 10 litros y uno grande de hasta 300 litros. Se realizaron estudios experimentales y se elaboraron modelos y simulaciones.

### DETALLES CONSTRUCTIVOS Y EXPERIMENTALES

Los colectores acumuladores de los equipos están formados por bolsas de PVC negro. El más grande tiene un área de 3 m<sup>2</sup> y fue ideado para usarse en forma horizontal. La cantidad de agua a cargar dependerá de las necesidades y de las condiciones de radiación y temperatura ambiente. Por ejemplo, si se cargan 150 litros, el espesor medio de la bolsa cargada es de 5 cm.

Las dimensiones de la bolsa del colector acumulador de 10 litros es de 70 cm x 110 cm. Dimensiones de este orden permiten, a diferencia del colector grande, posiciones distintas de la horizontal. Incluso se puede colgar verticalmente. Para que la bolsa mantenga el espesor delgado, se realizaron soldaduras transversales formando canales de ancho creciente, como se ve en la foto de la figura 2. Las soldaduras no abarcan todo el ancho de la bolsa, de manera que quedan formados canales laterales para la circulación del agua.

Para la carga y descarga de agua se practicaron dos perforaciones en la parte posterior, ubicadas en ángulos opuestos del rectángulo. Se colocaron bridas de 1/2" con juntas de plástico flexible y codos de 90°. El codo superior va cerrado con un tapón y el inferior lleva conectada un canilla. La entrada y salida del agua se realiza por la canilla y el tapón se abre para expulsar el aire durante la carga y para facilitar la descarga (figura 2).

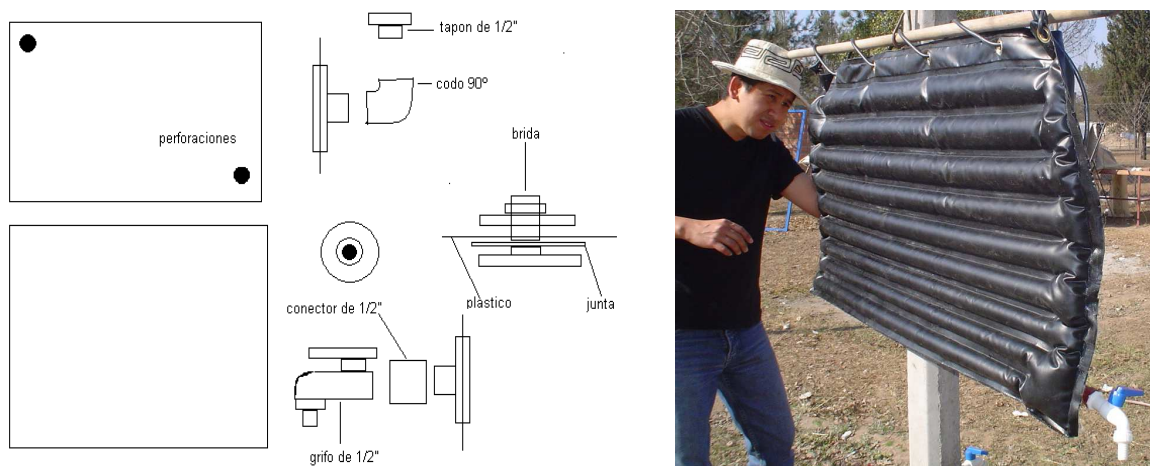


Figura 2: A la izquierda, detalles constructivos del equipo. A la derecha, foto del colector acumulador sin el aislante térmico.

Como cubierta transparente de los colectores se utilizó plástico de invernadero de 400 micrones que se pegó mediante dobleces en la parte inferior de la bolsa. Entre la bolsa y la cubierta queda formada una cámara de aire que actúa como aislante térmico de la parte superior. Para el aislante térmico de la parte inferior se utilizó una plancha de polietileno expandido de 1 cm (figura 3).



Figura 3: Vistas del aislante inferior de polietileno expandido y de la cubierta transparente de plástico de invernadero.

El estudio experimental se realizó sobre el equipo más chico, cargado con 9,5 litros y apoyado sobre una superficie inclinada a 40°. Se midieron temperaturas y radiación solar sobre el plano del colector. Se tomaron medidas a través de un sistema formado por una PC conectada con un módulo de adquisición de datos ADAM 4018 para las termocuplas y un ADAM 4011 para el solarímetro Kipp y Zonen CM10. Se utilizaron 4 termocuplas: la primera se colocó entre la cubierta y la bolsa, la segunda entre la bolsa y el aislante, la tercera tomó la temperatura ambiente, y la cuarta se utilizó para medir la temperatura inicial y final del agua.



Figura 4: Equipos terminados. A la izquierda el colector acumulador de hasta 10 litros y a la derecha el de hasta 300 litros.

## MODELO Y SIMULACIÓN

Para la simulación de los circuitos que conforman el modelo térmico se utilizó el programa Simusol (Saravia L. y Saravia D., 2000). Este programa fue inicialmente desarrollado para el estudio de sistemas solares a parámetros concentrados desde el punto de vista térmico. Sin embargo puede ser usado para otros sistemas físicos como eléctricos, hidráulicos, de humedad, etc. También es posible mediante Simusol estudiar sistemas con magnitudes físicas mezcladas.

La simulación de un sistema térmico con Simusol se realiza a través de dos etapas. En la primera se dibuja el circuito equivalente del sistema en un diagrama. En esta hoja se definen además los valores de los elementos del circuito en un cuadro de datos, las condiciones iniciales, las condiciones de borde, la rutina de integración y los parámetros a estudiar. En una segunda etapa, el programa interpreta la hoja de datos del circuito y calcula la evolución de las variables térmicas en el tiempo (temperaturas o flujos de calor) utilizando como datos de entrada archivos con los valores medidos (temperatura ambiente, radiación solar, humedad, etc). Los resultados son presentados en archivos con tablas y en gráficos.

Para elaborar el circuito térmico que modela el sistema del colector acumulador, se supuso que la temperatura del agua es uniforme en toda la bolsa. En las figuras 5 y 6 la temperatura del agua corresponde al nodo 33, la temperatura del ambiente al nodo 5, la temperatura entre la parte inferior de la bolsa y el aislante al nodo 23.

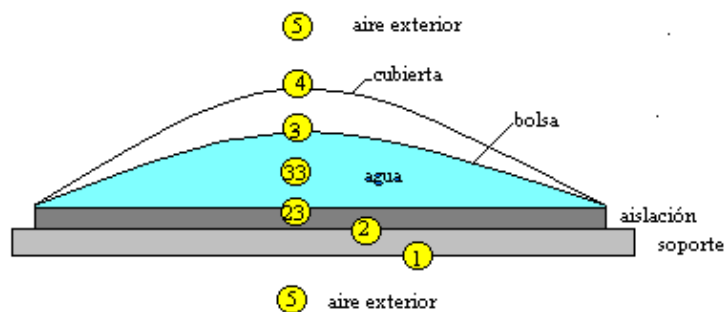


Figura 5: Esquema del sistema. Ubicación de nodos de temperatura.

La temperatura ambiente está determinada por la fuente E5 y sus valores se extraen de un archivo con datos experimentales. E6 representa la temperatura de cielo, estimada 17 C menor que la ambiente. La radiación total incidente está afectada por la transmitancia de la cubierta, por lo tanto la fuente de calor J3 representa la radiación absorbida por la bolsa de PVC, y la fuente J3

la absorción de radiación en la cubierta translúcida. La temperatura de la cubierta está indicada con el nodo 4 y la de la superficie absorbidora (parte superior de la bolsa), con el nodo 3. El acumulador C1 representa la inercia térmica del agua.

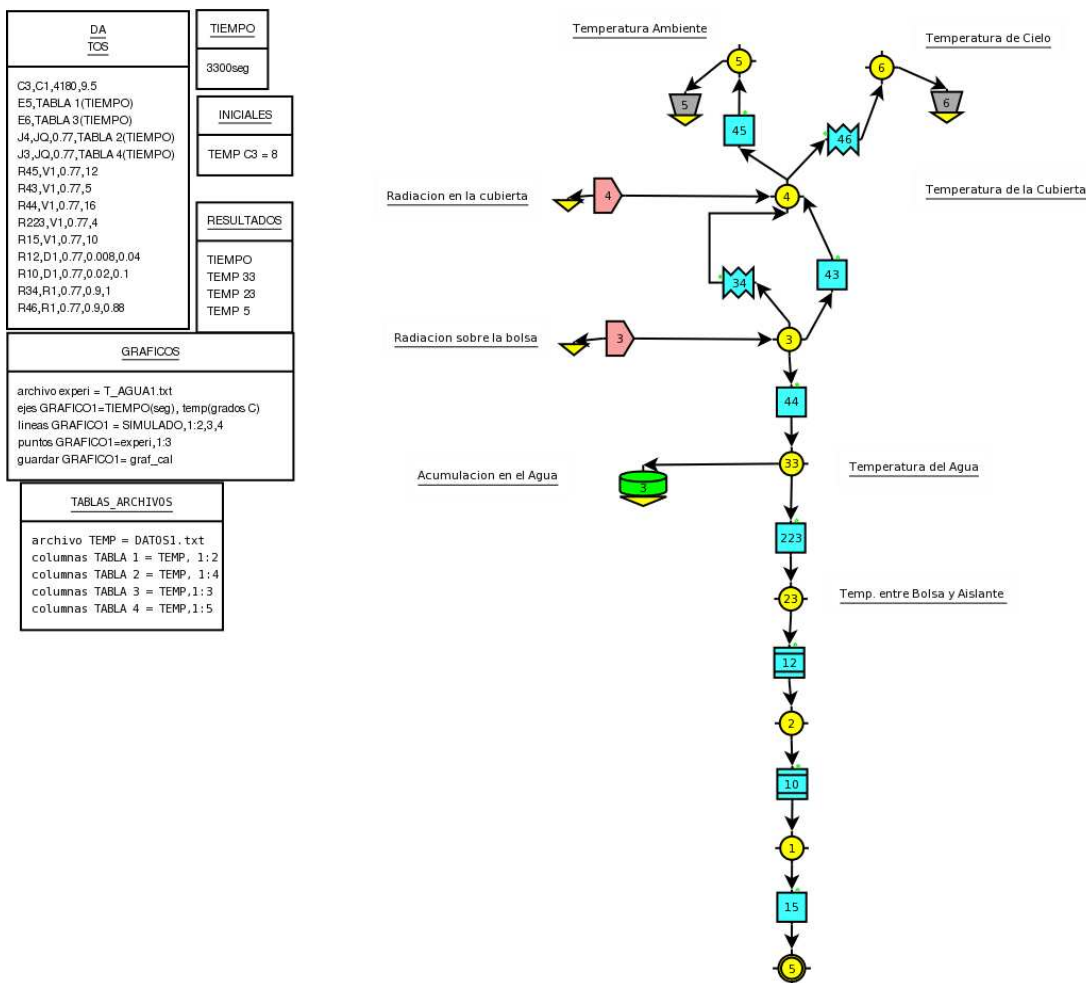


Figura 6: Circuito térmico del sistema para Simulol

Las transferencias convectivas están representadas por las resistencias R15, R45: convección al aire exterior; R44, R223: convección en el agua y R45: convección al aire entre la cubierta y la bolsa. R34 es una resistencia radiativa entre la superficie absorbidora y la cubierta, mientras que R46 es una resistencia radiativa al cielo. Las resistencias R12 y R10 representan transferencias conductivas en el aislante y en el soporte de madera, respectivamente. Este soporte mantenía el colector en una posición inclinada 40° con la horizontal, por tal motivo el último nodo del circuito, es un nodo repetido (5) y corresponde a la temperatura ambiente.

Para el caso en el cual el prototipo se encuentra en posición horizontal sobre el suelo, el circuito correspondiente al modelo sufre algunas modificaciones: el nodo 2 corresponde ahora a la temperatura entre la aislación y el suelo; se agrega otro acumulador C2 que representa la inercia térmica del suelo; el nodo 1 corresponde a la temperatura a 1 metro de profundidad en el suelo determinada por una nueva fuente E1 a la temperatura media estacional.

Los datos experimentales obtenidos de la temperatura entre la superficie inferior de la bolsa de PVC y el aislante, y las temperaturas inicial y final del agua fueron comparados con los resultados de la simulación. El ajuste del modelo, se obtuvo a través de la estimación de los coeficientes de transferencia convectivos.

## RESULTADOS

Los resultados de la simulación y la comparación con los valores experimentales se presentan en la figura 7. La diferencia que se observa en los primeros segundos se debe a que las mediciones se inician antes de cargar el agua en el colector acumulador. Durante el resto del tiempo la simulación reproduce ajustadamente los valores medidos de temperatura inferior de la bolsa.

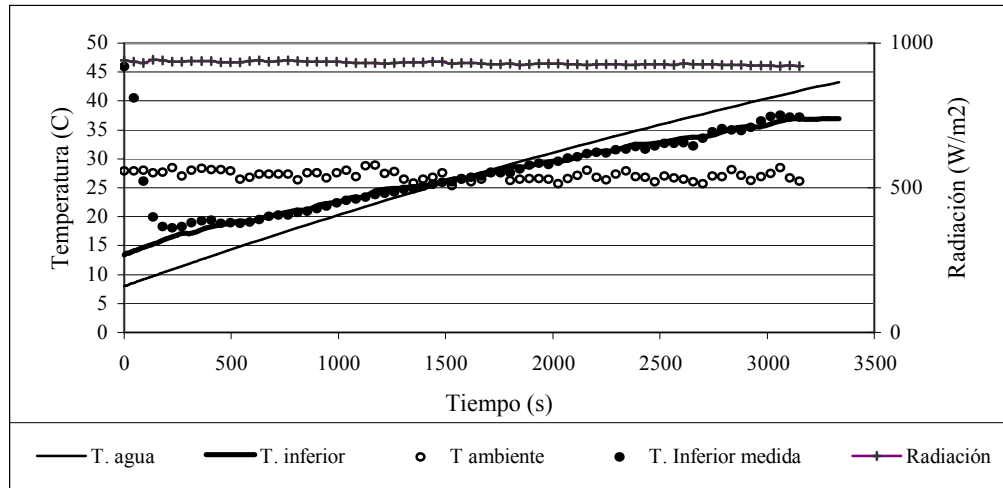


Figura 7: Resultados de la simulación y comparación con valores experimentales.

A partir del modelo elaborado se extrapoló el comportamiento del sistema para otras condiciones de funcionamiento. Se construyó una curva de eficiencia del colector (figura 8), representando en el eje horizontal el cociente de la diferencia de temperaturas entre el agua y el ambiente sobre la radiación incidente sobre plano del colector. La temperatura del agua elegida es el promedio entre la temperatura inicial y final para un determinado período  $\Delta t$  de calentamiento. Los valores de temperatura ambiente y radiación solar tomados son los promedios para dicho período:

$$X = (T_{\text{agua}} - T_{\text{ambiente}}) / I \quad (1)$$

$X$  = Coordenada horizontal en el gráfico de eficiencia ( $C / W/m^2$ )

$T_{\text{agua}}$  = Temperatura promedio del agua (C)

$T_{\text{ambiente}}$  = Temperatura ambiente (C)

$I$  = Radiación solar ( $W/m^2$ )

En el eje vertical se grafica la eficiencia del colector acumulador definida como el cociente entre la energía colectada y acumulada en el período  $\Delta t$  sobre la energía solar incidente sobre el plano del colector durante dicho período:

$$\mathcal{E} = m C_p (T_f - T_i) / (I A \Delta t) \quad (2)$$

$\mathcal{E}$  = Eficiencia del colector acumulador

$m$  = Masa de agua calentada (kg)

$C_p$  = Calor específico del agua ( $J / kg C$ )

$T_f$  = Temperatura final del agua (C)

$T_i$  = Temperatura inicial del agua (C)

$A$  = Área del colector ( $m^2$ )

$\Delta t$  = Tiempo de calentamiento (s)

Para la determinación de los puntos de la gráfica se eligieron valores fijos de radiación solar, área de colector y masa de agua y se eligieron períodos de 1 hora, 1 ½ horas y 2 horas, y valores de temperatura para condiciones típicas de funcionamiento. Se utilizó una relación masa de agua sobre área de colector:  $m / A = 12,3 \text{ kg} / m^2$ , y una radiación solar:  $I = 900 \text{ W}/m^2$ .

A fin de ilustrar el la performance del sistema se presenta en la figura 8 las curvas que permiten obtener el tiempo que duraría el ciclo entre carga y descarga para una situación particular. Se eligieron valores comunes para temperatura del agua. Se tomó 15 C para la temperatura del agua cuando se carga el equipo y 40 C como temperatura final, que puede ser la utilizada para aseo personal. Se tomó la relación masa de agua / área de colector igual a  $12,3 \text{ kg} / m^2$ . Del gráfico puede obtenerse cuánto tiempo demora el agua en alcanzar la temperatura deseada para distintas condiciones de temperatura ambiente y radiación solar sobre el plano del colector.

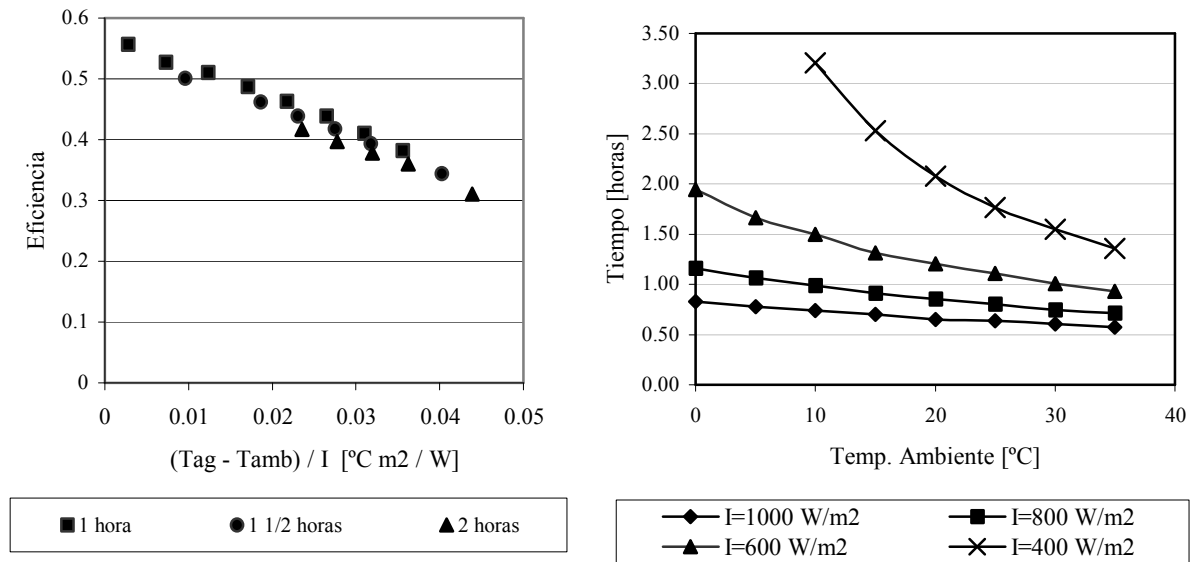


Figura 8: Izquierda: eficiencia del colector acumulador para distintos períodos de funcionamiento. Derecha: tiempo requerido para elevar la temperatura del agua desde 15 C hasta 40 C para distintos niveles de radiación solar sobre el colector.

## CONCLUSIONES

Es de destacar el bajo costo y la sencillez constructiva del colector acumulador en relación a la eficiencia obtenida. Ésta varía entre el 40 % y el 60 % en las condiciones comunes de funcionamiento. Los materiales utilizados son accesibles tanto en costo como en disponibilidad y la construcción es simple.

La característica de que los equipos sean plegables o enrollables y livianos permite que sean portátiles, lo que les da una amplia gama de posibilidades de uso.

El modelo elaborado quedó validado con los datos experimentales y la simulación permitirá diseñar equipos y predecir su funcionamiento bajo distintas condiciones de trabajo.

## REFERENCIAS

- M. Gea, G. Figueroa, R. Caso y L. Saravia (2005). "Colector acumulador solar de bolsas de PVC con agua". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9, pp. 3.01 – 3.05.  
 Saravia L. y Saravia D. (2000). "Simulación de sistemas solares térmicos con un programa de cálculo de circuitos eléctricos de libre disponibilidad". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, pp. 8.17 – 8.23.

## ABSTRACT:

Portable and low cost hot water solar collector was studied. A PVC bags collector was built and its efficiency was determined. A theoretical model was elaborated and simulations were carried out to predict the system performance under different operating conditions. Interesting efficiency values in relation to the low cost of the equipment were obtained. Light and flexible materials were used in order to make a portable equipment.

**Keywords:** solar energy, solar storage collector, PVC bags