

# Eficiencia térmica de un calefón solar construido con voluntarios universitarios.

**Noemi Sogari**

*GIESMA. FaCENA.*

*Universidad Nacional del Nordeste – Argentina*

[noemisogari@gmail.com](mailto:noemisogari@gmail.com)

**Eduardo Ricciardi**

*GIESMA. FaCENA.*

*Universidad Nacional del Nordeste – Argentina*

[ejricciardi@gmail.com](mailto:ejricciardi@gmail.com)

## ABSTRACT

*This work exposes the first results of the solar thermal efficiency of water's heaters, built by teachers and students of the Faculty of Exact Sciences during a volunteer program dependent on the Secretariat of University Policies.*

*The construction of the solar heaters was made with low cost materials and available in any local commerce. The system is monitored using a data acquisition built by students of the electronic engineering career as a final project work topic. The study of the functioning of the system was carried out by measuring and storing the relevant variables: temperatures throughout the collecting area, water's temperature at the collector and in the container tank, ambient temperature and solar radiation, which allowed obtaining the collector thermal performance of 45%. No inconveniences have been recorded in the operation so it is concluded that the construction of solar heating has been successful and optimal to improve the quality of life of families, educational institutions, health posts settled primarily in rural areas.*

**Keywords:** *solar heater; energy; solar energy.*

## 1. INTRODUÇÃO

Una de las formas de consumo energético importante en las viviendas es el calentamiento de agua, para la higiene personal y en algunos casos también para el lavado de utensilios usados en la cocina. En promedio se considera que un consumo típico es del orden de los 40 litros por día y persona.

En los últimos 10 años, en la Argentina, las fuentes de energías renovables, particularmente la solar, se han convertido en alternativas, para el desarrollo de aplicaciones que favorecen el cuidado del medio ambiente y la economía local. La adquisición de un calefón solar en el mercado significa para el usuario entre \$USD 570 – 700 sin considerar la instalación, un costo inaccesible para integrantes de comunidades rurales que viven de la producción agrícola ganadera en pequeña escala.

El Grupo de Investigación GIESMA, a través de un Programa Voluntariado de la SPU, propuso capacitar a los integrantes de comunidades educativas y rurales en la construcción e instalación de calefones solares. La capacitación propuesta estuvo dirigida a todos los actores involucrados, a los estudiantes voluntarios universitarios, quienes reforzaron los conceptos de la termodinámica aplicados al proceso de transferencia y transformación de la energía solar a la térmica; a los integrantes de

comunidades rurales, sobre todo a las de menor ingreso, quienes pudieron acceder al empleo de este tipo de energía renovable generando en el hogar un ahorro significativo en el consumo de gas; los alumnos de escuelas técnicas quienes construyeron los calefones solares y colaboraron en la instalación de los mismos; alumnos de la carrera ingeniería electrónica quienes realizan sus proyectos finales construyendo dispositivos como adquisidor de datos para el monitoreo, del profesorado en ciencias físicas para explicar transferencia del calor a los alumnos del nivel medio.

## 2. SISTEMA SOLAR PARA CALENTAR AGUA

El calentamiento de agua usando la energía solar, se ha convertido en una solución para aquellas familias que no poseen suministro eléctrico o de gas, como también para quienes usan energías convencionales, siendo además una opción a la hora de pensar en ahorro de dinero en el pago del consumo.

Las instalaciones de los calefones solares en los hogares presentan una sencillez constructiva tal que permite ser fabricados por los mismos propietarios.

El sistema, básicamente, está formado por un colector solar y un tanque almacenador de agua.

### 2.1. El colector solar

El colector solar es el elemento encargado de absorber la energía proveniente del Sol y calentar al fluido (Carvalho, M.J 2000). Las partes constitutivas son: un marco perimetral metálico o de madera, contenedor de una superficie transparente a la radiación solar, seguido de un cuerpo negro que absorbe los rayos del sol calentando el medio que rodea a los tubos conductores de agua. La superficie traslúcida permite entrar los rayos solares pero no salir del colector, produciendo un efecto invernadero, aumentando la temperatura dentro del colector, y así la del agua.

El colector construido constó de un marco perimetral de madera que encerró una superficie de 2 m<sup>2</sup>. En la parte superior se ubicó una policarbonato alveolar como superficie traslúcida a la radiación solar, en su parte inferior se insertó una superficie de tergalpol de 2 cm de espesor, sobre este una chapa galvanizada pintada de negro y a 2 cm de él los tubos de PVC transportadores de agua.

### 2.2. El tanque contenedor

Este tanque no solo debe almacenar el agua caliente proveniente del colector, sino que además debe conservar su temperatura. Para lograr este objetivo basta con rodear el recipiente con material aislante de al menos 10 cm de espesor.

La dimensión del tanque de almacenamiento dependerá del consumo estimado y deberá guardar proporcionalidad con la superficie del colector a utilizar.

### 2.3. El funcionamiento.

El principio de funcionamiento es sencillo, se basa en el aprovechamiento de la energía calórica que contiene la radiación solar. La superficie de color negro, ubicada en el interior del colector, absorbe la mayor cantidad posible de energía solar y la emite en proporción similar hacia el interior calentando los tubos que transfieren calor al agua, por ellos, transportada. Además, debido al policarbonato, la radiación queda atrapada en el interior del colector produciéndose el efecto invernadero, lo que

contribuye al aumento de la temperatura del fluido. El agua caliente, de menor densidad se transporta al tanque térmicamente aislado para su uso posterior (Duffie – Beckman 2001).

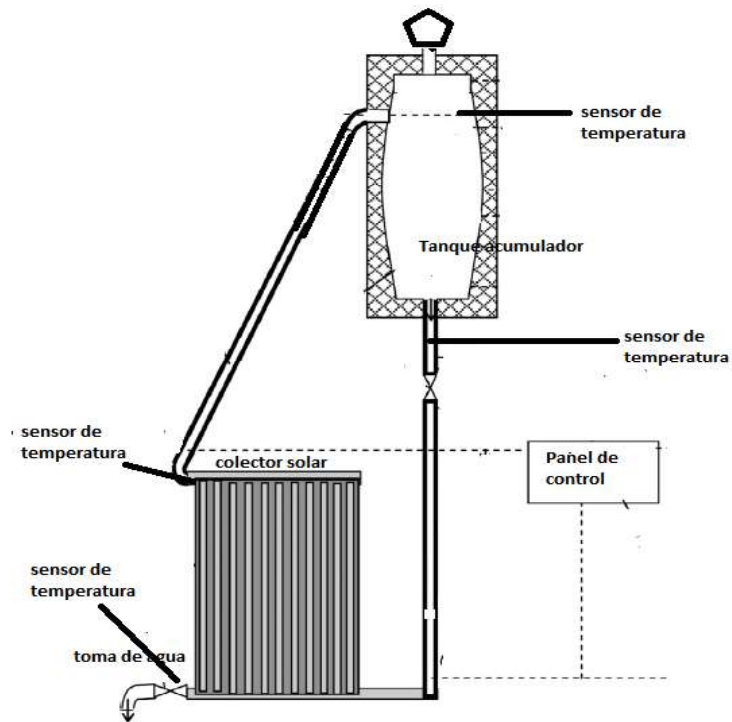


Figura 1. Esquema del sistema calefón solar



Figura 2: Construcción y puesta en funcionamiento del sistema calentador de agua

## 2.4. Rendimiento del calefón solar.

En la actualidad, la determinación del rendimiento de un calefón solar se realiza aplicando las normas sugeridas por Duffie J. y Beckman W. -2001. Para ello se determina la energía total ganada por el termotanque durante las horas de sol, esto es igual a la energía ganada por el colector y cedida al termotanque, menos las pérdidas térmicas del termotanque durante ese período del día.

## 2.5. Materiales y métodos

Los calefones solares se ubicaron en el predio del campus universitario. La determinación del lugar correcto lo realizó el grupo de alumnos avanzados de la carrera Ingeniería en Agrimensura bajo la supervisión del docente responsable de la asignatura Mediciones especiales y Cartografía. La orientación elegida fue coincidente respecto de la proyección sobre el horizonte del Meridiano local  $58^{\circ}57'$ , línea Norte-Sur y la inclinación se dedujo de un promedio de los ángulos cenitales del pasaje del sol por el meridiano local o sea al momento de culminación. Para este promedio se eligió la época correspondiente al invierno suponiendo el mayor consumo del calefón. El lugar seleccionado y la trayectoria del sol sobre los sistemas calentadores de agua se muestran a continuación:



Figura 3: Ubicación de los calefones en el predio del campus universitario      Figura 4: Trayectoria de la posición solar

El diseño y la construcción del dispositivo de adquisición de datos se llevó a cabo en torno a una plataforma Arduino, uno de los modelos más potentes del mercado, ofreciendo gran capacidad de procesamiento y un buen número de periféricos de entrada y salida a un buen precio. Cabe mencionar que es un dispositivo con una programación sencilla y de fácil adquisición en el mercado.

El sistema adquirente de datos se registraron temperatura ambiente, temperatura del agua a la entrada y salida del colector, temperatura del agua en el tanque y radiación solar a intervalos regulares de tiempo durante todo el día en distintos meses.

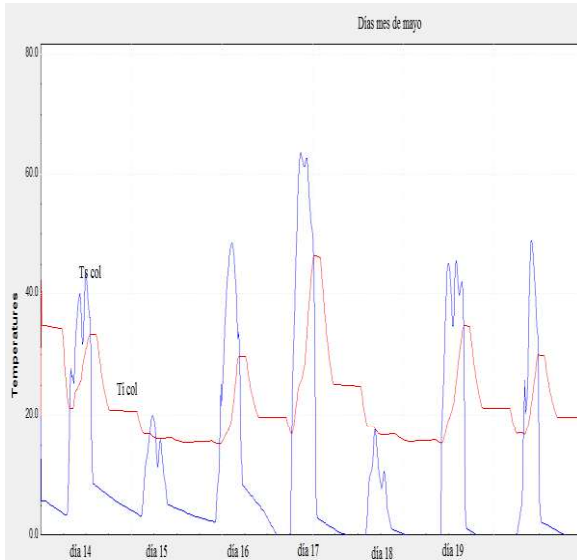


Figura 5: Variação de la temperatura del agua a la entrada y salida del colector

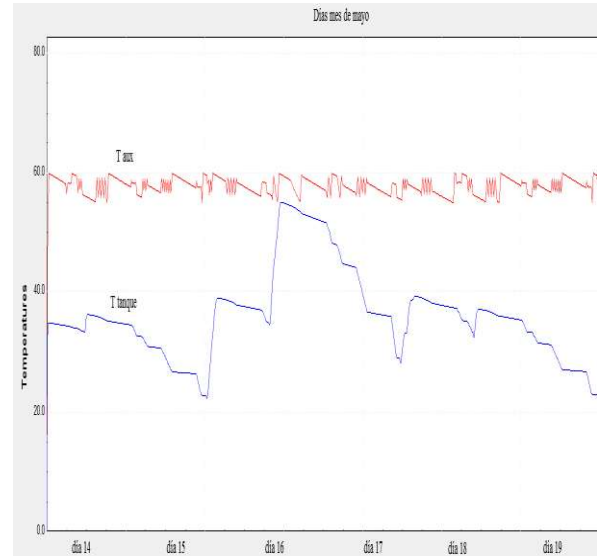


Figura 6: Variação de la temperatura del agua en el tanque térmico y temperatura de la fuente auxiliar.

En la figura 5 se observa que el día 15 correspondiente a un día nublado durante el mediodía solar la temperatura del agua a la salida del colector se incrementó en unos 5 °C, mientras que los días seminublados 14 y 19 la temperatura del agua a la salida del colector se incrementó en promedio 10 °C. Mientras que de acuerdo a la temperatura del agua en el tanque se mantuvo en promedio en los 35 °C. La temperatura del agua a la salida del tanque resultó suficiente para su utilización en la ducha. Es decir, esta temperatura era lo suficientemente alto como para suministrar agua caliente sin usar calefacción adicional.

La figura 6 muestra la variación del rendimiento térmico del colector en función de la diferencia de temperatura del agua a la entrada y salida del mismo. Para calcular el rendimiento térmico se empleó la ecuación de Duffie Beckman (2001)

$$\eta_i = \frac{\dot{m}C_p(T_o - T_i)}{A_c I_T} \quad (1)$$

Donde

$\eta$ :rendimiento

$\dot{m}$ : flujo de agua que circula (kg/seg)

$c_p$ : calor específico del agua (J/kg °C)

$(T_o - T_i)$ : diferencia de temperatura del agua a la salida y entrada del colector ( $^{\circ}\text{C}$ )

$A_c$ : Area del colector ( $\text{m}^2$ )

$I_t$ : intensidad de la radiación solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

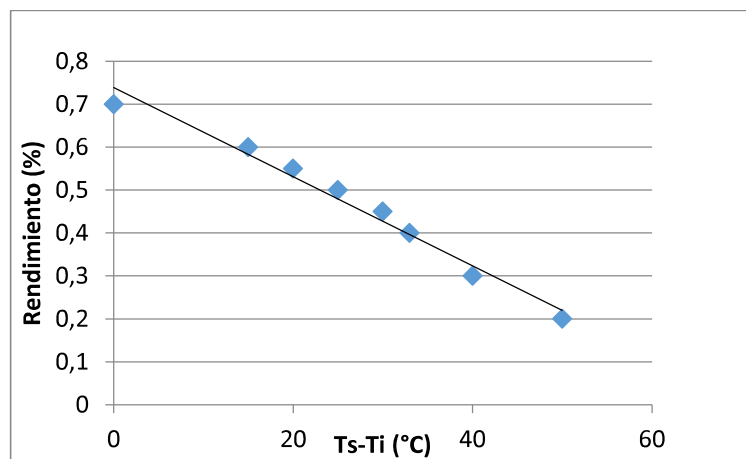


Figura 7: Rendimiento térmico del colector solar en función de la diferencia de temperatura del agua entre la salida y entrada al colector.

Durante los meses de mayo y junio la temperatura del agua en el tanque disminuyó en promedio entre 5 y 8  $^{\circ}\text{C}$ , debido a pérdidas térmicas.

En esta segunda etapa de optimización se tratará de disminuir las pérdidas a los efectos de mantener el agua caliente en el tanque térmico hasta su uso.

### 2.6. Análisis de ahorro energético

La energía necesaria para calentar agua, elevando la temperatura de 10  $^{\circ}\text{C}$  hasta 45  $^{\circ}\text{C}$  fue de:

$$E = 100 \text{ kg} \cdot 4186 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C} (45 - 10) ^{\circ}\text{C} = 14651 \text{ kJ}$$

Es decir que diariamente, bajo condiciones de días completamente soleados, mediante el uso del calefón solar, se ahorraría aproximadamente 14651 kJ.

El tiempo de recuperación durante días de bajas temperaturas (12 – 15  $^{\circ}\text{C}$ ) fue entre 3 y 4 horas. Es decir luego de usarse 80 litros de agua, el sistema tardó el tiempo citado para calentar agua hasta una temperatura entre 30 – 28  $^{\circ}\text{C}$ , pasado el mediodía solar, con  $I = 750 \text{ W}/\text{m}^2$ , indicador práctico del buen funcionamiento del calefón. En este caso la energía necesaria para calentar el agua fue de

$$E = 80 \cdot 4186 \cdot (30 - 15) = 5023 \text{ kJ, energía utilizada de los 5185 kJ disponible del recurso solar.}$$

Durante la noche la temperatura del agua permaneció en promedio entre 18 y 20  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2.7. Conclusões.

Los datos registrados indican que el funcionamiento del colector solar resulta óptimo para calentar agua aún a bajas temperaturas.

Las pérdidas térmicas en el tanque provocan una disminución de la temperatura del agua en 5 a 8 °C, por lo tanto debe analizarse y mejorarse la aislación térmica del sistema contenedor.

La construcción del sistema resultó útil para capacitar a los estudiantes universitarios voluntarios en la construcción de un calefón solar pero también para fortalecer los conceptos de la termodinámica involucrados en el funcionamiento, logrando que la Física como ciencia resulte, para los alumnos, más atractiva al poder aplicarse en solucionar un problema real.

Los materiales usados en la construcción del calefón sumaron un total de \$USD 170, es decir que económicamente resulta accesible para los pequeños productores.

## AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen el apoyo de CYTED - Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo a través de las Redes URBENERE y CIRES.

A la SPU del Ministerio de Educación de la República Argentina que financió la propuesta el marco del programa Voluntariado Universitario 2010, a la Secretaría General de Ciencia y Técnica de la UNNE, por financiar el proyecto de investigación Estudio y Optimización del Rendimiento Térmico de Calefones Solares construidos por alumnos de la FaCENA.

## REFERENCIAS

CARVALHO, M.J. Y NARON, D.J. (2000) Comparison of test methods for evaluation of thermal performance of preheat and solar-only factory made systems. *Solar Energy* Vol. 69, p. 145–156.

DUFIE J. AND BECKMAN W. *Solar Engineering of Thermal Processes*. J Wiley. USA-N. York. 2001.

FOLLARI JORGE. Análisis del comportamiento de los calefones solares argentinos y de otros orígenes- *Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol 18-Pag. 27-Julio 2006.

INCROPERA FRANK, DEWITT DAVID. *Heat and Mass Transfer*. 6th edition. Ed Wiley & Sons. 2007

ISO (1995) International Standard ISO 9459-2 Solar heating – Domestic water heating systems – Part 2: Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems. International Organization for Standardization, Suiza.

KALOGIROU S. A. (2009) *Solar Energy Engineering, Processes and Systems*. Academic Press.

LUCCHINI L, STOLL R, GARNICA J Y BARRAL J. Análisis exergético de un sistema de calentamiento de agua. *AVERMA* Vol. 17, pp.08.37-08.45, 2013.



LUCCHINI L, STOLL R, GARNICA J Y BARRAL J. Comparación del comportamiento de dos colectores con acumulación integrada a partir de ensayos normalizados. AVERMA Vol. 19, pp.03.67-03.78. 2015.

PLACCO C., SARAVIA L., CADENA C. (2010) Informe Técnico sobre Colectores Solares para Agua Caliente. Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO). Salta. Argentina

SMYTH M., EAMES P.C., NORTON B. (2006) Integrated collector storage solar water heaters. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 10, pp. 503–538.

**STOLL R. G., GARNICA J. H., BARRAL J. R. Y FASULO A. J., 2007. Estudio del comportamiento de colectores con acumulación integrada de dos tanques con y sin descarga de agua caliente. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11, pp. 3-53:3-60, 2007.**