

Evaluación del comportamiento térmico de un calentador solar de agua sanitaria con materiales económicos

Evaluation of the Thermal Behavior of a Low-Cost Domestic Solar Water Heater.

Presentación: 30/10/2025

Facundo Chamarez

Facultad Regional Reconquista – UTN (Calle 44 n° 1000, Reconquista – Santa Fe)
facundochamarez@gmail.com

Santiago Masin

Facultad Regional Reconquista – UTN (Calle 44 n° 1000, Reconquista – Santa Fe)
santimasin10@gmail.com

Mario Ros

Facultad Regional Reconquista – UTN (Calle 44 n° 1000, Reconquista – Santa Fe)
mros@comunidad.frq.utn.edu

Resumen

Este trabajo presenta la evaluación térmica de un calentador solar de agua de bajo costo, orientado a su implementación en sectores rurales y vulnerables. El sistema consta de un tanque acumulador de 60 litros y un captador solar hecho con caño de polietileno negro de $\frac{3}{4}$ " dispuesto en espiral sobre una estructura piramidal escalonada, encerrada en una caja de nylon transparente para generar efecto invernadero. En una jornada de prueba, con irradiancia máxima cercana a los 970 W/m^2 , se registraron temperaturas de salida del captador de hasta 41°C , partiendo de 27°C en la entrada. En el tanque se evidenció estratificación térmica, con 40°C en el tercio superior y 35°C en el tercio inferior de su altura. Estos resultados preliminares indican una captación y acumulación térmica eficiente, validando la viabilidad técnica del prototipo y su potencial como solución accesible para la provisión de agua caliente sanitaria en contextos de bajos recursos.

Palabras claves: Sistema Térmico Solar, Calentador de agua, Materiales de bajos costo.

Abstract

This work presents the thermal evaluation of a low-cost solar water heater, aimed at implementation in rural and vulnerable areas. The system consists of a 60-liter storage tank and a solar collector made with $\frac{3}{4}$ " black polyethylene pipe arranged in a spiral over a stepped pyramidal structure, enclosed in a transparent nylon box to create a greenhouse effect. During a test day, with a maximum irradiance close to 970 W/m^2 , outlet temperatures of up to 41°C were recorded, starting from 27°C at the inlet. Thermal stratification was observed in the tank, with 40°C in the upper third and 35°C in the lower third of its height. These preliminary results indicate efficient thermal capture and storage, validating the technical feasibility of the prototype and its potential as an accessible solution for providing domestic hot water in low-resource contexts.

Keywords: Solar Thermal System, Water Heater, Low-Cost Materials.

Introducción

El aprovechamiento de la energía solar térmica representa una alternativa sostenible y económicamente viable para la provisión de agua caliente sanitaria, especialmente en contextos rurales o con recursos limitados (Monge Malo, 2010; Rufes Martínez, 2010). Dentro de este marco, el presente trabajo se enfoca en la evaluación del rendimiento térmico de un calentador solar de agua de bajo costo, construido con materiales accesibles y emplazado en el predio de la Facultad Regional Reconquista de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), ubicada en la ciudad de Reconquista, provincia de Santa Fe, Argentina.

El aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua se basa en principios de captación, transferencia y acumulación de calor, los cuales han sido ampliamente estudiados y aplicados en diversas tecnologías (Meinel & Meinel, 1982). La estratificación térmica en el tanque acumulador juega un rol fundamental en la eficiencia del sistema, permitiendo mantener el agua caliente en capas superiores mientras el agua más fría permanece en la parte inferior (Rufes Martínez, 2010). Además, el uso de materiales económicos y accesibles, como tuberías de polietileno negro para captadores solares, ha sido demostrado como una solución viable para reducir costos sin comprometer el desempeño térmico (Aramburu, Díaz, Iriarte, & Saravia, 2006; Monge Malo, 2010).

El sistema bajo estudio está conformado por un captador solar elaborado con caños de polietileno negro K2.4 con una longitud de 20 m, dispuesto en espiral sobre una estructura piramidal escalonada de madera (tipo "pirámide azteca"), y un tanque acumulador de agua de 60 litros. Su diseño busca maximizar la exposición a la radiación solar y aprovechar el comportamiento natural de estratificación térmica del agua (Meinel & Meinel, 1982).

La evaluación experimental del sistema se realizará durante una única jornada de estudio, en condiciones climáticas naturales, abarcando un intervalo horario comprendido entre las 8:00 y las 18:00 horas. Durante este período, se registrarán datos con una frecuencia de una medición por hora, utilizando cuatro sensores de temperatura ubicados estratégicamente en distintos puntos del sistema: uno en la entrada del captador, otro en la salida del captador, un tercero ubicado a dos tercios de la altura del tanque (zona de acumulación de agua caliente), y un cuarto a un tercio de la altura del mismo (zona de agua fría). Además, se registrarán los valores de irradiancia solar horaria a lo largo del día, permitiendo correlacionar la disponibilidad energética con el comportamiento térmico del sistema.

A través de esta evaluación puntual, se busca analizar el desempeño térmico del prototipo, identificando su eficiencia en condiciones reales de funcionamiento y su potencial aplicación como tecnología apropiada en entornos de bajos recursos (Aramburu, Díaz, Iriarte, & Saravia, 2006).

Materiales y métodos

El sistema de calentamiento solar de agua evaluado está compuesto por los siguientes elementos principales:

- **Captador solar:** Construido con caño de polietileno negro de $\frac{3}{4}$ " – K2.4 y 20 metros de longitud útil, dispuesto en forma de espiral ascendente de 0,4 m de altura sobre una estructura piramidal escalonada (tipo pirámide azteca), con una base de madera de pino de 1x 1m. Posee un cerramiento con una lámina de Nylon Cristal 200 Micrones transparente que cumple la función de realizar el efecto invernadero con una geometría cubierta de paralelepípedo de 1x1m y 0,45m de altura (Figura 1).
- **Estructura de soporte:** Fabricada con listones de madera pino de 1x1", diseñada en forma de pirámide con escalones por medio de clavos para alojar cada vuelta de la espiral.
- **Tanque acumulador:** Depósito plástico blanco para agua potable de 60 litros, utilizado para el almacenamiento de agua caliente. El tanque cuenta con aislamiento térmico adicional, aislante térmico de espuma de polietileno aluminizado de 10 mm y un tacho metálico de 200 litros que cumple con la función de protegerlo mecánicamente y contra la intemperie. Este sistema de almacenamiento se encuentra soportado por un trípode de caño estructural con una elevación de 1,1m desde el suelo y a 0,5 m de la salida de agua caliente del sistema captador para lograr el efecto de termosifón, ver figura 1.

- **Sensores de temperatura:** Se utilizaron cuatro sensores digitales (modelo: panel sensor con sonda), ver figura 2, ubicados estratégicamente en:
 - Entrada del captador solar.
 - Salida del captador solar.
 - Sector superior del tanque (2/3 de altura, zona de agua caliente).
 - Sector inferior del tanque (1/3 de altura, zona de agua fría).
- **Medidor de irradiancia solar:** Se tomaron valores de potencia lumínica de la estación meteorológica PEGASUS, Modelo EP0304 N° 3704, que se encuentra también emplazado en el predio de la Facultad Regional Reconquista.



Figura 1, Sistema de almacenamiento de agua y sistema captador/calentador a energía solar.

El estudio se llevó a cabo en el predio de la Facultad Regional Reconquista (FRRq-UTN), ubicado en la ciudad de Reconquista, provincia de Santa Fe, durante una única jornada con condiciones climáticas estables y/o despejadas.

Se definió un período de medición de 10 horas, comprendido entre las 08:00 h y las 18:00 h, con una frecuencia de registro cada una hora. Para cada intervalo horario se recolectaron los siguientes datos:

- Temperatura de ingreso al captador.
- Temperatura de salida del captador.
- Temperatura a 1/3 de altura del tanque de almacenamiento.
- Temperatura a 2/3 de altura del tanque de almacenamiento.
- Irradiancia solar incidente sobre el plano del captador, en W/m^2 (I).

Los datos se registraron manualmente y fueron tabulados para su posterior análisis. El sistema opera por termoconvección natural (fenómeno de termosifón), lo cual permite evaluar su rendimiento sin intervención mecánica ni consumo eléctrico.

En la tabla 1 siguiente se observan los datos registrados de; valores de Irradiancia, temperaturas de ingreso y salida del captador solar, y a 1/3 y 2/3 de altura dentro del tanque de almacenamiento, por cada hora en un intervalo de 8 a 18 horas, para el día 3 de setiembre de 2025.

Tabla 1

Valores de Irradiancia, temperaturas de ingreso y salida del captador solar, y a 1/3 y 2/3 de altura en el tanque de almacenamiento, por cada hora en un intervalo de 8 a 18 horas (03/09/2025).

Hora	Irradiancia W/m ²	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura ingreso captador (°C)	Temperatura salida captador (°C)	Temperatura 1/3 almacenamiento (°C)	Temperatura 2/3 almacenamiento (°C)
8	405,4	14	18	24	20	22
9	634,4	16	20	29	23	27
10	817	18	22	33	26	31
11	931,1	20	24	37	30	35
12	969,6	22	26	40	33	38
13	929,3	24	27	41	35	40
14	813,4	24	26	39	34	39
15	631,4	22	24	35	33	37
16	399,4	20	22	30	32	36
17	145,1	18	20	25	31	35
18	21	16	19	22	30	34

Consideraciones:

- Entrada del captador: se asume que toma agua del fondo del tanque (1/3), por eso parte de un valor inferior y sube levemente en la medida que asciende el agua en el circuito (espiral ascendente).
- Salida del captador: se incrementa en función de la irradiancia y alcanza su máximo entre 12h y 13h.
- Tanque (1/3 y 2/3): hay una clara estratificación térmica: la parte superior (2/3) siempre más caliente, gracias al ascenso natural del agua caliente.

En la figura 2 siguiente se observa la posición de las 4 sondas termométricas, dos para el interior del tanque de almacenamiento a 1/3 y 2/3 de su altura y las otras 2 para la entrada y salida del sistema captador.

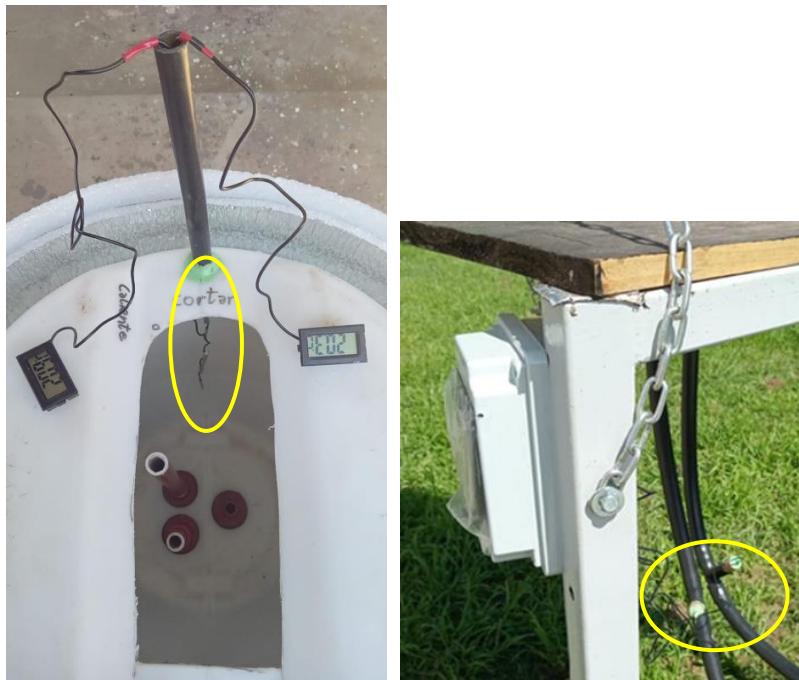


Figura 2. Acceso en el interior del tanque de almacenamiento a 2/3 y 1/3 de su altura y ubicaciones de los sensores de temperatura para la entrada y salida del colector respectivamente.

En la figura 3 siguiente se observa la gráfica, de la tabla 1, de los valores de las 4 temperaturas dadas por los sensores en función a sus ubicaciones en el sistema (dato a registrar) para cada hora en el intervalo de 8 a 18h (03/09/2025).

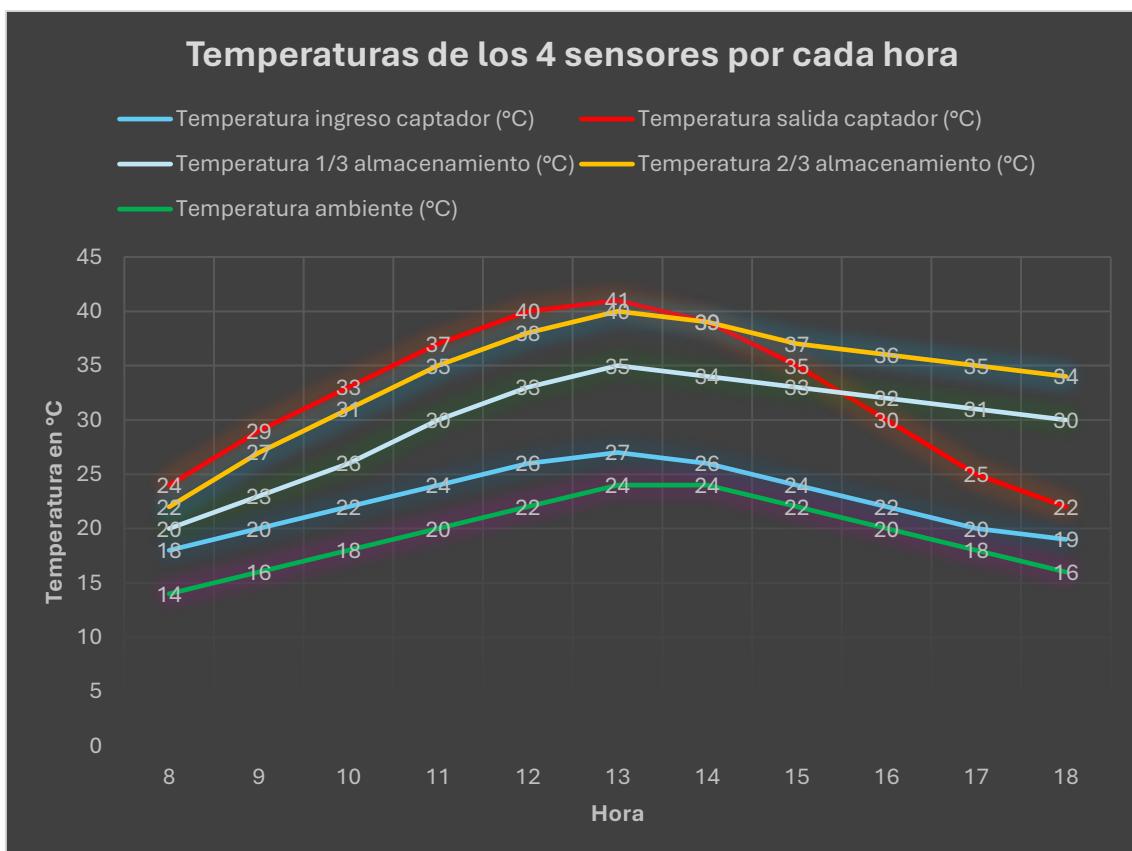


Figura 3, Datos correspondientes a la tabla 1.

Resultados y discusión

Como se puede observar, el sistema comienza a captar energía solar desde las 8:00 h, alcanzando su punto de máxima irradiancia alrededor del mediodía, con valores cercanos a los 970 W/m². Esta elevada radiación permite alcanzar temperaturas de salida del captador de hasta 41 °C, partiendo de una entrada de 27 °C. La diferencia térmica entre entrada y salida (ΔT) muestra un rendimiento progresivo hasta el mediodía, y luego una leve disminución hacia la tarde, en consonancia con la disminución de irradiancia.

En cuanto al tanque acumulador, se observa una clara estratificación térmica: la capa superior (2/3 de altura) alcanza una temperatura máxima de 40 °C, mientras que la capa inferior (1/3) ronda los 35 °C en las horas pico. Esto evidencia una acumulación efectiva del calor durante el día, con una pérdida térmica moderada hacia el final de la jornada, atribuida a la disminución del aporte solar y al enfriamiento ambiental. No obstante, gracias al aislamiento del tanque (espuma de polietileno aluminizado, plancha de Telgopor y cubierta exterior metálica), la pérdida de temperatura es mínima (alrededor de 1 °C por hora en promedio) en las últimas horas del día.

Desde el punto de vista energético y funcional, los resultados permiten inferir que el sistema es viable para el precalentamiento de agua sanitaria, especialmente en entornos rurales o de bajos recursos. Su construcción con materiales accesibles y de bajo costo, junto con la simplicidad del diseño, favorecen su replicabilidad en otras regiones con condiciones solares similares.

Conclusiones

Durante una jornada representativa del mes de septiembre en la ciudad de Reconquista, el sistema logra alcanzar temperaturas de salida del captador superiores a los 40 °C, con un adecuado gradiente térmico en el acumulador, evidenciando una efectiva estratificación del agua caliente. El tanque, gracias a su aislamiento térmico, conserva el calor acumulado con mínimas pérdidas hacia el final del día.

Se concluye que el sistema es técnicamente viable, económicamente accesible y fácilmente replicable con materiales disponibles en el mercado local pues logra temperaturas moderadas para su uso sanitario en el mes promedio de radiación solar durante un año.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero provisto por la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Reconquista.

Referencias bibliográficas

Aramburu, V., Díaz, N., Iriarte, A., & Saravia, L. (2006). *Calentamiento de agua por convección natural utilizando un concentrador solar. Primeras experiencias*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 10, 45-52. ISSN 0329-5184.

Meinel, A., & Meinel, M. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. Editorial Reverté.

Monge Malo, L. (2010). *Instalaciones de energía solar térmica* (2^a ed.). Editorial Marcombo.

Rufes Martínez, P. (2010). *Energía solar térmica: Técnicas para su aprovechamiento*. Editorial Marcombo.