

Análisis térmico de un sistema para calentamiento de agua sanitaria con materiales accesibles en la región.

Thermal analysis of a domestic hot water heating system made with locally available materials.

Presentación: 23/10/2025

Facundo Chamarez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista, Calle 44 n°1000, Reconquista, Santa Fe, Argentina.
facundochamarez@gmail.com

Mario Ros

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista, Calle 44 n°1000, Reconquista, Santa Fe, Argentina.
mros@comunidad.frrq.utn.edu

Resumen

En este trabajo se analiza cómo se comporta térmicamente un sistema de calentamiento de agua sanitaria mediante energía solar térmica construido con materiales accesibles, de fácil acceso y de bajo costo, orientado a zonas rurales y periurbanas del norte de Santa Fe. El sistema cuenta con un captador solar formado por un espiral de 25 m de caño de polietileno negro de $\frac{3}{4}$ " y k2.5, montado sobre una estructura de madera tipo pirámide Azteca y de una base de madera de 1 m², aislado en una caja con Nylon agrario para generar efecto invernadero. Incluye un tanque acumulador plástico de 100 litros, aislado térmicamente con espuma de polietileno aluminizado y protegido por un tambor metálico. El tanque está ubicado 60 cm por encima del captador, permitiendo la circulación por termosifón sin necesidad de bomba. El diseño propuesto busca facilitar el acceso al agua caliente sanitaria mediante una solución sencilla y económica, en materiales y construcción.

Palabras clave: Energía solar térmica, Calentador de agua de bajo costo, Zonas rurales.

Abstract

This work analyzes the thermal behavior of a solar thermal domestic hot water heating system built with affordable, easily available, and low-cost materials, aimed at rural and peri-urban areas in the north of Santa Fe. The system consists of a solar collector made up of a 25 m black polyethylene pipe coil ($\frac{3}{4}$ " diameter, $k = 2.5$), mounted on a wooden "Aztec pyramid"-type structure with a 1 m² wooden base, enclosed in a box covered with agricultural nylon to create a greenhouse effect. It includes a 100-liter plastic storage tank, thermally insulated with aluminized polyethylene foam and protected by a metal drum. The tank is positioned 60 cm above the collector, allowing natural thermosiphon circulation without the need for a pump. The proposed design seeks to facilitate access to domestic hot water through a simple and economical solution, both in materials and construction.

Keywords: Solar thermal energy, Low-cost water heater, Rural areas.

Introducción

El acceso a la energía es un componente esencial para el desarrollo humano, la equidad social y la mejora de la calidad de vida. Sin embargo, aún existen sectores rurales y periurbanos en el norte de la provincia de Santa Fe con acceso limitado a servicios energéticos básicos, lo que repercute en su bienestar, salud y oportunidades productivas. Frente a este escenario, las energías renovables representan una herramienta clave para avanzar hacia un modelo energético más inclusivo, descentralizado y sustentable.

En este trabajo se presenta la evaluación térmica de un sistema de calentamiento de agua sanitaria por energía solar, diseñado con materiales de bajo costo y tecnología de fácil replicación. La propuesta se destaca por su simplicidad constructiva, facilidad de montaje y la accesibilidad de los materiales que la componen.

El proyecto se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas en la Agenda 2030. Particularmente, contribuye al:

- **ODS 3:** Salud y bienestar, al facilitar el acceso a agua caliente sanitaria.
- **ODS 6:** Agua limpia y saneamiento, mejorando las condiciones de higiene.
- **ODS 7:** Energía asequible y no contaminante, promoviendo el uso de fuentes limpias.
- **ODS 11:** Ciudades y comunidades sostenibles, mediante soluciones adaptadas a contextos locales.
- **ODS 12:** Producción y consumo responsables, al reutilizar materiales y reducir el uso de energía convencional.
- **ODS 13:** Acción por el clima, disminuyendo las emisiones asociadas al calentamiento de agua por medios tradicionales.

De esta manera, el desarrollo de tecnologías apropiadas, accesibles y sostenibles no solo representa una respuesta técnica a una necesidad concreta, sino también una contribución significativa a los compromisos globales por un futuro más justo y resiliente.

Marco Teórico

- Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es una tecnología que permite aprovechar la radiación solar para generar calor, principalmente utilizado en aplicaciones de calentamiento de agua para uso sanitario, calefacción y procesos industriales. Se basa en el principio de absorción de la radiación solar por una superficie oscura, la cual transfiere calor a un fluido. Esta fuente energética es renovable, inagotable y no contaminante, y su aprovechamiento resulta especialmente viable en regiones con buena radiación solar como el norte de Santa Fe.

- Calentadores Solares de Bajo Costo

Los sistemas solares térmicos convencionales pueden implicar costos elevados de fabricación, instalación y mantenimiento. Por ello, en entornos rurales o de bajos recursos, el desarrollo de tecnologías apropiadas es fundamental. Un calentador solar de bajo costo utiliza materiales disponibles localmente (como caños de polietileno, bidones plásticos, aislantes económicos) y principios físicos simples, como el efecto invernadero y la circulación por termosifón, para proporcionar una solución funcional, replicable y de bajo mantenimiento.

- Circulación por Termosifón

El termosifón es un mecanismo pasivo de circulación de agua basado en la diferencia de densidad entre el agua caliente y fría (Aramburu, Díaz, Iriarte y Saravia, 2006). Al calentarse, el agua en el captador solar asciende hacia el tanque acumulador, desplazando el agua más fría hacia la parte baja del sistema, lo que permite un flujo natural sin necesidad de bombas. Este principio es ideal para sistemas autosuficientes en contextos sin acceso a energía eléctrica.

- Tecnología Social y Desarrollo Sostenible

El concepto de tecnología social se refiere a aquellas soluciones tecnológicas pensadas desde y para las comunidades, con el fin de resolver problemáticas concretas mediante procesos participativos y sustentables. En este sentido, el calentador solar propuesto se enmarca en los lineamientos del desarrollo sostenible, al integrar eficiencia energética, cuidado ambiental y justicia social, alineándose con la Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Metodología

Para evaluar el desempeño térmico del sistema de calentamiento solar propuesto, se llevó a cabo una campaña de mediciones experimentales el día 5 de septiembre de 2025, en condiciones climáticas reales. Las pruebas se realizaron entre las 9:00 y las 18:00 h, registrando las temperaturas en distintos puntos del sistema con el objetivo de analizar la evolución térmica del colector y del tanque acumulador por cada hora del intervalo citado.

Se registraron las siguientes temperaturas según ubicación, ver figura 2:

- Temperatura de entrada al colector solar, correspondiente al agua ubicada a 1/3 de la altura del tanque acumulador (zona fría).
- Temperatura de salida del colector, correspondiente al ingreso del agua a 2/3 de altura del tanque acumulador (zona caliente).
- Temperaturas internas del tanque acumulador, en las mismas alturas (1/3 y 2/3), con el fin de observar la estratificación térmica del sistema.

Además, se registraron condiciones meteorológicas del día de ensayo (temperatura ambiente) y radiación solar incidente a través de datos estimados mediante fuentes satelitales (PVGIS), para el cálculo de la energía solar disponible.

En la imagen siguiente (figura 1) se observa el equipo instalado con sus dos partes principales, el captador solar de espiral cónica conformada por caño de Polietileno de $\frac{3}{4}$ " y k2.5 de espesor con 10 vueltas (25 metros), siendo su base (1ra vuelta) de 95cm de diámetro y la última espiral a una altura de 40cm desde la base de 75cm de diámetro, soportada sobre una estructura de madera en forma de pirámide Azteca. Lo anterior está protegido térmicamente por una cubierta tipo cajón de Nylon de 200micrones de $1m^2$ de área y 45cm de altura. El sistema de almacenamiento de agua está conformado por un tanque de plástico para agua potable de 100 L de capacidad y aislado térmicamente en su base y en su perímetro por dos capas aislantes de espuma de polietileno aluminizado de 5mm de espesor y una tapa de Telgopor de 20mm de espesor, a su vez se ubica en el interior de un tacho metálico de 200 L para que este cumpla con la misión de dar resistencia mecánica y protección contra la intemperie, el conjunto se encuentra montado sobre una estructura de 3 patas de caño estructural y base de madera para lograr una altura de 60cm aproximadamente entre el tanque de almacenamiento y captador y favorecer así el fenómeno de termosifón, circulación natural por diferencia de densidad.



Figura 1. Sistema montado en vista frontal y lateral izquierda respectivamente.

En la figura 2 se observa la ubicación de los sensores de temperaturas, sensores tipo panel con sonda termométrica de 1m de longitud y rango de medición de -50°C a 70°C , tanto en el sistema de almacenamiento como en la entrada y salida del captador solar, para lo cual se tuvo que intervenir el circuito de conexión entre el tanque de almacenamiento y el captador solar como se observa a continuación.

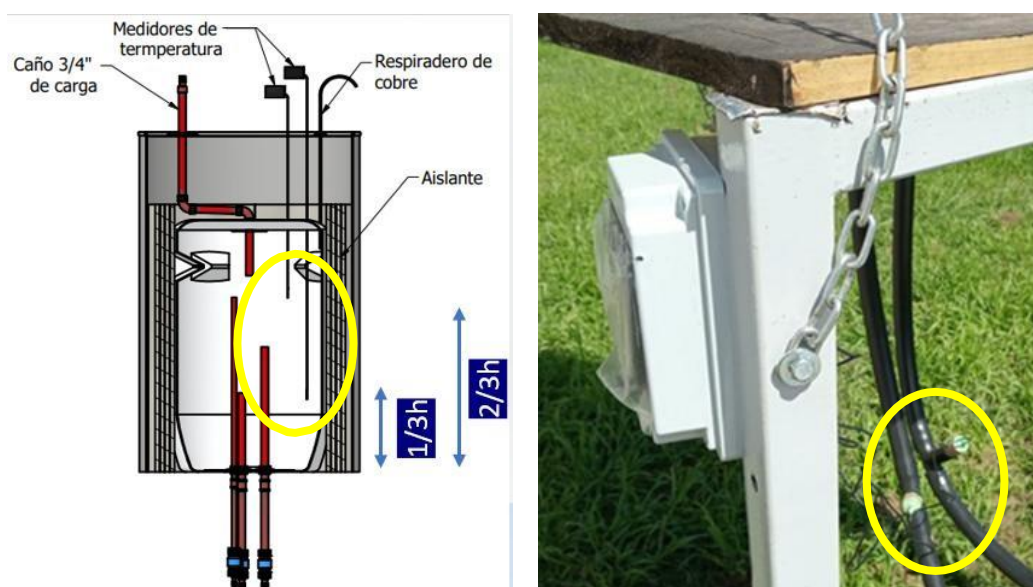


Figura 2. Ubicación de sensores de temperatura a $1/3$ y $2/3$ de la altura del tanque y a la entrada y salida del captador respectivamente.

En la figura 3 siguiente se indica las direcciones que posee el fluido tanto en el sistema captador como en el tanque de almacenamiento, indicando con flechas de color azul el sentido de circulación del agua fría desde el tanque de acumulación ($1/3$ de su altura) hacia la parte inferior del captador y con el color rojo el sentido del agua caliente en la salida por la parte superior del captador (espiral cónica) y su ingreso al tanque de almacenamiento a $2/3$ de su altura.

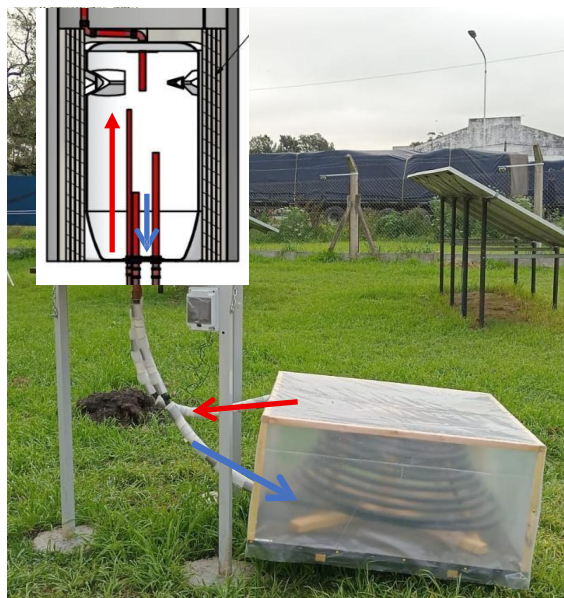


Figura 3. Indicación de ingreso y salida de agua fría (flecha azul) y caliente (flecha roja) en ambos sistemas; captador y acumulador.

A continuación, se muestra en la tabla 1 los datos registrados por los sensores en las 4 posiciones, dos en el tanque y los otros 2 en la conexión entre el tanque de almacenamiento y el sistema captador, como se aprecian en las imágenes de la figura 2 anterior, por cada hora en un intervalo entre las 9 y 18h del día 5 de setiembre, donde se tiene además una columna que indica la diferencia de temperatura para cada sistema; entrada y salida del captador y fría y caliente del sistema acumulador respectivamente por cada hora incluido sus ΔT .

Valores de Temperatura en °C por cada hora							
Hora	Ambiente	Entrada Colector	Salida Colector	ΔT (°C)	Fría Acumulador	Caliente Acumulador	ΔT (°C)
3	7	7,6	9,8	2,2	17,8	15,8	-2
10	10	13,9	23,6	9,7	17,8	17,8	0
11	11	13,6	27,31	13,71	17,8	19,3	1,5
12	12	13,3	32	18,7	18	20,6	2,6
13	13	13,3	36,6	23,3	18,2	21,5	3,3
14	13	21	39,6	18,6	18,6	22,8	4,2
15	14	23,1	40,3	17,2	19,4	24,8	5,4
16	14	23,4	38	14,6	20,1	25,6	5,5
17	14	23,2	35,6	12,4	20,3	25,9	5,6
18	13	15	19,3	4,3	21,2	21,1	-0,1

Tabla 1. Registro de temperaturas (°C); ambiente, temperaturas de entrada y salida del colector y temperaturas fría y caliente del tanque de almacenamiento por cada hora.

A continuación, se grafica los datos mostrados en la tabla anterior (tabla 1) sobre como varía la temperatura de entrada y salida del fluido calo portante en el captador solar respecto a la temperatura ambiente (Figura 4).

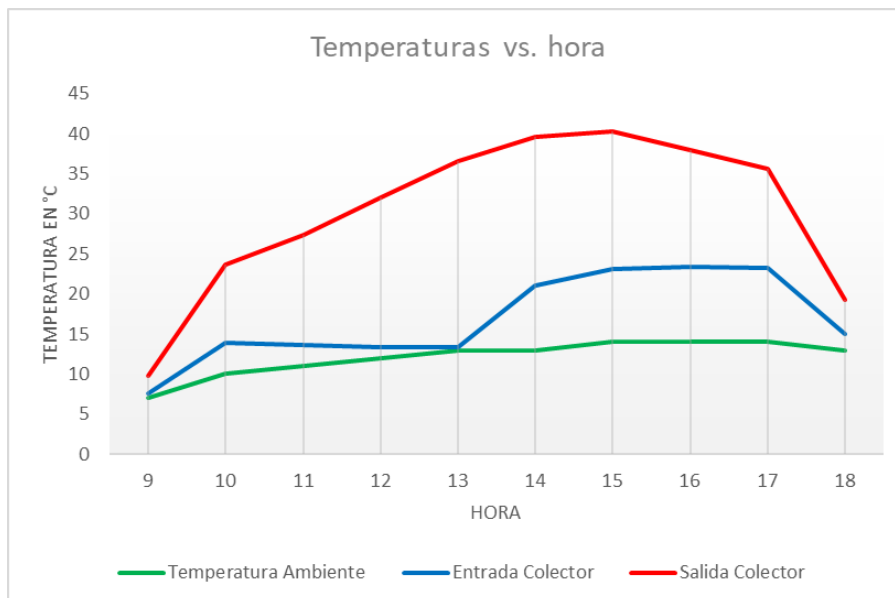


Figura 4. Variación de las temperaturas en el captador solar respecto a la temperatura ambiente.

Y en la figura 5 siguiente se observa el mismo concepto, pero aplicado al tanque de almacenamiento de agua, o sea, temperatura del extracto frío a 1/3 de su altura (salida de agua hacia el captador) y la temperatura del extracto caliente a 2/3 (ingreso de agua del captador).

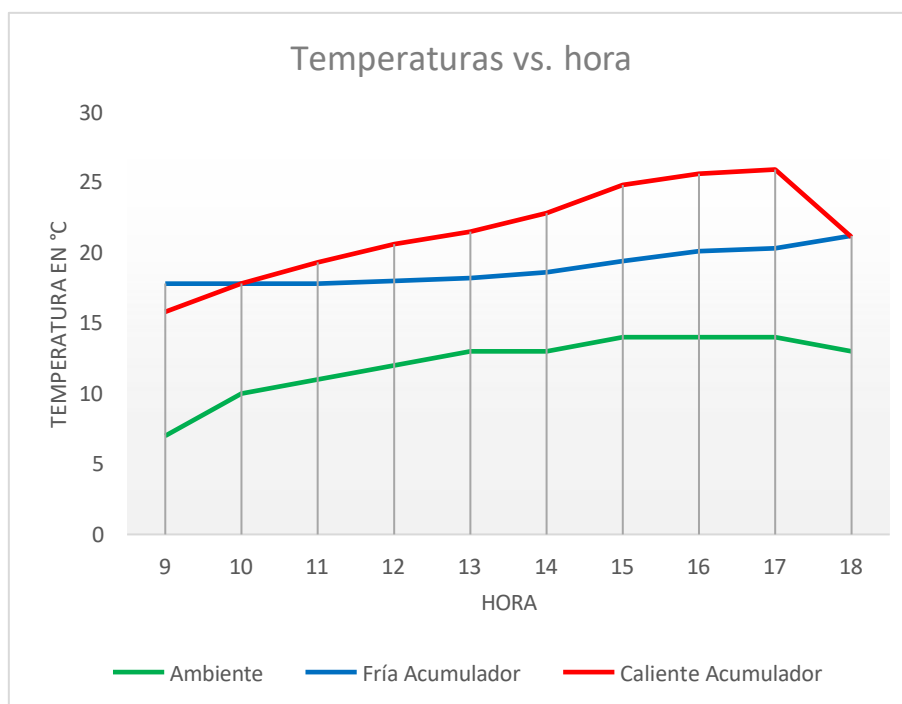


Figura 5. Variación de la temperatura en el tanque de almacenamiento respecto a la temperatura ambiente.

En la figura 6 siguiente se observa en conjunto los valores de las figuras 4 y 5 para apreciar la inercia térmica y comportamiento del sistema respecto a la temperatura ambiente.

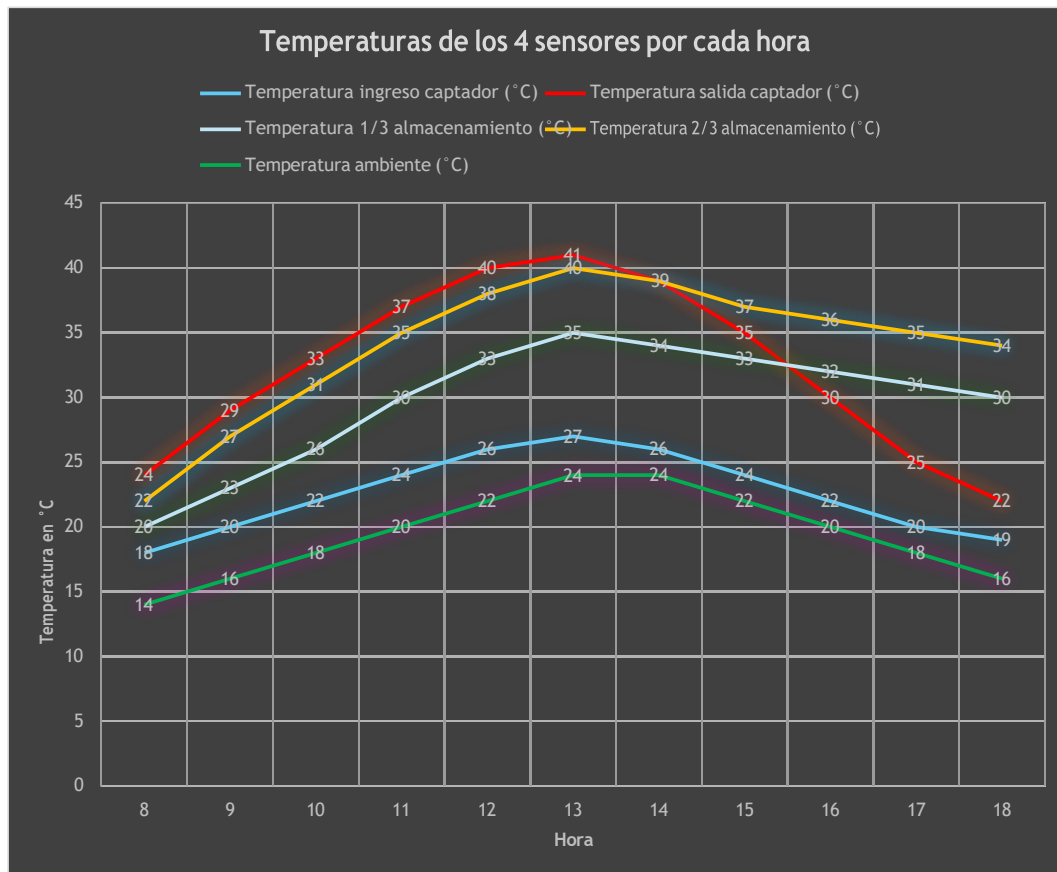


Figura 6. Variación de la temperatura en el sistema respecto a la temperatura ambiente.

El análisis del rendimiento del captador se basó en el cálculo del rendimiento instantáneo del colector para cada intervalo horario, definido por la siguiente expresión:

$$\eta(t) = \frac{Q_u}{G(t) \cdot A \cdot \Delta t} = \frac{m \cdot cp \cdot (T_{salida}(t) - T_{entrada}(t))}{G(t) \cdot A \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Donde:

$\eta(t)$: rendimiento instantáneo (por hora) del captador solar.

Q_u : Cantidad de calor útil (tabla 2)

m : masa de agua (kg) = 8kg (8 litros) "en condición estática". cp : calor específico del agua (aprox. 4180 J/kg.°C)

T_{salida} , $T_{entrada}$: temperaturas de salida y entrada del colector (°C); por cada hora.

A : área del colector 1m².

G : Irradiancia global solar promedio horaria (W/m²) en base a PVGIS, tabla 3.

Δt : intervalo de tiempo; 1 hora.

- Cálculo de Q_u :

$$Q_u(t) = m \cdot cp \cdot \Delta T(t) \text{ [Joule]} \quad (2)$$

A continuación, tabla 2, se observa los resultados para Q_u por cada hora, aplicando la expresión (2) y el total acumulado:

Hora	Qu (J)
9	73568,00
10	324368,00
11	458462,40
12	625328,00
13	779152,00
14	621984,00
15	575168,00
16	488224,00
17	414656,00
18	143792,00
Σ Qu(t)	4504702,40

Tabla 2. Valores de Q_u en Joule por cada hora y el total acumulado.

- Valores de Irradiancia

En la figura 7 siguiente se observa una captura de los resultados arrojados por PVGIS de valores de Irradiancia promedio para el mes de setiembre; Global, directa y difusa por intervalo horario de una hora, para las coordenadas (Latitud: -29° y Longitud -59°) donde se encuentra emplazado el proyecto.

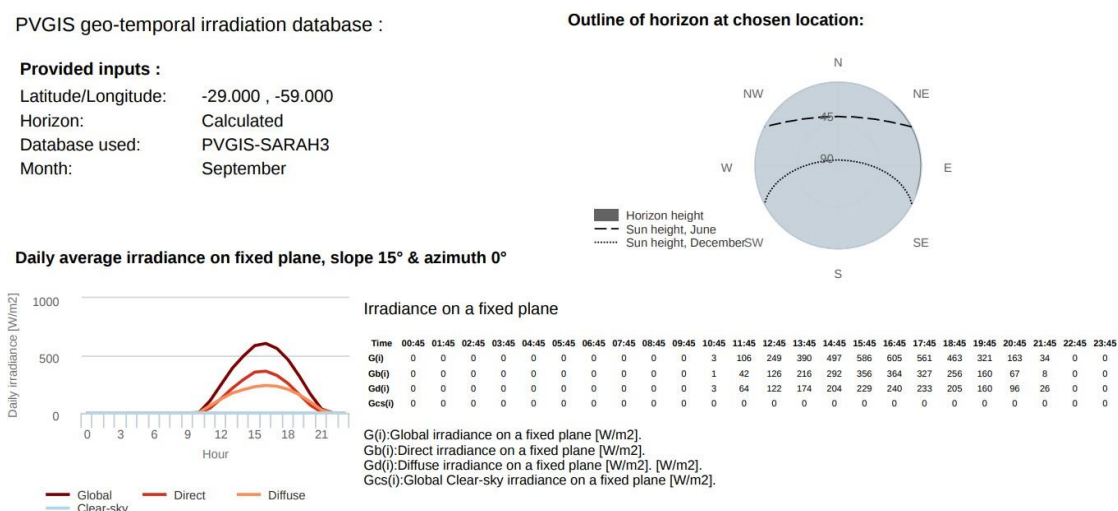


Figura 7, extracto de los resultados de Irradiancia mediante PVGIS para el mes de setiembre en W/m^2

En la tabla 3 siguiente se observan los datos de Irradiancia global en W/m^2 por cada hora desde las 9h hasta las 18h y en la superficie captadora.

Hora	Irradiancia W/m ²
9	0,00
10	3,00
11	106,00
12	249,00
13	390,00
14	497,00
15	586,00
16	605,00
17	561,00
18	463,00
Σ I	3460,00

Tabla 3. Valores de Irradiancia (W) global por m² por cada hora y el total acumulado.

De esta manera el valor del rendimiento (η) que resulta de emplear la expresión (1) por cada hora se muestran en la tabla 4 y son representados gráficamente en la figura 8:

Hora	η
9	0,00
10	3003,41
11	120,14
12	69,76
13	55,50
14	34,76
15	27,26
16	22,42
17	20,53
18	8,63

Tabla 4. Valores de rendimiento por cada hora.

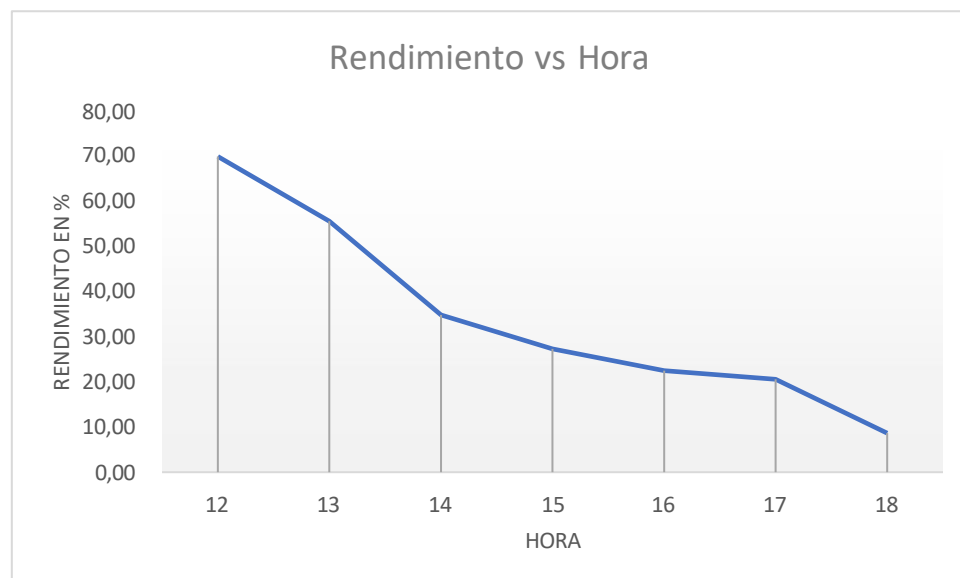


Figura 8, Valores de rendimiento por cada hora.

De estimarse el rendimiento diario para el día de estudio 05/09 y a partir de las 11h hasta las 18h (tabla 5), y evitar así la influencia del calor acumulado del día anterior, se tiene como valor al emplear la siguiente expresión:

$$\eta_{diario} = \frac{\sum Qu(t)}{\sum G(t) \cdot A \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Hora	Qu (Joule)	Irradiancia W/m2	Irradiancia (Joule)
11	458462,40	106,00	381600
12	625328,00	249,00	896400
13	779152,00	390,00	1404000
14	621984,00	497,00	1789200
15	575168,00	586,00	2109600
16	488224,00	605,00	2178000
17	414656,00	561,00	2019600
18	143792,00	463,00	1666800
Σ	4106766,40		12445200

Tabla 5. Valores de Q_u e Irradiancia en Joule por cada hora y en un área de 1m^2 .

Un rendimiento de:

$$\eta_{diario} = \frac{4106766,4 \text{ (J)}}{12445200 \text{ (J)}} * 100\% = 33\%$$

Donde:

A: área del captador igual a 1m^2

$\Delta t = 1\text{hora}$

Discusión de resultados

En las horas tempranas (por ejemplo, 10:00 y 11:00 h), se observaron valores de rendimiento térmico superiores al 100 %. Esto puede resultar contradictorio si se interpreta en términos estrictamente instantáneos. Sin embargo, este comportamiento tiene una explicación física coherente cuando se considera el comportamiento térmico del sistema completo.

Cuando el flujo natural (termosifón) se activa o el sistema comienza a transferir calor, parte del calor útil que se mide no corresponde únicamente a la radiación recibida en esa hora específica, sino también a la energía acumulada en horas anteriores o del día anterior.

Conclusiones

El sistema empieza a funcionar con bajo ΔT a las 9 h ($2,2^\circ\text{C}$), lo cual es de esperar por la baja radiación solar en esta fecha de ensayo. La mejor respuesta térmica ocurre entre las 12 h y 14 h, alcanzando ΔT superiores a 18°C , con un pico de $23,3^\circ\text{C}$ a las 13 h. A partir de las 15 h, el ΔT comienza a disminuir progresivamente, pero sigue siendo relevante hasta las 17 h.

El sistema muestra una respuesta térmica eficiente en el tramo horario central del día (de 11 h a 16 h), lo cual es típico de sistemas solares térmicos bien diseñados. El rendimiento de 33% de promedio en el día es un valor aceptable para colectores artesanales o experimentales.

Referencias

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.

Bibliografía

Meinel, A., & Meinel, M. (1982). Aplicaciones de la energía solar. Editorial Reverté. Monge Malo, L. (2010). *Instalaciones de energía solar térmica* (2ª ed.). Editorial Marcombo. Rufes Martínez, P. (2010). *Energía solar térmica: Técnicas para su aprovechamiento*. Editorial Marcombo.