

# ACTA DE LA XLIV REUNIÓN DE TRABAJO

---

---

**Volumen 9  
Año 2022**

---

---

---

**Asociación Argentina de  
Energías Renovables y Ambiente**



**Asociación Argentina de  
Energías Renovables y Ambiente**

# **ACTA DE LA XLIV REUNIÓN DE TRABAJO**

Vol. 9 Año 2022  
ISBN 978-987-29873-1-2  
**Secciones 1 a 8**

## **COMISIÓN DE PUBLICACIONES**

### **Directora**

Martínez Bogado, Mónica

### **Consejo Editorial**

Cadena, Carlos

### **Editores**

Abalone, Rita – Alonso-Suarez, Rodrigo – Aristegui, Rosana  
Barral, Jorge – Binda, Camila - Brea, Bárbara - Chiarito, Gabriel –  
Cisterna, Susana - Dellicompagni, Pablo – Denegri, María José -  
Díaz, Andrés – Durán, Julio - Esparza, Jéscica - Esteban, Sonia –  
García, Víctor – Guido, Rocío - Hongn, Marcos -  
Javi, Verónica M. – Ledesma, Sara Lía – Lema, Alba - Martini, Irene  
- Plá, Juan – Salvo, Aien – Tamasi, Mariana - Videla, Mariela -  
Viegas, Graciela

*e-mail:* [info@asades.org.ar](mailto:info@asades.org.ar)

## **COMISIÓN ORGANIZADORA**

**XLIV Reunión de Trabajo de la ASADES – Semana Catamarca Sustentable  
Catamarca, 31 de octubre al 3 de noviembre de 2022**

García, Víctor - Turraca, Deborah - Bravo, Ileana - Villafañez, Fernanda - Ahumada Herrera, Virginia - Bustos,  
Sebastián - Filippin, Celina - Abalone, Rita Mónica - Javi, Verónica Mercedes - San Juan, Gustavo - Luque,  
Víctor Hugo - Saldaña, Jorge - Gallo, Gustavo - Martineta, Mariela - Macías, Alicia - Vega, Vilma - Santucho,  
Lucas - Baroni, Andrea - Arévalo, Noemí - Sánchez Brizuela, Ricardo A. - Díaz, Fernando

## **APOYO TÉCNICO**

Cuenca, Ruben Emanuel - Pizza, Ángel David - Velardez, Verónica Vanessa - Pinotti, David Exequiel -  
Tolaba, Miguel - Troviano, Mauricio

## **ASADES**

**Asociación Argentina de  
Energías Renovables y  
Ambiente**

### **COMISIÓN DIRECTIVA**

**Presidente:** Filippín, Celina  
**Secretaria:** Abalone, Rita Mónica  
**Tesorera:** Javi, Verónica Mercedes  
**Vocales:** García, Víctor y San Juan,  
Gustavo

### **COMISIÓN REVISORA DE CUENTAS**

Ledesma, Sara Lía  
Cisterna, Marta Susana  
Dellicompagni, Pablo

### **COMISIÓN HONORÍFICA**

Iriarte, Adolfo  
Bistoni, Silvia  
Rodríguez, Carlos  
Saracho, Martha



## **Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente**

Acta de la XLIV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (volumen 9), Semana Catamarca Sustentable, Catamarca, 31 de octubre al 3 de noviembre de 2022

**Buenos Aires, noviembre de 2022**

## CALEFÓN SOLAR DE BAJO COSTO CON CIRCULACIÓN FORZADA AUTÓNOMA

**Nicolás Di Lalla, Andrés E. Diaz, Valentín Becchio y Alejandro Hernández**  
Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET)  
Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa)  
Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina.  
Tel. 54-0387-4255579 – Fax 54-0387-4255489. E-mail: [ndilalla@gmail.com](mailto:ndilalla@gmail.com)

**RESUMEN:** Se presentan los resultados obtenidos en el diseño, elaboración y caracterización de un prototipo de calefón solar que opera por recirculación forzada. Se buscó obtener un sistema que, a partir de una construcción sencilla y con materiales de fácil acceso, pueda satisfacer las demandas de agua caliente de una vivienda unifamiliar. El prototipo consta de un colector elaborado con un espiral de 100 metros de manguera de polietileno de baja densidad de ¾" K4. Para acumular el agua caliente se construyó un tanque de 110 litros de capacidad. Se utilizó una bomba de 5 W y 12 V, alimentada mediante un panel fotovoltaico de 5 W, estos producen la recirculación del agua entre el colector y el tanque. En días soleados de invierno, y con el tanque de acumulación ubicado en el exterior, el agua del tanque alcanzó la máxima temperatura de 52 °C, la eficiencia térmica del prototipo al medio día resultó de aproximadamente 36 %. Con la estrategia de ubicar al tanque de acumulación dentro de la vivienda la tasa de enfriamiento del agua fue en promedio de 0,47 °C/hora, lo que permitió acceder a agua a 44 °C por la mañana.

**Palabras clave:** calefón solar, circulación forzada, bajo costo.

### INTRODUCCIÓN

Extensas zonas del noroeste argentino (NOA) son áridas y semiáridas, allí habitan comunidades aisladas que para realizar ciertas actividades diarias como por ejemplo el calentamiento de agua para uso sanitario (ACS) como único recurso utilizan la escasa leña disponible. Para ello, muchas veces estos pobladores realizan la quema de biomasa en fogones internos, por lo que están expuestos, debido al hollín, a severas enfermedades pulmonares (OMS, 2021). Además, el continuo consumo de pequeños arbustos genera un progresivo aumento de la desertificación (Abdela, 2019). El deterioro de estos ambientes es un problema de alcance global, la Argentina forma parte desde 1997 de la UNCCD: "Convención de Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación" (Emanuelli et al., 2016). Nuestro país está comprometido a buscar regionalmente disminuir la desertificación mediante programas de acción nacional. Por otra parte, en dichas regiones semiáridas del NOA existen muy buenos valores diarios de irradiación solar global (Grossi Gallegos et al., 2007). Atento a lo anterior, este recurso puede ser utilizado, en reemplazo de la leña, para la obtención de ACS, y así ayudar a mitigar las problemáticas señaladas anteriormente. Para ello, en este trabajo se propone un nuevo sistema alternativo, de bajo costo, para el calentamiento de agua por circulación forzada.

Es sabido que los sistemas con circulación forzada en comparación con los de convección natural pueden ser hasta un 80 % más eficientes (Khalifa, 1998). Su empleo se justifica cuando los costos de automatización y bombeo no sean elevados. En este trabajo se propone un sistema de circulación forzada con automatización y bombeo eficiente, simple y económico. El sistema se basa en la utilización como absorbedor de un largo tramo de manguera de polietileno de baja densidad (PEBD) en forma de espiral, que trabaja en conjunto con una pequeña bomba que hace recircular el agua del colector hacia un tanque de almacenamiento aislado. Dicha bomba es energizada a través de un panel fotovoltaico de 5 W, como se muestra en la Fig. 1.

Cabe destacar que este tipo de calefón solar, a diferencia de los termosifónicos, permite la ubicación del tanque de acumulación dentro de la vivienda, lo que hace que las pérdidas de calor en épocas frías sean comparativamente mucho menores. Este concepto de calefón solar puede ser fácilmente replicable a través de la auto construcción y sus costos de elaboración son relativamente bajos. En un reporte anterior se presentó un prototipo de menor escala basado en este concepto (Di Lalla et al., 2016). Las experiencias realizadas con ese prototipo y los resultados obtenidos en las mediciones termo-hidráulicas han servido para dimensionar uno nuevo, de mayor escala, presentado aquí. Este nuevo prototipo fue financiado por el proyecto “Energías Renovables en los Cerros de Salta: Construyendo Redes de Colaboración para el Buen Vivir” de la convocatoria PTIS-PROCODAS. Este proyecto busca difundir y propiciar la auto construcción de tecnologías de aprovechamiento de la energía solar en regiones aisladas de la provincia de Salta.

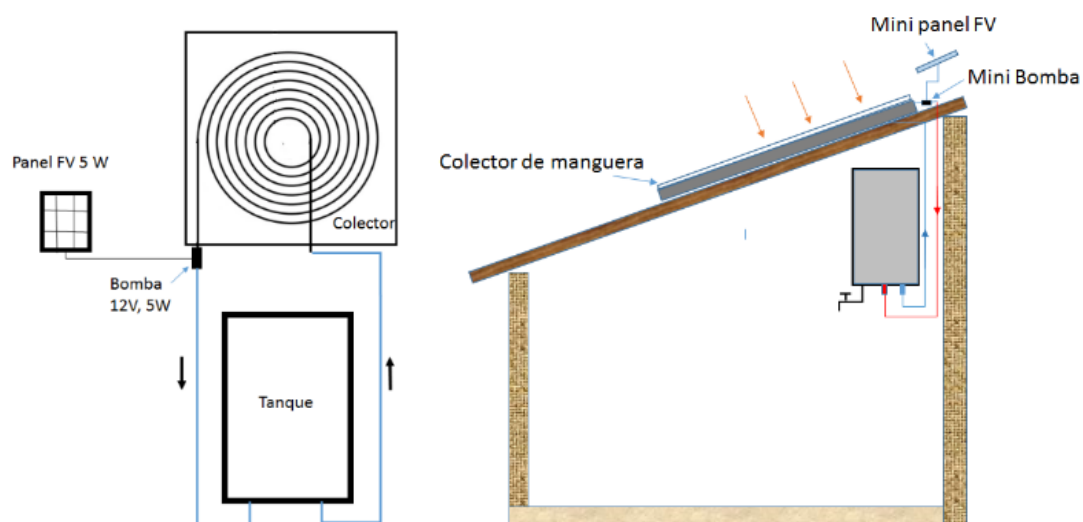


Figura 1: Esquema simplificado del calefón solar con recirculación forzada propuesto y ubicación en la vivienda.

## METODOLOGÍA

Es importante recalcar que lo que se evalúa aquí es la capacidad del sistema de calentar en invierno suficiente agua, a cierta temperatura útil, de manera simple, y a bajo costo. Seguramente, que habrá que realizar las inversiones necesarias para que en la operación del sistema en verano no se produzcan recalentamientos que puedan dañar a los materiales utilizados. Entonces, en este proyecto se utilizaron técnicas sencillas y materiales de bajo costo (que hasta pueden ser reciclados). En el diseño y dimensionamiento del prototipo se buscó conformar un sistema que, en días fríos de invierno a través de un rápido calentamiento, pueda obtener suficiente agua para satisfacer a una vivienda unifamiliar, (110 litros de agua a por lo menos a 50 °C). Por otra parte, que la aislación del tanque de acumulación sea la suficiente para que por la mañana la temperatura del agua esté por lo menos a 40 °C. Para lograr estos objetivos, como se dijo anteriormente, los dimensionamientos del colector, del tanque de acumulación y las aislaciones fueron basados en los resultados obtenidos en un prototipo similar anterior. La caracterización térmica del prototipo fue realizada en las peores condiciones climáticas: en época fría y con el tanque de acumulación a la intemperie. En estas condiciones se evaluó la tasa de enfriamiento nocturno del agua del tanque de acumulación y se comparó el enfriamiento con su ubicación en el interior de la vivienda (que es donde se aconseja instalarlo en este trabajo). Todas las mediciones térmicas se realizaron en la Ciudad de Salta, en los meses de junio y julio. Las temperaturas fueron medidas con termocuplas de cromel-alumel y sus registros se realizaron a través de adquisidores de datos MyPCLab de NOVUS. La medición de la irradiancia solar se realizó en el plano del colector con un solarímetro fotovoltaico.

### *El colector*

El colector del prototipo consta de un absorbedor construido con 100 metros de manguera negra de PEBD calidad K4. Este material es muy resistente y de relativo bajo costo, y presenta una excelente

absorción del espectro solar. Por ejemplo, la Fig. 2 muestra comparativamente la rapidez de calentamiento solar del agua contenida en distintas mangueras de PEBD de varios diámetros. En esta experiencia las mangueras fueron cubiertas con una lámina de policarbonato alveolar de 4 mm, y sometidas simultáneamente a la misma radiación ( $I= 960\text{W/m}^2$ ).

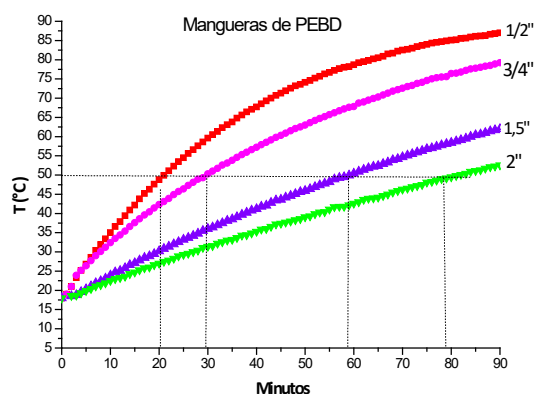


Figura 2: Evoluciones de temperaturas por calentamiento solar de agua contenida en distintas mangueras de PEBD.

La Tabla 1 muestra para las distintas mangueras las tasas promedio de aumento de temperatura de agua hasta los 50 °C.

Tabla 1: Tasas promedio de aumento de temperatura del agua dentro de las distintas mangueras.

Diámetro de manguera (pulgadas)	Tasa de aumento de Temperatura(°C/min)
0,5	1,7
0,75	1,1
1,5	0,6
2	0,4

Si bien la manguera de 1/2" presenta una interesante velocidad de calentamiento de 1,7 °C/min, lo que satisfaría el requerimiento de rápida respuesta térmica de diseño, su aplicación podría producir un sobre calentamiento en verano (la temperatura máxima de uso del PEBD es de 80 °C), por lo que fue desechada su utilización. Eligiéndose la manguera de 3/4" ya que no alcanzaría a sobrecalentarse en un día. Los 100 m de manguera de 3/4" fueron dispuestos en forma de espiral sobre una chapa galvanizada de 0,5 mm de espesor, que ocupa una superficie cuadrada de 1,94m x 1,94m. La chapa fue previamente desengrasada y recubierta con una fina capa de pintura negro mate para altas temperaturas. Las espiras se dispusieron separadas una distancia de aproximadamente el diámetro de la manguera, con el objetivo de evitar sombreados mutuos, y así incrementar el área neta de absorción de la manguera Fig. 3.

El cuadro exterior del colector de 2m x 2m fue confeccionado con tablas de madera de 12 cm de ancho y 1,5 cm de espesor. A esta estructura se la recubrió internamente con una aislación de 3 cm de espesor de poliestireno expandido de baja densidad. La Fig. 4 muestra un esquema de la disposición de la aislación y las medidas del colector



Figura 3: Foto de ubicación de la manguera absorbadora mostrando la separación entre espiras.

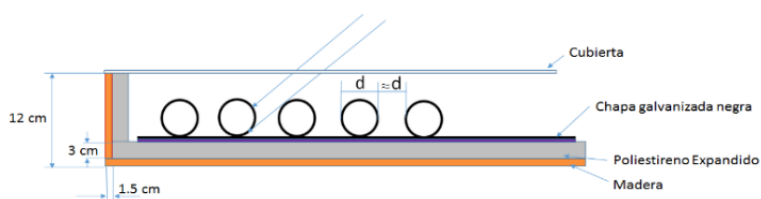


Figura 4: Esquema del corte del colector

### La cubierta del colector

Para obtener un sistema que pueda llegar a, por lo menos, los 50 °C en épocas frías el policarbonato alveolar es un buen candidato para la utilización como cubierta gracias a su gran aislación térmica. Pero en su reemplazo se empleó una cubierta más económica y con cualidades similares. Se utilizó una cubierta de doble capa: una externa resistente al UV de film para invernadero de 150  $\mu\text{m}$  de espesor, y otra que va por debajo, también transparente y además aislante, de polietileno con burbujas de aire "PB" (Pluribol) de 10 mm. Esta dupla posee cualidades muy parecidas al policarbonato alveolar de 4 mm de espesor (Fig. 5), pero con su empleo el costo de la cubierta es un 60 % menor. La Tabla 2 muestra la transmitancia solar global (Flores Larsen y Lesino, 2003) para incidencia normal del policarbonato alveolar de 4 mm, y de los materiales utilizados para su reemplazo.

Tabla 2: Valores de transmitancia solar global de los materiales utilizados en la cubierta y del policarbonato alveolar de 4 mm.

MATERIAL	Transmitancia solar
Film de invernadero de 150 micrones	0,91
capa de PB de 10 mm	0,87
Film de invernadero de 150 micrones + capa de PB de 10 mm	0,80
Policarbonato alveolar de 4 mm	0,81

La Fig. 5 (a) muestra los calentamientos comparativos simultáneos logrados con: cubierta con simple film de invernadero, doble cubierta conformada con film de invernadero + PB, y cubierta de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor. Puede observarse que el desempeño en el calentamiento de la doble cubierta de bajo costo, propuesta en este trabajo, es similar al de una cubierta convencional de policarbonato alveolar de 4 mm, incluso esta dupla es levemente más aislante (Fig. 5 (b)).

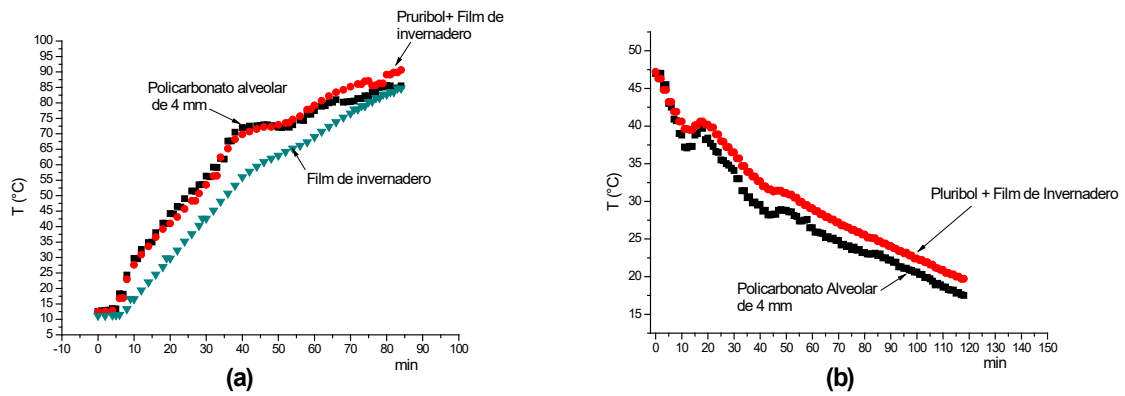


Figura 5: Comparación de las cubiertas, (a) para calentamiento, (b) para enfriamiento.

### El Tanque de acumulación

Está compuesto por dos tanques, ambos de plástico, uno interno de 110 litros que contendrá el agua caliente, y otro externo de 200 litros. La aislación del tanque se pensó para cumplir el requerimiento de mantener la temperatura del agua a por lo menos 40 °C en noches frías, cumpliendo con la condición planteada de bajo costo. Para ello, entre ambos tanques se colocó una aislación compuesta por dos capas, una contigua al tanque interno de membrana de espuma de polietileno de 5 mm de espesor, con dos caras de film de aluminio (que es reflectante IR). Y otra que recubre a la anterior realizada con placa de poliestireno expandido de 50 mm de espesor. Esta última fue dispuesta en forma de listones longitudinales en los laterales, y en forma de discos en la parte inferior y superior. En cuanto a la disposición del tanque se optó por la vertical para favorecer la estratificación y la instalación en el interior de la vivienda. Entonces, como el tanque de acumulación en un uso normal se dispondrá verticalmente en el interior de la vivienda, cuatro conexiones (todas de 1/2") se efectuaron en su base: una para el consumo de agua caliente, una para la recarga de agua desde un tanque elevado, y dos más para la recirculación con el colector. La manera de disponer estas conexiones se basó en las recomendaciones dadas por (INTA, 2015), Fig. 6. Como el tanque trabaja presurizado, en la parte superior del tanque se situó la salida de purgado de aire. El tanque domiciliario estará ubicado apenas por encima del tanque de acumulación (aproximadamente de 1 a 1,5 m) por lo que no hay peligro de sobrepresión en este.

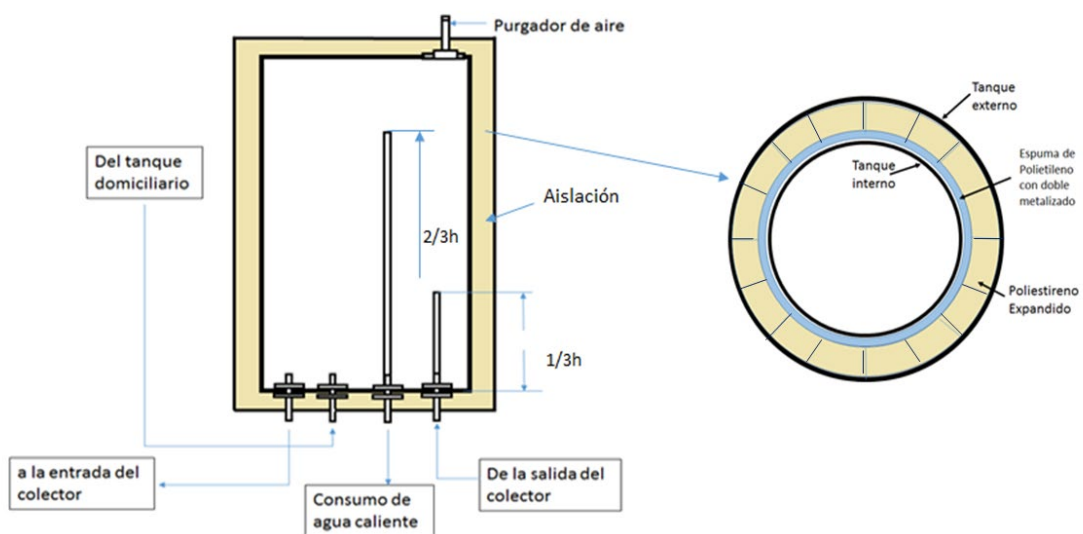


Figura 6: Conexiones del tanque de acumulación, y detalle de la aislación.



### **La bomba de recirculación y el panel fotovoltaico**

En este prototipo se utilizó una bomba de recirculación de 5 Watts que trabaja con una tensión nominal de 12 Voltios, ésta posee un caudal nominal de 1,5 litros/min. El panel fotovoltaico utilizado, de Si policristalino, también es de 5 Watts. El panel fue ubicado enfrentado al Norte con un ángulo de elevación de 60° (inclinación para invierno). La Fig. 7 muestra las fotos de la bomba y del panel.



Figura 7: Fotos, de la bomba y del panel fotovoltaico (ambos de 5W).

## **RESULTADOS**

### **Mediciones hidráulicas**

Se observó cómo varía el caudal diario proporcionado por la bomba en función de la irradiancia solar sobre el panel fotovoltaico, y se determinó el valor de irradiancia necesario para el arranque de la misma. Para comparar, se lo hizo en dos situaciones: con la bomba libre de carga hidrodinámica (bombeo fuera del circuito colector–tanque), y con la bomba en situación de operación normal (ubicada en el circuito colector–tanque). La Fig. 8 muestra los resultados. En ambas situaciones la bomba arranca con una radiación sobre el plano del panel de aproximadamente 350 W/m<sup>2</sup>. En todos los regímenes se observa que, el caudal con la bomba trabajando en el circuito colector–tanque, en promedio cae al 35 %, comparando con el caudal aportado por bombeo libre. Lo que muestra que la bomba (5 W), a pesar de la extensión de la manguera que compone el circuito hidrodinámico, no trabaja sobre exigida en ninguno de los regímenes.

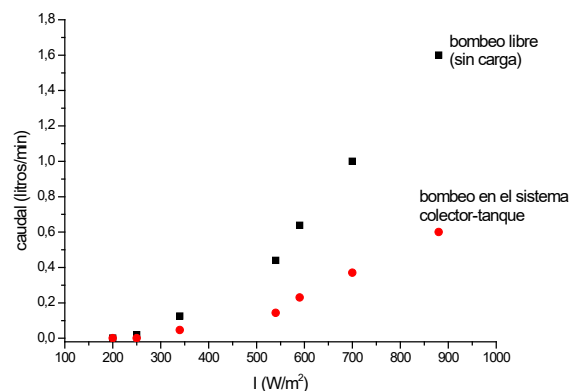


Figura 8: Caudal aportado por la bomba en función de la irradiancia incidente sobre el panel fotovoltaico, con la bomba: trabajando sin carga hidrodinámica, y trabajando en el sistema.

### **Calentamiento del agua del tanque**

Para las mediciones térmicas el colector fue ubicado con orientación Norte, con una inclinación de 12° respecto de la horizontal simulando la pendiente de un techo. Se midieron las evoluciones de temperatura del agua del tanque y del ambiente externo, además de la irradiancia en el plano del colector. El sensor

de temperatura, teniendo en cuenta la estratificación del agua del tanque, fue ubicado a la mitad de su profundidad. La Fig. 9 muestra las evoluciones de temperatura en un día soleado de invierno, ese día la temperatura máxima alcanzada por el agua del tanque fue de 52 °C, a las 15:10 hs.

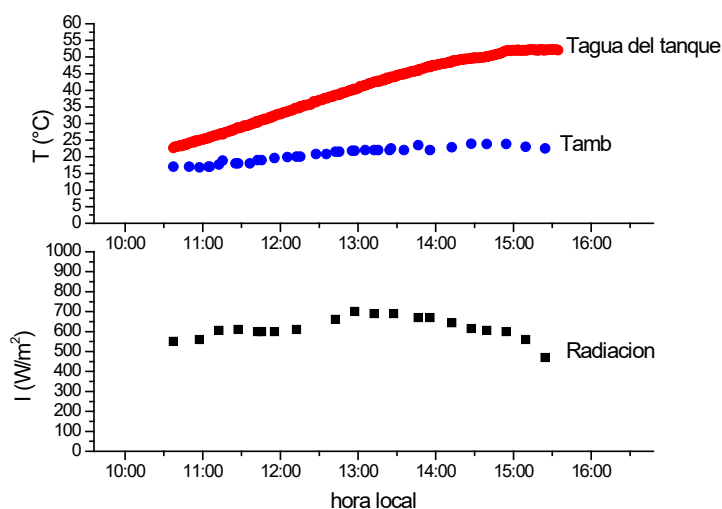


Figura 9: Calentamiento del agua del tanque.

### Enfriamiento del agua del tanque

Se evaluó la aislación del tanque a través de la tasa de enfriamiento (en °C/hora) del agua contenida en él. Esto se realizó durante cuatro noches (luego de que el agua del tanque fuera calentada en una jornada solar) en las que se registraron temperaturas ambientes diversas y estables (con poca dispersión de temperatura), cuyos promedios fueron de los 4 °C a los 22 °C. Los períodos de enfriamiento fueron aproximadamente de 8 horas. La Fig. 10 muestra la gráfica obtenida. La experiencia en la cual la temperatura externa fue en promedio de 22 °C, representa el equivalente de ubicar al tanque en el interior de la vivienda, en tal caso la tasa de enfriamiento es de 0,47 °C/hora.

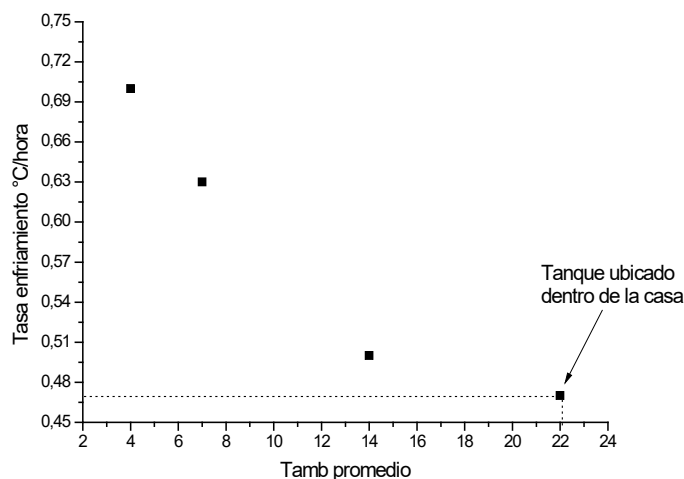


Figura 10: Tasas de enfriamientos del agua del tanque en distintas condiciones de temperatura ambiente promedio.

Queda claro, que la estrategia recomendada aquí de ubicar el tanque en el interior de la vivienda (por ejemplo: en la cocina, o el baño) puede, en noches muy frías, disminuir la tasa de enfriamiento en un 67 %, respecto de si se lo instala en el exterior. De esta manera se aprovecha más eficiente el agua caliente generada por el colector. De los datos anteriores vemos que, si el tanque se ubica en el interior

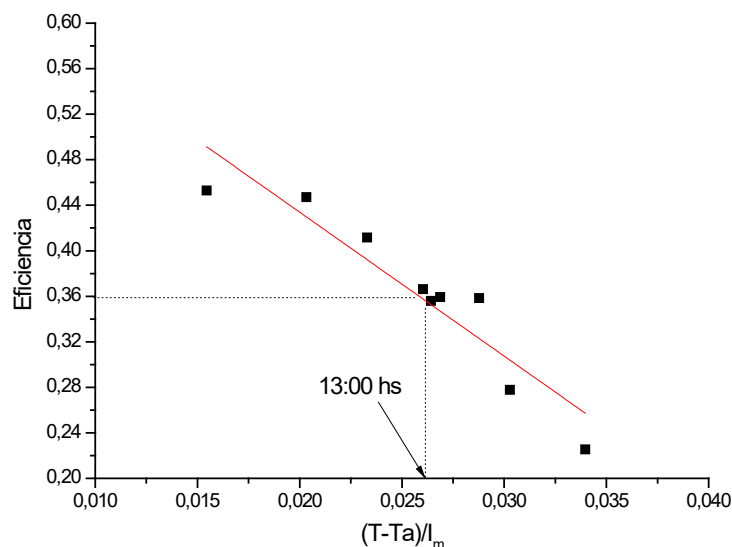
de la vivienda, en una jornada de invierno en la que el agua del tanque llega a una temperatura máxima de 52 °C, con una tasa de enfriamiento promedio de 0,47 °C/hora, el agua del tanque a las 07:00 hs de la mañana estará a una temperatura útil de aproximadamente 44 °C, valor que coincide con lo medido experimentalmente, cumpliendo con un objetivo de diseño planteado aquí.

### **Estimación de la eficiencia instantánea**

Se estimó la eficiencia de conversión térmica del sistema completo colector-tanque de acumulación. Para lo cual se utilizaron los datos registrados para la obtención de la gráfica de la Fig. 9. Los datos son las evoluciones de temperatura del agua del tanque y del ambiente externo ( $T_a$ ), además de la irradiancia en el plano del colector. Se consideraron los saltos incrementales de temperatura del agua del tanque  $\Delta T = T(t+\Delta t) - T(t)$  en intervalos de tiempo  $\Delta t = 30$  minutos. Se utilizó la expresión de la Ec. (1) que relaciona para cada  $\Delta t$  el calor útil absorbido por el agua del tanque y la energía que llega al área "A" del colector (4 m<sup>2</sup>).

$$\eta = m C_p \Delta T / I_m A \Delta t \quad (1)$$

Para esta estimación se consideró como "m" solo a la masa de agua contenida en el tanque, 110 Kg.  $I_m$  es el valor promedio de la irradiancia en cada intervalo de tiempo  $\Delta t$ , y  $C_p$  es el calor específico del agua. La Fig. 11 muestra la gráfica de eficiencias instantáneas obtenida para el sistema completo (colector más tanque de acumulación).



*Figura 11: Eficiencia instantánea sistema completo (colector-tanque de acumulación).*

De la regresión lineal de los puntos de la gráfica se obtuvo la ecuación de eficiencia, Ec. (2)

$$\eta = 0,68 - 12 (T-T_a) / I_m \quad (2)$$

Se observa por ejemplo que, el día en que se realizó esa medición a las 13:00 hs el agua llegó a una temperatura útil de 42 °C, y el prototipo operó en ese momento con una eficiencia estimada del 36 %.

### **COSTOS**

En la Tabla 3 se detallan los costos de los materiales utilizados para la elaboración del prototipo.

*Tabla 3: Costos en pesos de los elementos y materiales utilizados en la elaboración del prototipo (costos minoristas, julio de 2022).*

<b>Elementos y Materiales</b>	<b>Costo en pesos argentinos</b>
Bomba de 5 Watts	2.500
Panel fotovoltaico de 5 Watts	4.100
100 m de manguera de PEBD k4	8.200
Tanque plástico de 110 litros	1.200
Tanque plástico de 200 litros	1.500
Uniones plásticas para las conexiones	6.100
Cubierta	700
Aislación	800
Marco del colector	8.300
	<b>COSTO TOTAL: \$ 33.400</b>

## CONCLUSIONES

Se presenta un sistema calentador de agua solar por recirculación forzada de bajo costo cuyo dimensionamiento puede, en época invernal, satisfacer los requerimientos diarios de ACS de una familia.

El prototipo elaborado mostró en invierno, en un día soleado, que puede calentar 110 litros de agua a una temperatura máxima de 52°C, temperatura alcanzada a las 15:10 hs.

Para disminuir las pérdidas de calor del tanque de acumulación, se recomienda ubicarlo en el interior de la vivienda. De esta manera la tasa de enfriamiento puede reducirse en un 67 % respecto de si se lo dispone en el exterior. Con esta estrategia, en invierno a las 07:00 hs de la mañana se puede acceder a agua a más de 44 °C.

La automatización a través de un sistema basado en un bombeo fotovoltaico de muy baja potencia (5W) es sencilla y eficiente.

El sistema es fácil de elaborar y sus características constructivas propician la auto construcción. Pero, al utilizarse materiales plásticos de bajo costo, y para preservar sus propiedades, se deberían tener los recaudos necesarios para evitar el sobrecalentamiento en verano. Sobre todo, en el contacto de la superficie absorbadora con la aislación de poliestireno expandido.

El concepto presentado aquí, puede replicarse fácilmente a sistemas de mayor área de captación, con la posibilidad de generar grandes cantidades de agua caliente para satisfacer demandas mayores (centros comunitarios, escuelas, pequeños emprendimientos agrícolas etc).

Para favorecer la replicación de este tipo calefón solar, se proyecta la elaboración de un manual de construcción y mantenimiento, y la realización de talleres de construcción.

Este sistema puede implementarse en comunidades aisladas del NOA a través de proyectos de extensión con apoyo educativo, permitiendo que puedan elaborar su propio calefón solar, mejorando así sus condiciones de vida. Lo cual estamos realizando a través del proyecto “Energías Renovables en los Cerros de Salta: Construyendo Redes de Colaboración para el Buen Vivir” de la convocatoria PTIS-PROCODAS.

## REFERENCIAS

Abdela, Umer. (2019) Review on Environmental and Social Impacts of Rural Household Traditional Biomass Energy Utilization. Journal of Energy Technologies and Policy, Vol.9, No.9. pp.1-13.

- Di Lalla N., Juanicó L. E. (2016) Nuevo colector solar térmico de bajo costo de flujo forzado autónomo por panel fotovoltaico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 20, pp. 03.33-03.44.
- Emanuelli P., Duarte E., Milla F. (2016). Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD). Technical Report. Dirección URL: <<https://www.researchgate.net/publication/312138970>>.
- Flores Larsen, S. y Lesino G. (2003). Estudio energético de cubiertas translúcidas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 7, Nº 2, pp. 8.67-8-72.
- Grossi Gallegos H., Righini R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina, Universidad Nacional de Luján.
- INTA (2015) Libro: "Termotanque solar de agua. Construcción de Tecnologías Apropriadas". INTA Ediciones. Dirección URL: <<https://inta.gob.ar/documentos/termotanque-solar-de-agua>>.
- Khalifa N. (1998). Forced versus natural circulation solar water heaters: A comparative performance study. *Renewable Energy*, Vol. 14, pp. 77-82.
- OMS. (2021). Contaminación del aire doméstico y salud. Dirección URL: <<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>>.

### LOW COST SOLAR HEATER WITH FORCED CIRCULATION

**ABSTRACT:** In order to promote self-construction of low-cost thermal converter systems, the results obtained in the design, elaboration and characterization of a forced recirculation solar water heater prototype, are presented. It was sought to obtain a system of simple construction with easily accessible materials to satisfy the hot water demands of a single-family home. The prototype consists a 2m x 2m collector, made with a 100 meters spiral of ¾" low density polyethylene hose. A 110 liters thermal storage hot water tank was built. A 5 W 12 V pump was used, powered by a 5 W mini photovoltaic panel, these produce the recirculation of water between the collector and the tank. On sunny winter days, with the storage hot water tank located outside, the water reached the maximum temperature of 52°C, and the thermal efficiency of the prototype at noon was approximately 36 %. Due to the strategy of locating the storage tank inside the house, the hot water-cooling rate was an average of 0,47 °C/hour, which allowed access to water at 44 °C in the morning.

**Keywords:** solar heater, forced circulation, low cost.