

## DESARROLLO Y ENSAYO DE UN PROTOTIPO DE PANEL SOLAR DE AIRE CALIENTE. INDUSTRIALIZACIÓN PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Soledad E. Andreoni Trentacoste<sup>1,2</sup>, Fabiana Mansilla<sup>1</sup>, Jorge Oliva<sup>1,3</sup>, Claudia Elizabeth Dido<sup>1</sup>, Gerardo Wadel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo GESTADIS, Facultad Regional Trenque Lauquen, Universidad Tecnológica Nacional

<sup>2</sup> Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE – CONICET)

<sup>3</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Diseño Urbano (UNLP - FADU)

**RESUMEN:** En el marco del proyecto de investigación y desarrollo “INDEEV, Industrialización para la eficiencia energética de la vivienda” de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Trenque Lauquen, se presenta el desarrollo y ensayo de un prototipo de panel solar de aire caliente destinado a calefacción pasiva. El sistema, basado en un diseño previo adaptado a las condiciones locales, fue construido con materiales de bajo costo y fácil acceso, con el objetivo de evaluar su potencial para mejorar el confort térmico y reducir el uso de calefacción convencional. El panel se instaló en el laboratorio de eficiencia energética de la UTN FRTL y se monitoreó su desempeño mediante un protocolo de toma de datos que incluye variables térmicas, climáticas y de flujo de aire. Los ensayos, realizados bajo condiciones invernales, registraron incrementos de temperatura del aire superiores a 30 °C y eficiencias instantáneas entre 40 % y 45 %. Los resultados demuestran la viabilidad técnica del sistema y sientan las bases para optimizar su diseño mediante simulación dinámica, con vistas a su futura industrialización y aplicación en viviendas nuevas y existentes.

**Palabras clave:** energía solar, calefacción pasiva, eficiencia energética.

### INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de emergencia climática y la necesidad imperante de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la transición hacia fuentes de energía renovable se ha convertido en una prioridad global.

En el sector edilicio, uno de los principales consumidores de energía a nivel global, la climatización (tanto para calefacción como para refrigeración) representa un porcentaje significativo del consumo final. En Argentina, la matriz energética continúa dominada por fuentes fósiles, que en 2022 representaron alrededor del 85% de la oferta primaria de energía, mientras que las energías renovables (incluyendo hidráulica, eólica, solar y biomasa) aportaron cerca del 15% (Balance Energético Nacional, 2022). Este escenario evidencia un amplio margen de mejora considerando el elevado potencial renovable del país, especialmente en energía solar, dada la disponibilidad de altos niveles de irradiancia en gran parte del territorio.

Entre las distintas tecnologías solares, la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsada por políticas de fomento y reducción de costos de equipamiento. Sin embargo, la energía solar térmica, particularmente en su aplicación para climatización de espacios y agua sanitaria, presenta aún un desarrollo incipiente pese a su gran potencial para reducir la demanda energética convencional (Canafoglia, 2020). Dentro de estas soluciones, los colectores solares de aire (incluyendo los muros Trombe y variantes de calefactores solares pasivos) ofrecen ventajas como simplicidad constructiva, bajo costo de operación y fácil integración en edificaciones existentes. No obstante, gran parte de los sistemas desarrollados en el país han sido prototipos no industrializados, limitando su masificación y la posibilidad de garantizar estándares de calidad y



durabilidad. La industrialización de estos dispositivos permitiría optimizar su desempeño, reducir costos mediante economías de escala y facilitar su adopción en el mercado de la construcción.

El desafío para nuestro país es múltiple: se requiere afrontar el crecimiento de la demanda energética y a la vez reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el caso del sector edilicio, esto se puede lograr, como ya es ampliamente reconocido a nivel global, a través de la aplicación de estrategias bioclimáticas de diseño (orientación del edificio, aislación térmica, materiales utilizados, ganancia directa, etc.), rehabilitación energética edilicia y uso de sistemas pasivos o híbridos de acondicionamiento que involucren energías renovables (Filippín & Larsen, 2023).

La literatura internacional menciona ampliamente el uso y análisis de calentadores de aire mediante el aprovechamiento de energía solar térmica para calefacción (Singh et al., 2022). Estudios realizados por (Gainza-Barrencua et al., 2021, 2022) presentan conclusiones significativas respecto a la reducción en el consumo energético asociado a calefacción en edificios que implica la incorporación de calentadores solares de aire. Se puede reducir desde un 25% en climas cálidos hasta un 58% en climas fríos, concluyendo a su vez que los climas fríos con alta radiación solar directa son ideales para este tipo de tecnologías.

A fines de los '70, ante un escenario de crisis del petróleo, se emprendieron en nuestra región numerosos desarrollos tecnológicos que aprovechaban la energía solar aplicada a diferentes problemáticas. Teniendo en cuenta que nuestro territorio cuenta con una gran diversidad climática y solar, se llevaron a cabo múltiples estudios y emprendimientos relacionados con la aplicación de sistemas solares térmicos pasivos (Discoli et al., 2023). Actualmente, Argentina se encuentra en una etapa de expansión de la energía solar térmica, lo que representa no solo una alternativa ecológica en el consumo y producción de energía sino también un ahorro económico a partir de la reducción en el consumo de combustibles fósiles. Respecto a la aplicación de las instalaciones solares térmicas en el país, para el año 2019 el 61% de las instalaciones se realizaron para agua caliente sanitaria domiciliaria, seguidas por un 16% para climatización de piscinas, un 10% para calefacción, un 9% para procesos industriales y un 4% para instalaciones comerciales (INTI, 2020).

En el trabajo realizado por (Hernández et al., 2007) se presentan los resultados del primer ensayo del comportamiento térmico de un colector solar calentador de aire de *loop* convectivo vertical para calefacción. Los mismos muestran que con sólo  $326 \text{ W/m}^2$  sobre plano vertical al norte el aire de salida superaba al de entrada en  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . La máxima temperatura alcanzada por el aire a la salida fue de  $74 \text{ }^\circ\text{C}$  al mediodía solar (13:27 hs), cuando la temperatura ambiente era de  $19 \text{ }^\circ\text{C}$ , logrando elevar  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  la temperatura del aire dentro del colector. Así mismo, se concluye en el estudio que con un caudal promedio diario de  $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$  la eficiencia media del prototipo ensayado fue del 20 %, con valores instantáneos comprendidos entre 7 y 28 %.

Estudios previos (Viegas et al., 2023) analizan el aporte de calor en invierno de calefactores solares de aire para acondicionar el ambiente interior en viviendas. Los resultados muestran que, al evaluar 10 días corridos con buena heliofanía, el calefactor registra temperaturas máximas entre  $40$  y  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . En un día con buena heliofanía ( $700 \text{ W/m}^2$  de radiación solar máxima), el calefactor alcanza  $47,5 \text{ }^\circ\text{C}$  en la salida del aire caliente, mientras que en el interior de la vivienda las máximas son de  $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , es decir, casi  $5^\circ\text{C}$  por sobre la temperatura máxima. Lo que demuestra un buen funcionamiento del sistema como aporte de calor.

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación y desarrollo -PID-, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Trenque Lauquen, titulado "INDEEV, Industrialización para la eficiencia energética de la vivienda. Diseño de productos y de producción industrial de componentes para la mejora térmica de la envolvente y la gestión de la energía natural en edificios residenciales." El objetivo principal del proyecto se centra en contribuir a la reducción de la demanda de energía y de las emisiones de GEI en edificios residenciales, así como al aumento del confort en los espacios interiores de las viviendas. Mediante el desarrollo de un sistema de calefacción pasiva a partir de un panel solar de aire que, al utilizar un recurso gratuito y renovable como es el calor del sol, permite limitar el uso de sistemas de calefacción convencionales mejorando el confort térmico.

En un proyecto previo realizado en 2019-2022 (Wadel et al., 2022), se investigó sobre acciones de eficiencia energética en la edificación para obra nueva y existente en las condiciones del área oeste de la Provincia de Buenos Aires, sentando las bases del proyecto en desarrollo.

Este trabajo presenta el desarrollo y ensayo de funcionamiento de un panel solar de aire caliente, instalado en la ciudad de Trenque Lauquen, Provincia de Buenos Aires. Se presenta una herramienta metodológica que establece un protocolo de toma de datos mediante el cual se lleva a cabo el estudio realizado. Se presentan resultados parciales del proyecto ya que el mismo se encuentra en desarrollo. Se pretende realizar a futuro estudios mediante simulación dinámica para establecer mejoras en el diseño que permitan el ajuste en el desarrollo del equipo para su posterior industrialización y comercialización.

## **METODOLOGIA**

### ***Diseño y construcción del panel***

El diseño del panel solar de aire caliente parte de la adaptación de un modelo de “Calentador solar de aire” (Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), 2011), conformado principalmente por:

- a) una caja aislada que contiene a la superficie absorbedora, protegida de las pérdidas de temperatura y las inclemencias del tiempo. La misma posee una cubierta con una superficie transparente, permitiendo el paso de la radiación solar.
- b) una superficie absorbedora, encargada de la captación y transferencia de calor al aire producida por la radiación solar,
- c) conexiones entre el calentador y la habitación por medio de cuatro conductos, dos superiores y dos inferiores, que atraviesan la pared de la habitación.

Partiendo del diseño relevado en los antecedentes mencionados, se procede a la adaptación del diseño a la situación local (Wadel et al., 2024), para confeccionar la lista de materiales y herramientas necesarios para la construcción del prototipo. Estos son:

- Materiales: panel SIP o placa OSB, 2 tirantes de madera de 0.04 m x 0.05 m, 2 tirantes de madera de 0.04 m x 0.03 m, 2 m<sup>2</sup> de chapa acanalada, panel de policarbonato alveolar translúcido (esp.: 4mm - 1,02 m x 2,02 m), 2 tapas PVC (diámetro: 0,11 m), 2 tapas PVC (diámetro: 0,63 m), 2 tapones tipo Awaduct (diámetro: 0,63 m), 2 m de caño PVC (diámetro: 0,11 m - espesor: 0,005 m), 10 tornillos c/tuerca de 0,02 m largo, 1,5 m cadena fina galvanizada, 0,5 Kg clavos espiralados 1 1/2", 0,5 Kg cola vinílica resistente al agua, 1 cartucho de sellador de silicona, 10 tarugos Ø 8 mm, 10 tirafondos Ø 8 mm, 0,5 l de convertidor de óxido negro mate, 0,5 l de aguarrás.
- Herramientas: sierra circular, taladro atornillador, sierra de mano, martillo, amoladora eléctrica, martillo roto percutor, llaves varias de tubos.

Partiendo de la lista confeccionada, en mayo de 2024 se realizó un primer presupuesto para la compra de materiales e insumos necesarios, que varió al momento de realizar la compra debido a la situación inflacionaria nacional. Los costos finales se presentan en la tabla 1. Los mismos se expresan tanto en pesos como en dólares, utilizando para ello la cotización informada por el Banco de la Nación Argentina el 8 de agosto de 2024, de 915,5 pesos por dólar.

Tabla 1: Costos de los materiales para la construcción del panel.

	Material	Medidas	Cantidad	Precio \$	Precio U\$S
Fm Maderas	Placa OSB	Plancha 9mm	1	\$ 26.000,00	28,4
	Tirantes	1,5" x 2m	2	\$ 23.000,00	25,1
	Tirantes	1,5" x 1,15	2		
	Cola Vinilica		1	\$ 4.900,00	5,4
Sub Total				\$ 53.900,00	58,9
Metalúrgica Centro	Chapa Acanalada	(por m)	2	\$ 25.200,00	27,5
Sub Total				\$ 25.200,00	27,5
Oscar Trionfetti	Polycarbonato	Esp.:4mm - 1,02 x 2,02m	1	\$ 43.000,00	47,0
Sub Total				\$ 43.000,00	47,0
CP Materiales	Tapas PVC	Diam.:110	4	\$ 1.981,08	2,2
	Tapon awaduct	Diam.:63		\$ 2.928,96	3,2
	Caño PVC	Diam.:110 - 2m Esp: 0.5mm	1	\$ 7.983,00	8,7
	Sellador Acrílico Grieta		1	\$ 7.067,00	7,7
Sub Total				\$ 19.960,04	21,8
Argen Fer	Bulón Galv. 1/4			\$ 442,14	0,5
	Tuerca Galvanizada			\$ 177,85	0,2
	Arandela Galvanizada			\$ 584,87	0,6
	Clavos Espiralados	1"	0.5Kg	\$ 1.373,46	1,5
	Sellador Silicona	-	1	\$ 3.998,00	4,4
	Tarugos del 8	-	10	\$ 942,23	1,0
	Tirafondos del 8	-	10	\$ 1.027,48	1,1
Sub Total				\$ 8.546,03	9,3
Pint.Urquiza	Uxell Conv. Óxido Color		1,5Lt.	\$ 7.800,00	8,5
	Aguarras		1Lt.	\$ 2.600,00	2,8
	Pincel	Nº 20	1	\$ 1.800,00	2,0
Sub Total				\$ 12.200,00	13,3
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 162.806,07</b>	<b>177,8</b>

El panel se construyó a partir de una caja de madera cuyas dimensiones son: 1,02 m x 2,02 m. Como se puede observar en las imágenes de la figura 1, en el fondo de la caja se realizaron las aberturas para permitir la circulación de aire en el panel, colocando por el lado de atrás 4 tubos de 0,11 m de diámetro (2 abajo y 2 arriba). Luego se colocaron la aislación, la chapa acanalada la cual fue pintada con convertidor de óxido color negro mate y el polycarbonato alveolar de 4mm. Cabe aclarar que en la foto de la figura 1 la chapa se encontraba recientemente pintada por lo que da la impresión de tener brillo, sin embargo, una vez seca la pintura, la superficie tiene acabado mate reduciendo la reflectancia y mejorando la absorción térmica.

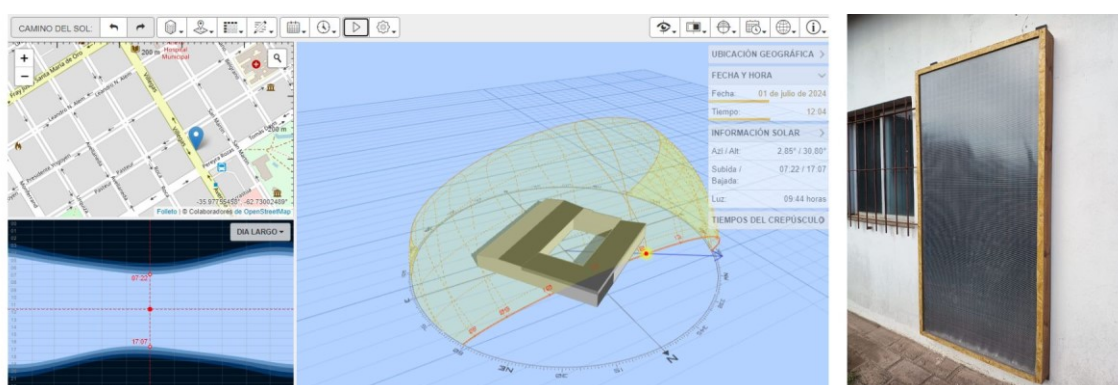


Figura 1: Fotografías durante el proceso de construcción del panel.

### ***Instalación en un espacio edilicio***

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Trenque Lauquen, Provincia de Buenos Aires. La misma se ubica al noroeste de la provincia (latitud:  $-35,970^\circ$ , longitud:  $-62,734^\circ$  y 91 m s. n. m.) y se sitúa en la zona bioclimática III a, templada cálida y seca. De acuerdo con datos de la estación meteorológica Pegasus ubicada en el Club de Planeadores de Trenque Lauquen, a una distancia de 5.6 km del edificio de la UTN FRTL, las temperaturas diarias medias mínimas y máximas oscilan entre  $18^\circ\text{C}$  y  $30^\circ\text{C}$  en verano y entre  $3^\circ\text{C}$  y  $18^\circ\text{C}$  en invierno. La humedad relativa del ambiente varía entre el 37% y el 72% en verano y el 55% y el 95% en invierno. La estación estival tiene cielos mayormente despejados y la invernal parcialmente nublados. Las precipitaciones mensuales están por encima de los 150 mm, con un descenso entre los meses de mayo y agosto.

El panel se instaló en un muro del laboratorio de eficiencia energética, en el edificio de la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SCyT), UTN FRTL. Se determinó la mejor orientación para la colocación del panel utilizando la herramienta de acceso libre y en línea 3D Sun Path que requiere la ubicación geográfica precisa del edificio y un modelo 3D del mismo, este último se realizó con el software Sketchup. El análisis se centró en la cantidad de horas de sol que inciden tanto en la fachada del edificio como en el muro interno de la misma. El análisis reveló que para un día de invierno la fachada principal recibe aproximadamente 3 horas de sol, mientras que el muro interno recibe unas 6 horas, antes de que las sombras obstruyan la captación de luz. Con base en la orientación del edificio de la SCyT ( $-35.9775682$ ,  $-62.732479$ , 17) y el análisis de la luz solar, se concluyó que la mejor opción de instalación para el panel es el muro interno. Sin embargo, tras evaluar las actividades de obra necesarias para la instalación, se decidió finalmente ubicar el panel en el espacio del laboratorio de eficiencia energética. Este laboratorio cuenta con un muro que da a un patio trasero, el cual tiene la misma orientación que el muro interno analizado.



*Figura 2: Análisis de la orientación para la colocación del panel y fotografía del panel instalado.*

### ***Protocolo de toma de datos***

Para poder evaluar, estudiar y cuantificar el comportamiento del panel solar de aire caliente en condiciones reales de funcionamiento, se estableció un protocolo de toma de datos cuyas etapas se exponen a continuación:

- **1er etapa:** Esta etapa comprende la descripción del edificio (materialidad, dimensiones, etc), complementando con documentación técnica de ser posible. Así mismo se detalla el ambiente donde se instala el sistema (panel). En caso de contar con equipamiento de climatización convencional instalado, deben mencionarse junto con su ubicación.

Para llevar a cabo la etapa inicial del protocolo en este estudio, se realizó un relevamiento del edificio y las características de este.

- **2da etapa:** En esta etapa se define la metodología de medición de parámetros objetivos. Se establecen las variables de monitoreo y el equipamiento a utilizar para la toma de datos. Así mismo se determina la ubicación de los equipos de medición según antecedentes y características de la medición. Se define a su vez el formato de registro de fechas y horas de la toma de datos y de condiciones climáticas.

Para el análisis realizado en este estudio, se instaló dentro del laboratorio una pc que forma parte del sistema de medición para el registro de los datos. Los sensores que miden la temperatura y humedad en la entrada y salida del panel están conectados a una placa Arduino, utilizando el IDE de Arduino para programarla. Los datos obtenidos por Arduino a través del puerto serial se configuraron para ser procesados por un programa desarrollado en Python. Una vez procesados, estos datos se guardan en un archivo .csv, lo que permite una manipulación eficiente de la información.

Los datos registrados no solo se almacenan para su posterior análisis, sino que también pueden ser consultados en tiempo real a través de un bot de Telegram al cual se puede acceder por medio de un enlace lo que permite monitorear la información de los sensores en tiempo real y descargar todas las mediciones registradas desde cualquier ubicación.

A su vez se utilizaron los siguientes instrumentos de medición para los registros no automáticos (tabla 2):

Tabla 2: Instrumentos utilizados para la toma de datos.

Instrumento	Modelo	Parametros Medidos	Rango de Medición	Exactitud	Características Destacadas
Termómetro de Ambiente		Temperatura del aire	No especificado	No especificado	Instalado en el laboratorio, cerca de los sensores para comparación.
Termómetro de Contacto	Testo 915 i	Temperaturas en superficies	-50 a +350 °C	±1,0 °C	Sonda tipo K clase 1, banda termopar flexible: app Testo Smart para visualización y registro.
Anemómetro	LM-8000	Velocidad del aire y presión barométrica	Aire: 0,4 a 30,0 m/s (res. 0,1 m/s) Presión: 10 a 1100 hPa. (res. 0,1 hPa)	Aire: ±3 % F.S. (< 20 m/s) ±4 % F.S. (> 20 m/s). Presión: ±1,5 hPa / ±2 hPa	Conversión a km/h; caracterización del flujo: alta precisión. Certificado de calibración.
Cámara Termográfica	Testo 875	Temperatura superficial; imágenes térmicas	-20 a +100 °C y 0 a +280 °C	±2 °C o ±2 % del valor medido	Equipo Clase 2. Sensibilidad <80 mK; resolución 160 x 120 px. Software profesional de análisis térmico.
Medidor Portátil de Energía Solar	Tenmars TM-206	Radiación solar	hasta 1999 W/m² BTU/(ft²*h) Res. 0,1W/m²	±10 W/m² o ±5 % (el mayor)	Lectura rápida (0,25 s); valores máx./min.: retención de datos. Certificado de calibración.
Datalogger Temp.y Humedad	GM 1365	Temperatura y humedad relativa	Temperatura: -30 a 80 °C. Humedad: 0 a 100 % RH.	Temp.: ±0,3 °C (típico) Humedad: ±2 % RH (típico)	Almacena 32,256 registros; software de análisis; uno instalado en el centro del laboratorio, y otro en el exterior justo sobre el panel.

- **3ra etapa:** Esta etapa comprende el ensayo de eficiencia del panel solar de aire caliente.

Los ensayos de eficiencia del panel se realizaron siguiendo las prescripciones establecidas en la norma ASHRAE 93-77, cuyo cálculo ha sido ampliamente utilizado en estudio previos (Hernández et al., 2008; Velasco Roldan, 2016). Las eficiencias instantáneas se calculan a partir de:

$$\eta_i = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{A_c G} \quad (1)$$

donde:

- $\eta_i$  = la eficiencia energética instantánea basada en el área bruta del captador %
- $\dot{m}$  = el flujo de masa circulante Kg/s
- $C_p$  = Calor específico del aire a presión constante
- $T_s$  = Temperatura del aire a la salida del captador
- $T_e$  = Temperatura del aire en la entrada del captador
- $G$  = Irradiancia solar sobre el plano del colector W/m²
- $A_c$  = Área de apertura del colector

La estimación del flujo másico de aire se obtuvo a partir de las mediciones de velocidad realizadas en el conducto de salida del colector. En primera instancia, se determinó el caudal volumétrico como el producto entre la velocidad promedio registrada y el área de la sección transversal del conducto según:

$$Q_v = v \cdot A \quad (2)$$

Posteriormente, este valor fue transformado en flujo másico multiplicando por la densidad del aire, considerada constante y equivalente a  $1,2 \text{ kg/m}^3$  de acuerdo con valores de referencia estándar.

- **4ta etapa:** En esta etapa se define la metodología para la toma de datos de parámetros subjetivos de confort térmico. Se realizan cuestionarios y encuestas a usuarios del edificio.
- **5ta etapa:** La última etapa del protocolo comprende el análisis de todos los resultados obtenidos.

## RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados de la aplicación del protocolo de toma de datos detallado en el punto anterior, a partir de las etapas propuestas en el mismo.

### *1er etapa:*

El edificio de la SCyT, data de una antigüedad de aproximadamente 50 años, el laboratorio se encuentra en el ala interna del pabellón general, su cara exterior se ubica hacia la orientación noreste. La construcción es de mampostería de ladrillo hueco de 0,18 m y revoques en ambas caras del muro. En su interior el cerramiento en contacto con el terreno natural está formado por contrapiso de hormigón pobre de 0,15 m de espesor, capa de mortero de asiento de 3/4 cm de espesor y suelo de mosaicos graníticos de 0.03 m de espesor, todo ello sin aislación térmica. Posee cielorraso de madera machimbre de 1/2 pulgada de espesor, en forma suspendida (no posee aislación). La cubierta se resuelve en forma inclinada con tirantes de madera de 0,05 m x 0,15 m cada 0.60 m, con entretecho de madera de 0.013 m y chapa galvanizada. Solamente uno de los muros de los lados del laboratorio, se encuentra próximo con el exterior, el resto de los muros son compartidos con espacios cerrados. Los muros no poseen aislación. Por otro lado, las carpinterías hacia el exterior son del tipo corredizas de dos hojas de chapa plegada (1.20 m x 1.20 m) no posee cerramiento exterior.

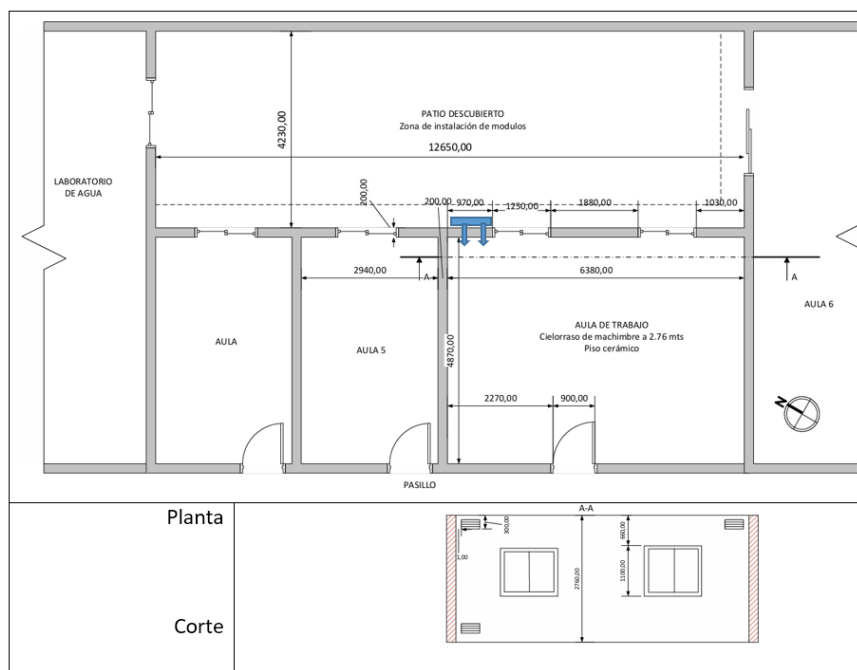


Figura 3: Plano de planta del sector del edificio donde se encuentra el laboratorio de eficiencia energética.

### *2da etapa:*

La toma de datos se realizó con el panel funcionando bajo régimen de convección natural garantizando que los datos reflejan el rendimiento base del sistema. El aire ingresa por la parte inferior a temperatura cercana al ambiente y entra en contacto con la superficie absorbente, la cual transfiere calor por

convección y radiación, disminuyendo su densidad y ascendiendo impulsado por la diferencia de presión. Este movimiento se mantiene hasta la salida superior, donde el aire alcanza su mayor temperatura, compensando las pérdidas de carga internas del sistema.

Los datos se registraron durante un periodo de invierno entre los días 06 de junio y 10 de agosto de 2025 mediante un formulario de Google, facilitando la organización y posterior análisis de la información recolectada. Se recolectaron los datos de temperatura ambiente, temperatura en el PLC, temperatura del aire en las bocas de entrada y salida, velocidad de flujo de aire en ambas bocas, presión y energía en términos de irradiancia solar ( $W/m^2$ ). También se capturaron imágenes termográficas para observar la distribución de temperatura en el panel, así como también en el interior y exterior del laboratorio.

A continuación, se pueden observar los datos registrados para una selección de días representativos del periodo de medición, entre el 17/07 y el 21/07. En el gráfico de la figura 4 se observan las temperaturas medidas del ambiente interior y exterior, en el espacio del laboratorio donde se instaló el panel solar de aire caliente. Si bien las temperaturas interiores no superan niveles de confort deseados para un espacio interior habitable, se presenta un buen comportamiento en cuanto a la conservación de la temperatura durante horas de la noche, registrando temperaturas de  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  en promedio cuando en el exterior la misma desciende a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La temperatura interior se eleva en  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  solo con el uso del panel solar instalado. Esto demuestra la potencialidad de este espacio para el aprovechamiento de estrategias pasivas, pudiendo mejorar la temperatura interior aumentando la superficie de paneles instalados.

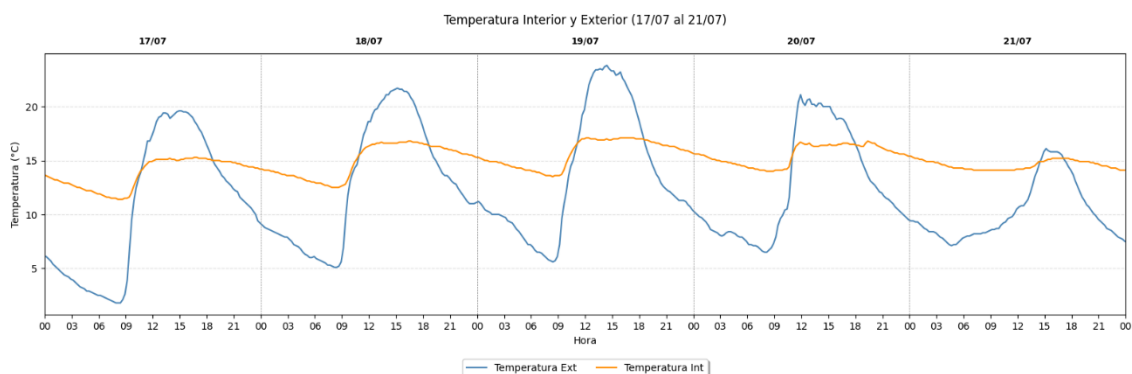


Figura 4: Temperatura ambiente interior y exterior registradas en el ambiente donde se instaló el panel.

En el gráfico de la figura 5, se observan las temperaturas en la boca de entrada y de salida del panel en funcionamiento. Se registran a la salida temperaturas cercanas a los  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  todos los días, bajo las condiciones climáticas del periodo de toma de datos, que como se observó en la figura 4, presentó temperaturas exteriores entre  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  y cielo despejado. Se observa que la temperatura a la salida del panel asciende rápidamente a partir de las 9 hs, y desciende entre las 16 hs y las 18 hs. Los registros de temperatura a la entrada del panel muestran valores entre  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a las 8 hs y  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  alrededor de las 12 hs del mediodía. Esto indica un aumento de temperatura del aire al circular dentro del panel de más de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  en condiciones climáticas de invierno.

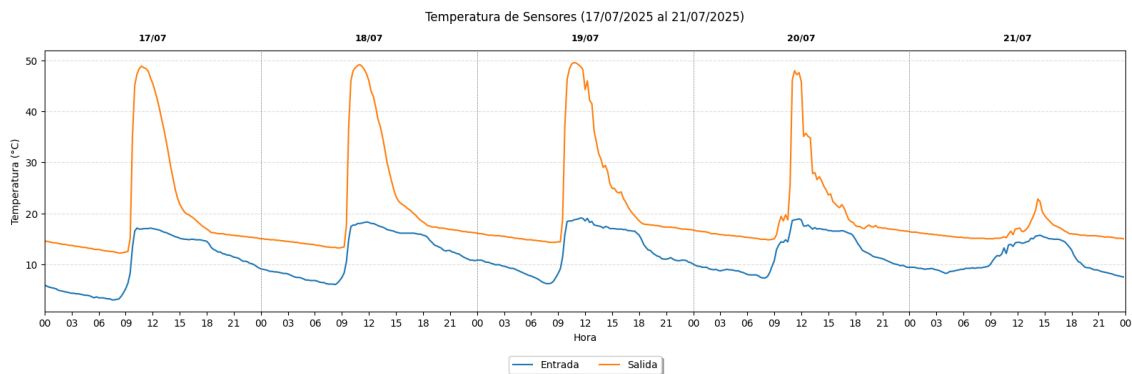


Figura 5: Temperaturas registradas en las bocas de entrada y salida del panel.

### 3ra etapa:

Conocer la eficiencia del sistema es fundamental para poder estimar el calor útil que puede generar el panel de acuerdo con las características climáticas que presenta el lugar donde está instalado. Como se expresó en el apartado anterior, se realizó el ensayo de la eficiencia del panel solar de aire caliente de acuerdo con lo establecido en la norma ASHRAE 93-77, aplicando las fórmulas descriptas en las Ec. (1) y Ec. (2). Para esto se tomaron registros de temperatura y velocidad del aire a la salida y entrada del panel y de irradiancia solar en intervalos de una hora durante todo un día (08/08/2025). Los resultados del ensayo realizado se observan en los gráficos de las figuras 6, 7 y 8.

La figura 6 muestra los datos registrados de temperatura de entrada y salida del panel, junto con los datos de irradiancia incidente sobre el mismo. Se observa que a las 10 hs la temperatura de salida alcanza su valor máximo de 47,5°C, demostrando que el panel logra calentar el aire en 31,3 °C con relación a la temperatura de entrada, en el momento de mayor incidencia de la irradiancia solar con un registro de 796 W/m<sup>2</sup>. Es notable observar que a pesar de descender el valor de irradiancia a partir de esa hora, la temperatura de salida del panel se mantiene por encima de los 20°C hasta pasadas las 17 hs, cuando finalmente el sol no se proyecta sobre el panel.

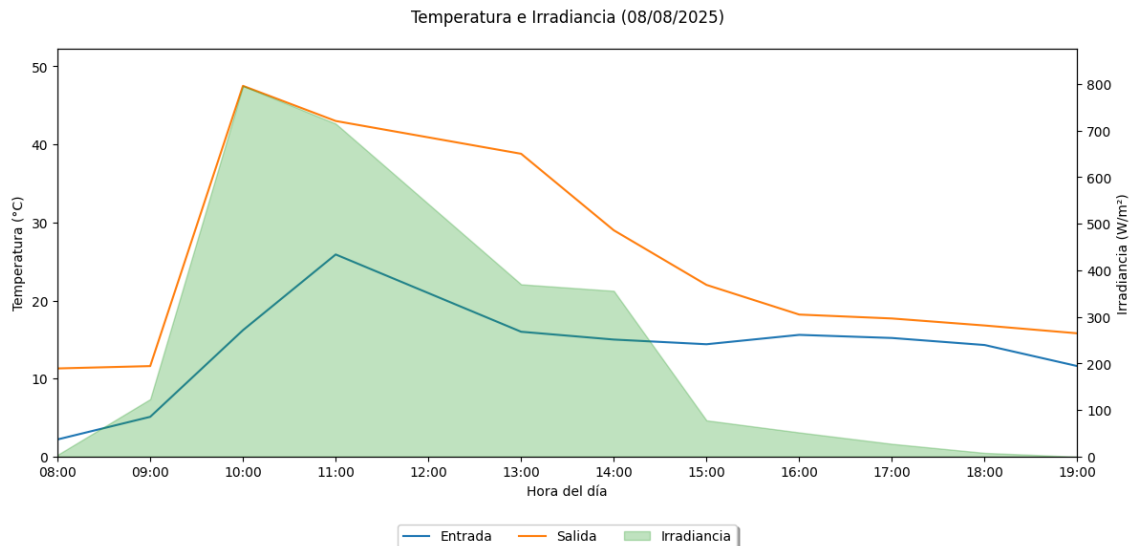


Figura 6: Temperaturas registradas a la salida y entrada del panel, e irradiancia solar el día 8 de agosto de 2025.

En coincidencia con el mismo día de medición y mismos registros horarios, el gráfico de la figura 7 muestra la velocidad de entrada y salida registradas en las bocas del panel, en conjunto con los datos de irradiancia. Se observa que, en los registros de las 10 hs, cuando la irradiancia alcanzó su valor máximo de 796 W/m<sup>2</sup>, el aire a la salida del panel registró una velocidad de 1.9 m/s, lo que demuestra un buen funcionamiento del sistema.

En los registros de las 9 hs y las 17 hs se adoptó una velocidad de aire igual a 0 m/s, dado que los valores medidos se encontraban por debajo del rango mínimo de detección del anemómetro (rango entre 0,4 m/s a 30,0 m/s). Esta decisión se adoptó para mantener la consistencia metodológica en el cálculo del flujo másico y la eficiencia térmica, evitando introducir lecturas no confiables o extrapoladas fuera de las especificaciones del instrumento.

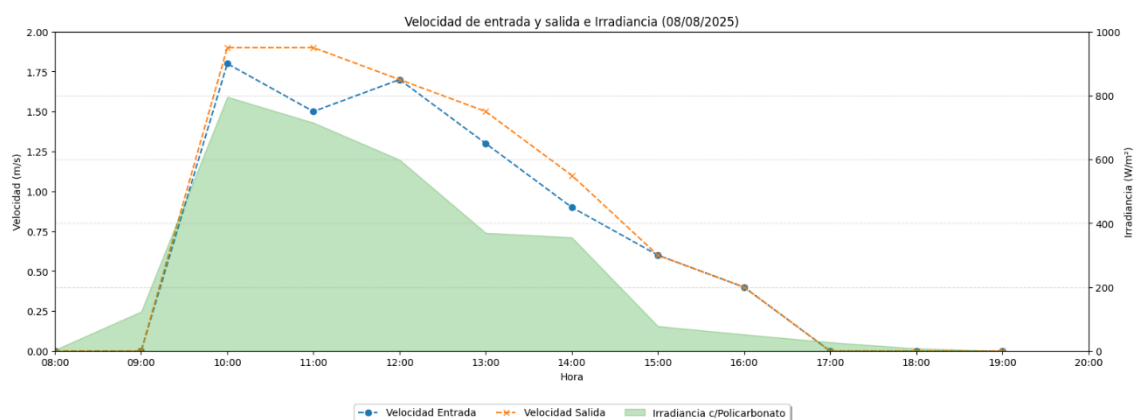


Figura 7: Velocidad de aire registrado a la salida y entrada del panel, e irradiancia solar el día 8 de agosto de 2025.

Los resultados de la evaluación de eficiencia del panel se grafican en la figura 8. Los datos de eficiencia instantáneas calculadas muestran valores entre 40% y 45% durante las horas de mayor irradiancia del día del ensayo.

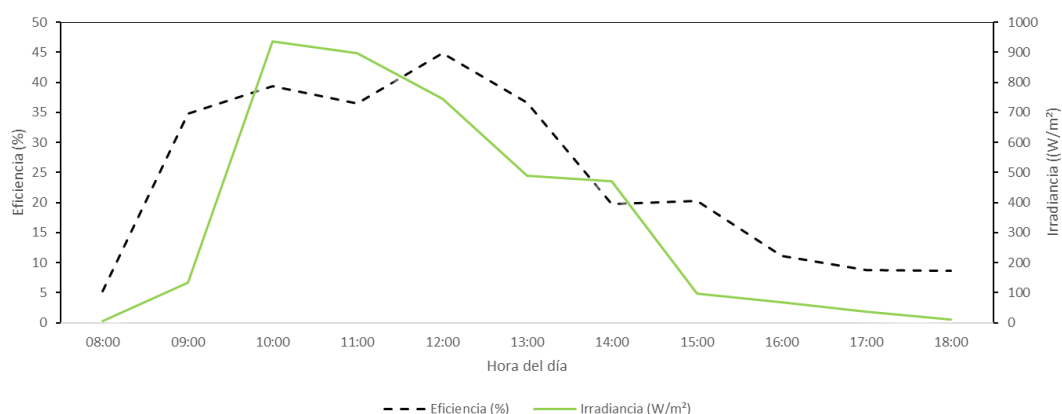


Figura 8: Eficiencia del sistema e irradiancia solar el día 8 de agosto.

El cálculo de eficiencia realizado en este estudio se basa en un procedimiento simplificado, el mismo permite obtener una estimación experimental directa de la eficiencia instantánea en condiciones reales de operación.

Tanto la **4ta etapa** como la **5ta etapa** del protocolo descrito se encuentran en proceso de realización, los resultados presentados en este trabajo forman parte de la etapa 5, aunque los mismos son parciales ya que el proyecto está aún en desarrollo al momento de redactar este artículo.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo presentó el desarrollo, construcción e instalación de un prototipo de panel solar de aire caliente orientado a calefacción pasiva en el marco del proyecto “INDEEV, Industrialización para la eficiencia energética de la vivienda” de la UTN FRTL. El objetivo principal fue evaluar el desempeño térmico del sistema en condiciones reales de uso, como paso previo a su optimización y potencial industrialización para su aplicación en viviendas nuevas y existentes.

Los resultados obtenidos confirman la viabilidad técnica del panel solar de aire caliente desarrollado, evidenciando un desempeño térmico consistente con los valores reportados en estudios previos sobre colectores solares de aire en Argentina (Hernández et al., 2007; Viegas et al., 2023). Bajo condiciones invernales, el prototipo registró incrementos de temperatura del aire superiores a 30 °C y eficiencias instantáneas entre el 40 % y el 45 % durante las horas de mayor irradiancia, valores comparables a los antecedentes relevados.

Estos resultados demuestran que, con la utilización de materiales de bajo costo y construcción sencilla, es posible alcanzar un aporte térmico significativo que contribuya a la reducción del uso de calefacción convencional. La instalación experimental permitió además validar un protocolo de monitoreo que combina mediciones térmicas, climáticas y de flujo de aire, constituyendo una herramienta replicable para futuros ensayos.

En línea con lo señalado en la introducción respecto a la necesidad de industrializar este tipo de sistemas, el presente desarrollo sienta las bases para optimizar el diseño mediante simulación dinámica y evaluar su fabricación a escala, con el fin de garantizar calidad, reducir costos y facilitar su incorporación tanto en obra nueva como en rehabilitación energética de viviendas. Así mismo se establece como línea de avance la contrastación de la valoración de la eficiencia del sistema bajo condiciones reales de operación con los protocolos de ensayo estandarizados establecidos por la norma ISO 9806.

## FUENTES DE FINANCIAMIENTO

El proyecto código MSECTL0009857, **“INDEEV – Industrialización para la eficiencia energética de la vivienda: diseño de productos y de producción industrial de componentes para la mejora térmica de la envolvente y la gestión de la energía natural en edificios residenciales”**, fue homologado por Disposición SCyT UTN N° 51/2022 y financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UTN mediante los fondos asignados por las Resoluciones N° 229/2023, N° 256/2024 y N° 277/2025, de acuerdo con la duración establecida para el proyecto.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló en colaboración con la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Diseño Urbano (UNLP FADU), el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE – CONICET) y el Laboratorio de Eficiencia Energética de la Facultad Regional Trenque Lauquen (UTN).

Se agradece la participación del Ing. Franco Mieres de la FRTL, así como el apoyo de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UTN mediante becas BINID a las ingenieras industriales Lucía Balbi y Fabiana Mansilla, y becas CyT UTN a los estudiantes Cristian Rodríguez y Emiliano Arce (Ing. Industrial), y Eduardo Álvarez y Tomás Salinas (Ing. en Sistemas de Información). Asimismo, se reconoce a la Secretaría de Asuntos Universitarios de la FRTL por la beca otorgada al estudiante Carlos Traverso (Ing. Industrial) y a la empresa Solar Control por la provisión de equipamiento y su apoyo constante.

## REFERENCIAS

- Balance Energético Nacional*. (2022).
- Canafoglia, E. (2020). Transición energética y configuraciones socioprodutivas regionales. En Grupo de Trabajo Energía y desarrollo sustentable - (Ed.), *Transiciones energéticas en América Latina*. CLACSO. [www.clacso.org](http://www.clacso.org)
- Discoli, C. A., Viegas, G. M., & Jodra, J. I. (2023). *Sistemas solares pasivos en la Argentina. Muros acumuladores de calor (MAC) como estrategia de climatización en los sectores residenciales y agro-productivos*. (MT Ediciones Memoria y Trascendencia, Ed.; 1era ed.).
- Filippín, C., & Larsen, S. F. (2023). Ejemplos de arquitectura bioclimática que contribuyen a la salud del habitante y del planeta. *Ciencia e investigación*, 72(5).
- Gainza-Barrencua, J., Odriozola-Maritorea, M., Barrutieta, X., Gomez-Arriaran, I., & Hernández Minguillón, R. (2022). Use of sunspaces to obtain energy savings by preheating the intake air of

- the ventilation system: Analysis of its main characteristics in the different Spanish climate zones. *Journal of Building Engineering*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105331>
- Gainza-Barrencua, J., Odriozola-Maritorea, M., Hernandez\_Minguillon, R., & Gomez-Arriaran, I. (2021). Energy savings using sunspaces to preheat ventilation intake air: Experimental and simulation study. *Journal of Building Engineering*, 40, 102343. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102343>
- Hernández, A., Fernández, C., Salvo, N., & Suligoy, H. (2007). Diseño, construcción y primeros ensayos de un colector solar calentador de aire de tipo loop convectivo para el calentamiento de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11.
- Hernández, A., Salvo, N., Fernández, C., & Suligoy, H. (2008). Diseño y evaluación térmica de un colector solar calentador de aire de placa perforada para calefacción de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12.
- Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). (2011). *Calentador solar de aire - Manual del usuario*. <https://iipac.unlp.edu.ar/manuales>
- INTI. (2020). *Censo Nacional Solar Térmico 2020*. <https://www.inti.gov.ar/assets/uploads/files/generacion-de-la-enebria/censo-2020/censo-solar-termico-2020.pdf>
- Singh, V. P., Jain, S., Karn, A., Kumar, A., Dwivedi, G., Meena, C. S., Dutt, N., & Ghosh, A. (2022). Recent Developments and Advancements in Solar Air Heaters: A Detailed Review. *Sustainability*, 14(19), 12149. <https://doi.org/10.3390/su141912149>
- Velasco Roldan, L. (2016). Estrategias de captación solar mediante colectores solares de aire en climas fríos. *Estudios del hábitat*, 14(1), 15–27. [revistas.unlp.edu.ar/habitat](http://revistas.unlp.edu.ar/habitat)
- Viegas, G. M., Esparza, J. B., & San Juan, G. A. (2023). Evaluación térmica, lumínica y termográfica de una solución habitacional de madera en clima templado cálido para el hábitat popular. *Revista Hábitat Sustentable*, 13(1), 84–95. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.07>
- Wadel, G., Dido, C., & Mieres, F. (2022). Sistema de ayuda de eficiencia energética en vivienda municipal. *XII Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura*.
- Wadel, G., Dido, C., Mieres, F., Oliva Jorge, & Balbi, L. (2024). Industrialización para la eficiencia energética de la vivienda. Diseño y producción de paneles solares de aire caliente. *XVII COINI 2024 - Congreso Internacional de Ingeniería Industrial*.

#### **DEVELOPMENT AND TESTING OF A HOT AIR SOLAR PANEL PROTOTYPE: INDUSTRIALIZATION FOR ENERGY EFFICIENCY.**

**ABSTRACT:** Within the framework of the research and development project “INDEEV, Industrialization for Energy Efficiency in Housing” at the Universidad Tecnológica Nacional, Trenque Lauquen Regional Faculty, this paper presents the development and testing of a hot air solar panel prototype for passive heating. The system, based on a previous design adapted to local conditions, was built using low-cost, readily available materials to assess its potential for improving thermal comfort and reducing the use of conventional heating. The panel was installed in the Energy Efficiency Laboratory at UTN FRTL, and its performance was monitored through a data collection protocol including thermal, climatic, and airflow variables. Tests carried out under winter conditions recorded air temperature increases above 30 °C and instantaneous efficiencies between 40% and 45%. The results demonstrate the technical feasibility of the system and provide a basis for optimizing its design through dynamic simulation, with a view to its future industrialization and application in both new and existing housing.

**Keywords:** solar energy, passive heating, energy efficiency.