

NUEVO DISEÑO DE TERMOTANQUE SOLAR INDIRECTO

Follari, J. A.¹; Cobarrubia, M. V.¹; Perelló, A. D.^{1,2}; Perino, E. J.³

¹ INNOVAR SRL, San Luis, Argentina.

² Universidad Nacional de Villa Mercedes, Villa Mercedes, San Luis, Argentina

³ Energía Solar, Atmósfera y Medio Ambiente, FCFMyN, UNSL, San Luis, Argentina.

Tel: 266 466 2081 – e-mails: info@innovarsrl.com, danielperello958@gmail.com, ejperino@unsl.edu.ar

Recibido 05/02/2024; Aceptado 30/04/2024

RESUMEN.- La energía solar es una de las energías renovables más abundante, limpia y económica, considerándose inagotable. La energía solar térmica ha sido empleada desde tiempos remotos, existe certidumbre de calentadores solares desde inicios del siglo XX. Los termotanques solares se instalan normalmente en los techos de las edificaciones debido a la disponibilidad de la radiación solar y para optimizar la ocupación del espacio. Es por ello que, en general, se han diseñado para operar a bajas presiones, como la que suministra un tanque principal de agua fría sobre la azotea del edificio. Además, la mayoría son diseños originados en Europa, que se fabricaron con espesores delgados de acero inoxidable, resultando de buena calidad, prolongada vida útil y precios asequibles. Algunas instalaciones, en zonas montañosas o grandes edificaciones, demandan presiones de trabajo mayores a 3 atm, por lo que se requiere una bomba presurizadora para circular el fluido caloportador a través del Sistema Solar Térmico (SST). Esto ha implicado el desarrollo de termotanques solares indirectos que posibiliten operar a presiones elevadas. El presente trabajo exhibe el diseño de un termotanque solar indirecto apto para sistemas presurizados, pero diferente en cuanto a concepto e implementación.

Palabras clave: energía solar térmica, termotanque solar indirecto para alta presión, intercambiador de calor, agua caliente sanitaria.

NEW DESIGN OF INDIRECT SOLAR WATER HEATER

ABSTRACT.- Solar energy is one of the most abundant, cleanest and cheapest renewable energies and is considered inexhaustible. Solar thermal energy has been used since ancient times; there is evidence of solar heaters since the beginning of the 20th century. Solar water heaters are usually installed on the roofs of buildings due to the availability of solar radiation and to optimize space occupation. For this reason, they are generally designed to operate at low pressures, such as that supplied by a main cold water tank on the roof of the building. In addition, most are designs originating in Europe, which were manufactured with thin thicknesses of stainless steel, resulting in good quality, long service life and affordable prices. Some installations, in mountainous areas or large buildings, demand working pressures higher than 3 atm, so a pressurizing pump is required to circulate the heat transfer fluid through the Solar Thermal System (SST). This has led to the development of indirect solar water heaters that can operate at high pressures. The present work shows the design of an indirect solar water heater suitable for pressurized systems, but different in concept and implementation.

Keywords: solar thermal energy, indirect solar water heater for high pressure, heat exchanger, domestic hot water.

1. INTRODUCCIÓN

Se transita una crisis ambiental global donde el cambio climático es una de sus consecuencias primordiales. Cada generación debe hacer frente a sus propios problemas medulares. La nuestra debe dar respuesta a tres complejos retos: garantizar el abastecimiento energético, disminuir la contaminación provocada por los combustibles fósiles y reaccionar ante el cambio climático; desafíos que exhiben una incidencia primordial para alcanzar una biosfera sostenible (Perino et al., 2019; Botta, 2020; Perino et al., 2021; Vivas y Perino, 2022). La biosfera, “envoltura viva” de la Tierra, es fracción del planeta en la que se desarrolla la vida e integra a todos los ecosistemas (sistema funcional formado por el medio físico y la comunidad que lo habita): terrestres, acuáticos y aéreos o de transición. Ahondando en la temática, la crisis ambiental

coyuntural se debe al impacto de las alteraciones antropógenas que han traspasado algunos límites biogeofísicos del planeta han incrementado desmesuradamente los gases de efecto invernadero (GEI), lo que provoca un desequilibrio térmico nocivo. Lo expuesto, conduce a profundizar la búsqueda del equilibrio entre progreso antrópico y ecosistema global saludable, lo que implica que los procesos antropogénicos han de ser ecuanímenes y no deben tomar de la naturaleza más de lo que ella es capaz de brindar y reponer sin que se afecte la biodiversidad de los múltiples ecosistemas sustentadores. La eficiencia energética (EE) y las energías renovables (ER), como lo es la solar térmica, componen alternativas técnicas y económicamente viables, convirtiéndose en partes constitutivas de las acciones prioritarias en el combate contra la crisis ambiental dentro del modelo integral de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

El gas natural (GN) compone la fuente principal de la matriz energética argentina, suministrando más del 50 % de la energía primaria del territorio nacional. El agua caliente sanitaria (ACS) conforma el segundo consumo representativo en sectores residenciales, comerciales, entidades administrativas y educativas, implicando aproximadamente el 33 % del requerimiento energético sectorial. Es decir, el ACS conlleva alrededor del 10 % de la energía total consumida en el país (Gil y Prieto, 2013; Iannelli et al., 2017; Iannelli, 2019). De lo expuesto, se vislumbra la necesidad imperiosa de mejorar la eficiencia de la tecnología disponible, especialmente de los sistemas solares térmicos (SST), cuya mayor implantación aportará cuantiosos beneficios económicos y ambientales, al reducir el consumo de gas natural y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sustancialmente las de dióxido de carbono que es el más perjudicial para el calentamiento global. Resulta necesario invertir recursos en la investigación científica y en el desarrollo tecnológico que permitan el empleo de fuentes energéticas no contaminantes y asequibles.

El origen de casi toda la energía empleada en la Tierra proviene del Sol; gran parte de las fuentes energéticas vigentes, aparentemente sin relación con el Sol, obtienen su energía a partir de los fotones que proceden de éste. Por ello, una de las opciones prometedoras en la actualidad para contribuir a un desarrollo sostenible, dentro de las diferentes fuentes energéticas, es la basada en la energía solar térmica (Perino et al., 2019; Sogari et al., 2019; Arraña, 2022).

Se ha generalizado en Europa (especialmente en España, Portugal, Grecia, etc.), y tiende a serlo en Argentina, la implementación de termotanques solares indirectos, donde el fluido caloportador que circula por el circuito colector se encuentra separado del agua de consumo (almacenada en el tanque de ACS), mediante un intercambiador de calor. De esta manera, se protege el colector solar de la corrosión y de la acumulación de incrustaciones (minerales, lodo, etc.), ya que dicho fluido circula continuamente dentro de un sistema cerrado; además, se lo resguarda del congelamiento mediante el uso de anticongelante (etilenglicol o propilenglicol). La razón principal es que agua contiene oxígeno, cloruros y sales minerales, por lo tanto, es corrosiva (Contreras López y Molero Meneses, 2009; Orozco Barrenetxea et al., 2011); pudiendo causar en corto plazo la formación de grietas, especialmente si se utiliza un metal muy delgado. Además, la cal se desprende de la solución y forma depósitos cuando el agua se calienta por encima de los 60 °C. La cal puede recubrir rápidamente e incluso bloquear los tubos de los colectores de placa plana o depositar un residuo en los tubos evacuados. Dichos inconvenientes dificultan la circulación, la transferencia de calor y disminuyen la vida útil del sistema solar térmico. Esto ocurre en regiones de agua semidura o dura (más de 150 ppm dependiendo de escala de clasificación). Por ello, es necesario que los termotanques solares posean un sistema de transferencia de calor indirecto, haciendo un circuito cerrado para los colectores y empleando un intercambiador de calor para elevar la temperatura del agua de consumo. El intercambiador de calor puede ser externo (de placas o de tubos) o interno (serpentin o camisa) al tanque acumulador de ACS. De esta manera se preservan los colectores limpios, sin depósitos de sales que disminuirían su eficiencia y acortarían su vida útil.

Dependiendo de las propiedades del agua, pueden ser sumamente corrosivas. Mediante un sistema solar térmico indirecto, la corrosión queda limitada exclusivamente a la zona por donde circula el agua de consumo. La misma debe ser protegida mediante un ánodo de sacrificio que consiste en una barra de magnesio insertada en el tanque de ACS, la cual se recomienda verificar cada 12 meses y evaluar su reemplazo en lugares donde el agua tenga más de 150 ppm.

En el caso particular de los colectores de chapa y tubo (Follari y Fasulo, 1998; Follari, 2006) es imprescindible un circuito de transferencia de calor indirecto con anticongelante, para evitar la rotura por la dilatación de los caños cilíndricos durante las heladas. Se vislumbra que, en un futuro cercano, los termotanques solares indirectos tendrán primacía en el mercado de los SST, principalmente en regiones de clima gélido.

En un sistema solar térmico indirecto el fluido caloportador que circula por el circuito colector se encuentra separado del agua de consumo (almacenada en el tanque de ACS), mediante un intercambiador de calor. Un intercambiador ampliamente difundido es el de tipo camisa, también denominado de doble pared o chaleco. El mismo está constituido por un tanque interno de agua caliente sanitaria que se encuentra rodeado por un tanque externo por el que circula el fluido caloportador (normalmente agua con anticongelante) proveniente del colector solar térmico. En dicho sistema indirecto, se produce una transferencia de calor (energía en tránsito) desde el fluido caloportador, que circula por el tanque externo hacia el agua del tanque interno, la cual eleva su temperatura y se almacena para su posterior consumo. El almacenamiento de agua caliente sanitaria es factible debido a que el sistema en su conjunto se encuentra aislado térmicamente por una capa de espuma de poliuretano de alta densidad, poliestireno expandido, o lana de vidrio, de un espesor típico entre 50 mm - 60 mm.

El trayecto por donde circula el fluido caloportador con anticongelante se denomina "circuito primario", y por donde circula el agua de consumo sanitario se denomina "circuito secundario". La Figura 1, esquematiza un tanque interno de ACS con intercambiador de calor tipo camisa o chaleco (INNOVAR SRL, 2023), siendo el tanque interno parte del circuito secundario, mientras que el conjunto "colector solar - tanque externo" constituye el circuito primario cerrado. Además, exhibe un termotanque solar compacto con sistema de transferencia de calor indirecto de la marca INNOVAR SRL.

2. NUEVO DISEÑO PROPUESTO

Los sistemas solares compactos vigentes son diseñados mayoritariamente para operar a bajas presiones, alrededor de 1 atm. Se pueden adaptar a mayores presiones usando planchas de acero (inoxidable o galvanizado) de mayor espesor y mediante técnicas de soldado más propicias, lo que eleva el costo del producto final. Por ello, en el presente trabajo, se introduce un nuevo diseño de termotanque solar indirecto, como se exhibe en la Figura 2, conformado por un tanque A reforzado (para ACS) el cual resiste presiones de trabajo elevadas (de hasta 3 atm), requeridas por el circuito secundario de consumo. Éste se encuentra dentro de un tanque externo B (para baja presión) que compone junto a los colectores, el circuito primario del sistema solar térmico. Aquí, se presenta una variante tecnológica eficiente y en uso en la actualidad. Dicha alternativa reduce levemente la superficie de intercambio de calor; no obstante, el tanque A queda dispuesto mayoritariamente sobre la mitad superior del tanque B exterior y, por tanto, en la zona de mayor energía térmica del mismo.

La resistencia eléctrica de inmersión con termostato se dispone en el tanque externo B, próxima a la parte inferior del tanque interno A, para una eficiente transferencia de calor de forma indirecta. En la región central del tanque A que almacena el agua de consumo (potencialmente corrosiva) se dispone el ánodo de sacrificio compuesto por una barra de magnesio que favorece la neutralización de los agentes corrosivos (Contreras López y Molero Meneses, 2009; Orozco Barrenetxea et al., 2011).

La Figura 3 exhibe un corte transversal del termostanque solar de disposición horizontal, en el que se aprecia que el tanque interior de ACS posee una longitud de unos centímetros menor respecto al exterior, empleando las tapas laterales como una superficie adicional de intercambio de calor. El conjunto íntegro se dispone dentro de una cubierta exterior protectora de la intemperie, la cual contiene el aislante de espuma de poliuretano

de alta densidad de 60 mm de espesor, ubicada entre la carcasa protectora y el tanque B.

Cabe resaltar que el tanque interno A es apto para presión de trabajo de hasta 3 atm, mientras que el tanque externo B es para baja presión, operando típicamente entre 0,15 a 0,30 atm; este último conjuntamente con los colectores compone el circuito primario cerrado.

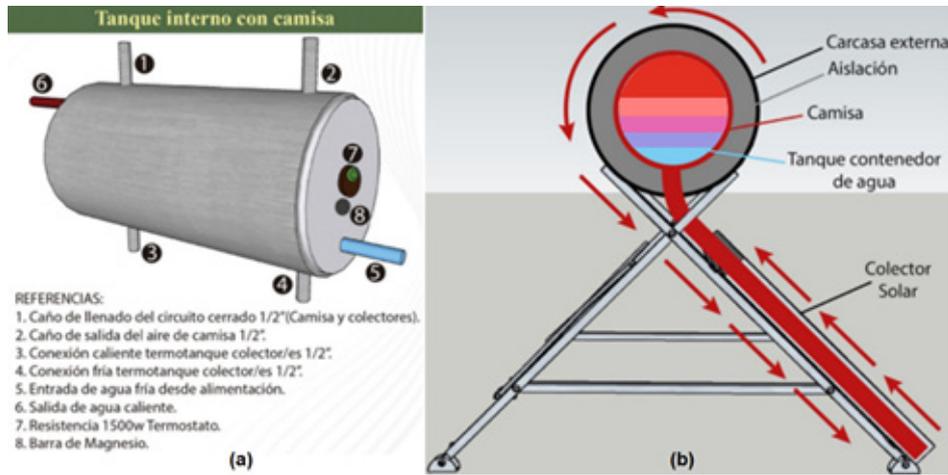


Fig. 1: Sistema Solar Térmico de INNOVAR, (a) tanque interno de ACS del circuito secundario, con "tanque - camisa" externo del circuito primario cerrado por donde circula el fluido caloportador procedente de los colectores; (b) SST compacto con intercambiador de calor tipo camisa o chaleco.

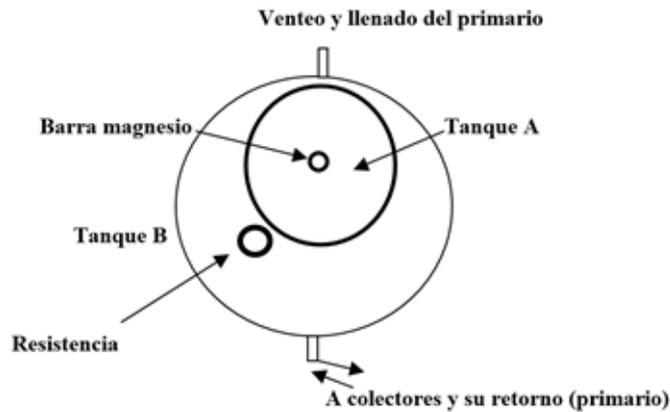


Fig. 2: Vista de corte transversal de la disposición de los tanques A y B del nuevo diseño. El tanque interior A del circuito secundario, almacena el agua caliente sanitaria. El mismo, es apto para operar con presiones de hasta 3 atm.

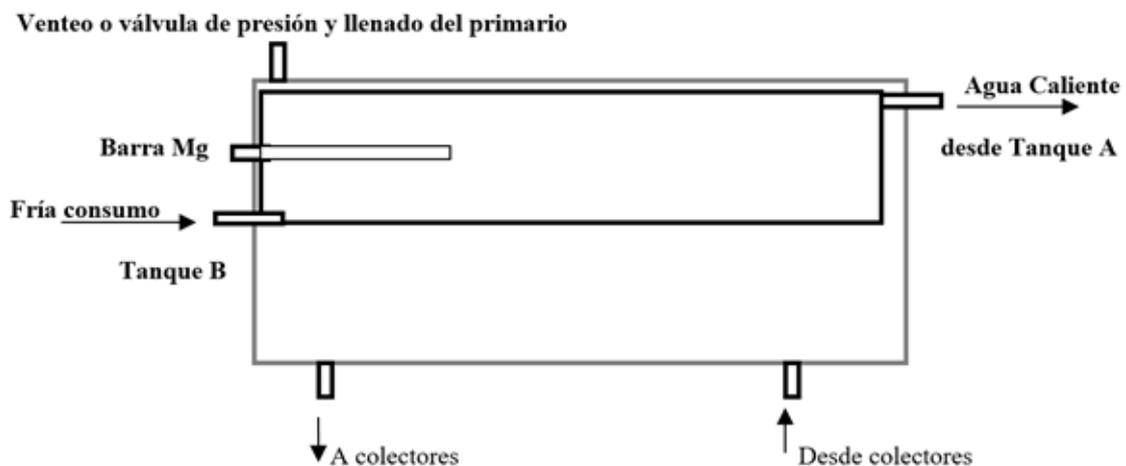


Fig. 3: Vista de corte longitudinal de la disposición de los tanques A y B del nuevo diseño.

El presente diseño implementa tapas laterales del tanque interior A de mayor espesor y menor diámetro, lo que brinda mayor firmeza estructural para operar de manera segura con presiones de hasta 3 atm, como se ostenta en la Figura 4. Dicho tanque posee 0,28 m de diámetro y 0,90 m de longitud. El tanque exterior B ostenta dos versiones de diámetros, una de 0,46 m y la otra de 0,58 m, con una longitud de 1 m, independientemente del diámetro. Esto implica que sus respectivos volúmenes son de 166 y de 250 litros. El primer modelo se emplea con colector de 2 m² de superficie, mientras que el segundo se provee con dos colectores de 1,5 m² cada uno. Alternativamente, resulta factible proporcionarlo con dos colectores de 2 m² de superficie cada uno, para un mayor suministro de agua caliente sanitaria.

La superficie de intercambio térmico de 0,877 m², que corresponde al área volumétrica del tanque interno A, posibilita alcanzar aproximadamente la temperatura del tanque externo B, en un lapso de tiempo entre 15 y 30 minutos. La superficie de intercambio del modelo tipo camisa utilizado en la actualidad es de 0,96 m² (Figura 1), la que resulta ser un 9,5 % mayor.

Las mediciones experimentales se efectúan para determinar el tiempo de intercambio de calor con mayor exactitud, precisar el período de recuperación propicio y verificar la eficiencia del diseño.

La favorable transferencia térmica se debe a que las corrientes convectivas que se generan en ambos tanques, cuando se extrae agua caliente para consumo, son considerables y suscitan una elevada transferencia de calor, necesaria medir experimentalmente.



Fig. 4: Tanque interno A para agua caliente sanitaria, con tapas de mayor espesor y menor diámetro, sometido a presión de ensayo de 4,5 atm.

3. SISTEMA DE RESPALDO ENERGÉTICO

Actualmente, es un requisito casi indispensable, que el termotanque solar esté asistido por una resistencia eléctrica de inmersión comandada por un termostato. Por ello, el nuevo diseño de termotanque solar viene provisto con un sistema de respaldo compuesto por la resistencia eléctrica y su termostato. De esta forma, el usuario dispone de agua caliente sanitaria de manera ininterrumpida, aún en situaciones de pico de consumo o durante periodos de escasa o nula radiación solar. De acuerdo al recurso solar disponible en la región central Argentina (Grossi Gallegos y Righini, 2007; Cadena et al., 2017; Grossi Gallegos y Raichijk, 2018), dicha resistencia aportará entre el 10 % y el 25 % de la energía requerida, comparativamente con un termotanque eléctrico convencional. El porcentaje restante provendrá del colector solar térmico encargado de convertir la radiación solar en calor.

Como se observa en la Figura 2 la resistencia de inmersión se dispone en el tanque exterior B, ligeramente debajo del tanque interno A; el objetivo de la misma es realizar el aporte energético requerido únicamente cuando sea necesario. El presente diseño contempla la ubicación de la resistencia en el interior del tanque B para su mayor vida útil, ya que se encuentra dentro del circuito primario cerrado que contiene agua destilada preferentemente, por lo que es menos corrosiva. Una alternativa viable, es colocar la resistencia dentro del tanque interno A, dicha opción será analizada en ensayos futuros.

4. BARRA DE MAGNESIO

El magnesio (Mg) es químicamente más reactivo que el acero, por lo que absorbe la corrosión, resguardando los dispositivos de acero (Contreras López y Molero Meneses, 2009; Orozco Barretxea et al., 2011). Por ello, para proteger a los tanques de acero y a la resistencia de inmersión de la corrosión provocada por corrientes galvánicas, se coloca una barra de magnesio en cada tanque. Dicha varilla, denominada ánodo de sacrificio (Figura 5), prolonga la vida útil del termotanque solar térmico. Las Figuras 2 y 3 exhiben la ubicación de la barra de magnesio en el tanque interno A. Cabe resaltar que el tanque B es parte del circuito primario cerrado; por lo que, al no reponerse constantemente el agua que contiene oxígeno, cloruros y sales, resulta insignificante el uso del ánodo de sacrificio. Basta con llenar el circuito primario con agua cuya conductancia sea menor a 150 μ S o bien con agua destilada, pudiendo prescindir de la varilla de Mg.



Fig. 5: Ánodo de sacrificio corroído y sin uso.

5. FLUÍDO DE LLENADO DEL CIRCUITO PRIMARIO

El tipo de fluido caloportador depende de la tecnología del colector que se emplee en el sistema solar térmico (SST):

Los colectores de placa plana tipo sándwich se pueden llenar con agua, preferentemente destilada, dado que será menos corrosiva. Este tipo de colector, por la forma triangular de sus conductos (Figura 6), posibilita resistir heladas (INNOVAR SRL, 2023). Su geometría permite que los canales de acero inoxidable se deformen dentro de los límites elásticos, acompañando la dilatación del agua al congelarse, estimada en un 5 % - 10 % del volumen.



Fig. 6: Perfil de los conductos del colector tipo sándwich.

Es menester resaltar que dichos colectores no sufren roturas por heladas; ello se ha corroborado empíricamente a partir de miles de colectores tipo sándwich instalados a lo largo del territorio nacional. Que no haya sido incorporado todavía en la Norma IRAM 210022-1 e IRAM 210015-1, ni testeada aún su resistencia al congelamiento, resulta al menos llamativo. No obstante, dichos ensayos se han efectuado en centros de altos estudios como la

Universidad Nacional de San Luis (Follari y Fasulo, 1998; Follari et al., 2010) y el INENCO - Universidad Nacional de Catamarca (Iriarte et al., 1988). Además, es necesario resaltar que es una tecnología madura y ampliamente implantada en el mercado; es un colector solar desarrollado en 1979 en Argentina, Patente N° 232.042 (Follari y Garis, 1985); siendo empleado en la actualidad por numerosas fábricas a nivel nacional e internacional, estas últimas radicadas en países como Australia, Japón, Suecia, Alemania, Sudáfrica y España.

Para el llenado del tanque primario B, proceso que se efectúa al emplazar el termostanque solar, se emplea agua o una mezcla de agua con anticongelante (etilenglicol o propilenglicol) que evita absolutamente el congelamiento. Para ello, puede instalarse una "mochila de llenado" fabricada de acero inoxidable con flotante y válvula de presión y llenado. Dicha mochila asegura el llenado permanente, limita la presión del circuito primario, cumple la función de venteo y, además, sirve para la carga inicial del fluido caloportador. En este caso, el termostanque queda exento del riesgo de superar los 100 °C con el aporte de la energía solar, debido a la relación entre superficie colectora y el volumen de agua del primario; brindando un factor de seguridad al calentador solar. Además, la válvula cumple la función de venteo, lo que impide daños en caso de ebullición si la resistencia funciona ininterrumpidamente por falla del termostato, ya que evita que se eleve la presión del circuito primario integrado por el tanque B, los colectores y las tuberías correspondientes.

Cabe destacar que las tareas de mantenimiento periódicas de los colectores y tanque primario B de baja presión son indispensables. La correcta mantención disminuye drásticamente el riesgo de corrosión bajo tensiones que pudieran producirse en las soldaduras; esto prolonga la vida útil del SST. Las tareas de operación y mantenimiento deberán incluirse en la Norma IRAM correspondiente, distinguiendo las presiones y volúmenes del circuito primario de las del secundario, brindando más libertad en el diseño y en las prestaciones del sistema. Lo mencionado hasta aquí no tuvo su punto de consideración, ya que se trata de un diseño nuevo.

El circuito primario de un colector solar de chapa y tubo deberá imperativamente llenarse con anticongelante entre el 10 % y el 30 % del volumen de la mezcla, según clima local, para soslayar roturas por heladas. Teniendo presente esta precaución, se pueden utilizar colectores planos de chapa y tubo en regiones de clima gélido sin ningún inconveniente.

6. TECNOLOGÍAS VIGENTES DE COLECTORES SOLARES

Resulta trascendente recordar que en 1975 existía una única forma de fabricar el absorbedor - intercambiador de los colectores planos con cubierta frontal. El modelo es denominado colector de chapa y tubo, el cual posee más de un centenar de años y se exhibe en la Figura 7.



Fig. 7: Corte transversal al flujo de un colector plano de chapa y tubo.

En el mencionado diseño, la energía térmica debe transferirse desde la chapa hacia el tubo de cobre y de allí al fluido caloportador. Éste ve limitada su eficiencia porque se eleva necesariamente la temperatura del absorbedor, por lo tanto, se incrementan sus pérdidas térmicas. No obstante, su principal limitante es el congelamiento causado por heladas, lo que conlleva casi indefectiblemente a la rotura de los tubos del colector por los que circula el fluido. El riesgo a congelamiento fuerza a emplear un sistema cerrado con anticongelante (mezcla de agua con glicol).

Debido a que el mantenimiento del circuito primario cerrado suele descuidarse puede haber una disminución del fluido caloportador por pérdida del mismo. La falta de fluido impedirá la trasmisión de la energía desde el colector hacia el tanque de acumulación.

De lo expuesto, surge la necesidad de desarrollar otras tecnologías constructivas del absorbedor, que no requieran de dicho mantenimiento. Con el correr del tiempo han surgido dos alternativas de placa plana (Follari, 2006; Boero y Blengio, 2009; Díaz et al., 2022), que son ampliamente utilizadas a nivel mundial en el mercado solar térmico actual.

En Lisboa, el Dr. Manuel Collares Pereyra, modifica la óptica de los concentradores parabólicos compuestos (CPC), desarrollados en EEUU por Winston, logrando acortar su altura de 40 cm típicamente, a unos escasos centímetros. Esto permitió adaptar los CPC a las dimensiones estándares de un colector de placa plana como se exhibe en la Figura 8. Este sistema emplea conductos tubulares con aletas absorbedoras selectivas, en cuyo interior circula el fluido caloportador, por lo tanto, requiere un circuito cerrado con anticongelante. No obstante, dicha tecnología reduce la superficie del absorbedor (lo que disminuye las pérdidas térmicas) y mejora sustancialmente el rendimiento al incrementar la radiación solar incidente sobre el absorbedor, gracias al sistema óptico compuesto por los espejos curvos específicamente diseñados.

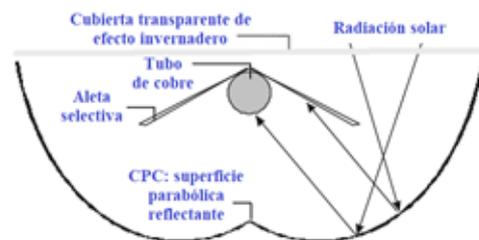


Fig. 8: Corte transversal de colector CPC.

Posteriormente, en Argentina se desarrolla otra tecnología, que es la de colectores de placa plana tipo sándwich, que ve la luz en 1979 (INNOVAR SRL, 2023), la cual fue descrita en el apartado 5, y se exhibe con mayor detalle en la Figura 9.

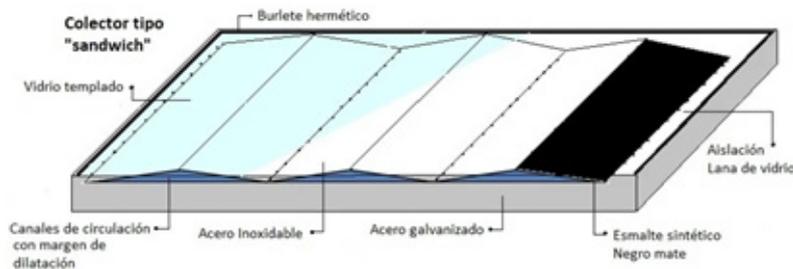


Fig. 9: Colector de placa plana tipo sándwich diseñado por INNOVAR SRL.

Estas 3 tecnologías de placa plana, hoy vigentes en la producción en América, Europa, Medio Oriente, etc., se caracterizan por tener prolongada vida útil, alrededor de 30 años o incluso más bajo propicio mantenimiento.

Contemporáneamente, en Alemania, se desarrollaron los colectores de tubos de vacío (Boero y Blengio, 2009; Follari, 2006; Cadena et al., 2017), de dos tipos principales: all glass y heat pipe.

El tubo de vacío o evacuado tipo all glass se trata de una construcción de vidrio por completo como se muestra en la Figura 10. El all glass está formado por dos tubos de vidrio concéntricos, soldados entre sí como una ampolla que forma una cámara de vacío cuyo propósito es reducir pérdidas térmicas. Sobre la superficie exterior del tubo de vidrio interno se ha depositado una capa selectiva y el fluido caloportador entra en contacto con la parte interior del tubo de vidrio interno, inundándolo por completo. Un inconveniente es la pérdida de vacío por la soldadura entre los dos vidrios que conforman la ampolla. Dicha tecnología es eficiente, económica y se monopoliza en sistemas de termosifón de bajo costo.



Fig. 10: Tubo evacuado all glass (Fuente: Boero y Blengio, 2009).

El heat pipe está compuesto por un tubo de cobre, sellado su extremo inferior y superior, que se adhiere a la parte inferior de la lámina del absorbedor. Este tubo de cobre sellado se extiende fuera de la parte superior del tubo de vacío, como se vislumbra en la Figura 11. Debe existir un buen sello en el punto donde el tubo de cobre emerge del tubo evacuado de vidrio para garantizar que el vacío no se pierda. El interior del tubo de cobre sellado contiene un fluido caloportador con un bajo punto de ebullición, que posibilita un cambio de fase de líquido a gaseoso al absorber la energía solar. El problema de dicha tecnología radica en la unión entre el vidrio y el metal; debido a que los coeficientes de dilatación de vidrios y de metales son muy disímiles, por lo que las variaciones térmicas producen fisuras, lo que conlleva a la pérdida de vacío y se reduce abruptamente la eficiencia del sistema. Éste ha sido el principal desafío en el desarrollo del heat pipe.

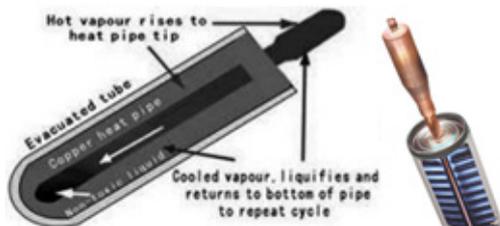


Fig. 11: Tubo Heat Pipe (Fuente: Boero y Blengio, 2009).

Ambas tecnologías de tubos evacuados poseen inicialmente muy buena eficiencia, mientras se mantienen las condiciones originales de vacío. Como contrapartida, los tubos son más propensos a dañarse irreparablemente ante un impacto sobre el vidrio (golpe, granizo, etc.). Por ello, deben cubrirse con malla antigranizo en el caso de Argentina, donde este fenómeno es

recurrente. Además, requieren un tanque de ACS bastante estirado y de poco diámetro, lo que reduce la estratificación del fluido e incrementa las pérdidas térmicas por la relación superficie-volumen, y por las numerosas inserciones de tubos. Dos factores a considerar, es que la vida útil es muy inferior a los de placa plana, debido a la disminución de rendimiento por la merma del vacío y, además, requieren mayor asistencia de la resistencia de inmersión, por lo que se aumenta el consumo de energía eléctrica.

Otra tecnología, de menor eficiencia, es la de equipos integrados, en donde los elementos principales, colector y acumulador, integran un único componente (Fasulo et al., 2001; Tügel, 2016). El principio es sencillo: el agua se calienta y se almacena directamente en el colector solar. Se emplean en regiones con climas cálidos, ya que permiten obtener agua caliente sanitaria de manera muy sencilla y a un costo sumamente bajo.

Por todos los inconvenientes mencionados sobre los tubos evacuados, en Alemania y el resto de Europa, sigue preponderando la fabricación de colectores de alguna de las 3 variantes de placa plana. Es decisivo el hecho de una larga vida útil, de más de 30 años.

En Argentina, en los años 2008 y 2009, las fábricas nacionales existentes y el INTI, realizaron un estudio minucioso sobre la tecnología de fabricación más conveniente para el país. Se llegó a la conclusión de que lo más adecuado era producir colectores de placa plana como lo hace Europa, pensando que el mercado argentino se decanta por productos de larga duración.

A pesar de las desventajas mencionadas de los tubos de vacío, durante los últimos años, los all glass constituyen una tecnología bastante vendida en nuestro país, siendo China uno de los mayores fabricantes.

7. METODOLOGÍA DE ENSAYO

Con la finalidad de exhibir el funcionamiento del nuevo diseño, se instala un termotanque solar completo (Figura 12). Una vez en régimen de funcionamiento, se ejecutan extracciones siguiendo patrones de uso típico de una vivienda. Se realizan dos extracciones de 30 L, separadas por un lapso de 15 a 30 minutos entre la primera y la segunda. Esto se efectúa por la mañana, al medio día y a la tarde, simulando 2 duchas normales. El objetivo es determinar el tiempo de recuperación y la temperatura necesaria en el termotanque para obtener agua de consumo a temperatura de diseño de 40 °C. Se mide la temperatura de las extracciones, se cuantifica la radiación solar y se calcula la energía eléctrica suplementaria para alcanzar la temperatura de diseño. Se trata de una metodología de extracción validada (Follari, 2006), con satisfactorios resultados como testeo de termotanques solares completos, ya que brinda el resultado final del proceso de calentamiento, en climas y rangos horarios disímiles.

8. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Durante una ducha habitual, se consume entre 15 L y 30 L de agua a temperaturas entre 33 °C y 38 °C. Por ello, se realizaron 2 extracciones de 30 L sucesivas, para medir el tiempo de recuperación del tanque interior. Se registra la temperatura del agua en la parte superior del tanque de ACS, la temperatura media de cada extracción y el estado del tiempo. La Tabla 1 exhibe los resultados empíricos obtenidos del ensayo efectuado en el nuevo diseño.

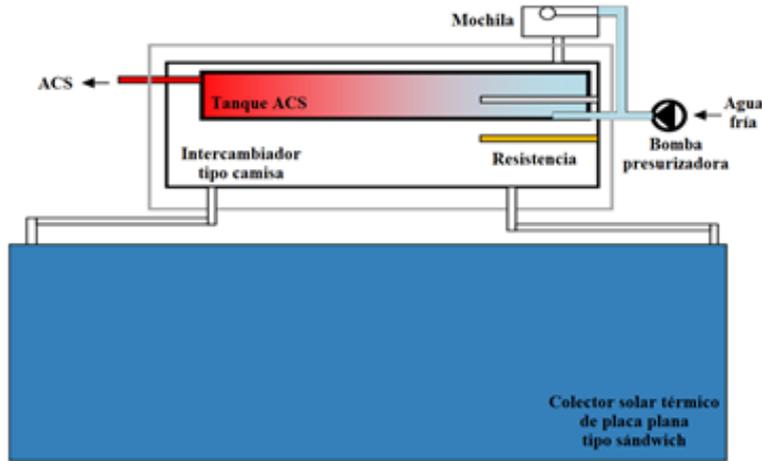


Fig. 12: Termostanque solar térmico completo diseñado por INNOVAR SRL.

Tabla 1: Resultados de ensayo del nuevo diseño termostanque solar compacto de INNOVAR SRL.

Día	Hora	Tiempo extracciones	Diferencia extracciones	Temperatura arriba del termostanque: TT	Temperatura media del agua extraída: Tm	Diferencia: TT - Tm	Estado del tiempo
30-12-20	18:35	7'		44 °C	37,3 °C	6,7 °C	Soleado
30-12-20	19:10	7'	35'	42,3 °C	36,5 °C	5,8 °C	Seminublado
31-12-20	13:42	7'		50 °C	38 °C	12°C	Soleado
31-12-20	14:12	6,5'	30'	48,8 °C	41,2 °C	7,6 °C	Nublado
31-12-20	17:23	6,5'		53 °C	43,5 °C	9,5°C	Soleado
31-12-20	17:53	6,5'	30'	51 °C	45,9 °C	5,1 °C	Soleado
2-1-21	10:54	6'		55 °C	41,5 °C	13,5°C	Nublado
2-1-21	11:19	6'	25'	51 °C	39,8 °C	11,2 °C	Nublado
2-1-21	13:10	6'		47,7 °C	41,6 °C	6,1 °C	Nublado
2-1-21	13:35	6'	25'	46,2 °C	38,6 °C	7,6 °C	Nublado
3-1-21	10:25	6'		41,8 °C	37,8 °C	4 °C	Semisoleado
3-1-21	10:45	4'	20'	41,4 °C	33 °C	8,4 °C	Seminublado
3-1-21	13:29	4'		44,6 °C	37,9 °C	6,7 °C	Tormenta
3-1-21	13:54	5'	25'	43,2 °C	36,5 °C	6,7 °C	Lluvioso
3-1-21	17:51	3'		41,1 °C	36,3 °C	4,8 °C	Nublado
3-1-21	18:15	3'	24'	41 °C	34,9 °C	6,1 °C	Nublado
3-1-21	18:18	3'	Inmediato	41 °C	31 °C	10 °C	20 L más
27-1-21	10:00	10'	Extracción 50 L	71,7 °C	64 °C - 57 °C	7,7 °C - 10 °C	Soleado
27-1-21	14:00	10'	Extracción 50 L	65,6 °C	61,5 °C - 57 °C	4,1 °C - 8,6 °C	Soleado
27-1-21	19:30	10'	Extracción 50 L	61,2 °C - 59,3 °C	58,5 °C-53,5 °C	2,7 °C - 5,8 °C	Soleado
28-1-21	9:40	12'	Extracción 50 L	47°C - 45,4°C	45 °C - 39,6 °C	2 °C - 5,8 °C	Seminublado
28-1-21	13:15	8'	Extracción 50 L	46,3 °C - 0,5 °C	41,8 °C - 32,5 °C	4,5 °C - 8 °C	Seminublado
28-1-21	18:30	10'	Extracción 50 L	50,5 °C - 47,5 °C	46 °C - 38 °C	3,5 °C - 9,5 °C	Seminublado
29-1-21	10:30	6,5'	Extracción 50 L	40 °C - 39,6 °C	28 °C - 27,2 °C	12 °C - 12,4 °C	Soleado
29-1-21	19:20	6,5'	Extracción 50 L	53 °C - 53,5 °C	49 °C - 40,5 °C	4 °C - 13 °C	Soleado
29-1-21	20:00	13'	Extracción 50 L	50,6 °C - 49,2 °C	46 °C - 41,1 °C	4,6 °C - 8,1 °C	Soleado
30-1-21	10:00	8'	Extracción 50 L	37,2 °C - 37,2 °C	33 °C - 27,2 °C	4,2 °C - 10 °C	Nublado

Observaciones de ensayo de extracción:

En las extracciones de 50 L, se indican en el cuadro la temperatura media de los primeros 30 L y de los 20 L siguientes.

El día 2-1-21 llovió desde las 15:00 hasta las 24:00. No se efectuaron extracciones por la tarde.

El día 3-1-21, que estuvo nublado y hubo tormenta con chaparrones aislados, en las primeras 5 extracciones, se requirieron 0,64 kWh, para elevar la temperatura, de 150 L de agua, a 40 °C, teniendo en cuenta que el agua fría de entrada era de 24,2 °C. El aporte solar de ese día, que no tipifica un día estival, fue de 2,1 kWh. El aporte o fracción solar fue del 76,7 % y la contribución eléctrica de la resistencia de respaldo fue del 23,3%.

Otro aspecto importante, es el tiempo de recuperación puramente con respaldo eléctrico, es decir, en situación de nula radiación solar.

El calor específico c de una sustancia es la cantidad de calor (energía térmica en tránsito) requerida para elevar la temperatura de una unidad de masa m de la sustancia en un grado Celsius o equivalentemente por un kelvin. Por lo tanto, si a una muestra de una sustancia con masa m [kg] se le transfiere energía Q [kWh] y la temperatura de la muestra cambia en ΔT [°C], el calor específico de la sustancia está definida por:

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta T} \left[\frac{kWh}{kg \text{ } ^\circ C} \right] \quad (1)$$

A partir de la definición de calor específico c [kWh/kg °C], es factible relacionar la energía transferida Q [kWh] entre una muestra de masa m [kg] de una sustancia y sus alrededores con un cambio de temperatura ΔT [°C]:

$$Q = c \times m \times \Delta T \quad [kWh] \quad (2)$$

Para analizar el tiempo de recuperación con respaldo de la resistencia de inmersión, se considera el modelo de termotanque de 80 L, con resistencia de 1500 W y termostato regulado a 47 °C. El coeficiente de pérdidas térmicas del de termotanque solar indirecto, obtenido a partir de tipo de evaluación: exterior (Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], 2022), es:

$$U_s = 3,2 \text{ W/}^\circ C \quad (3)$$

Se vislumbra que, si se extraen 30 L de agua, la pérdida de temperatura entre el tanque externo B y el tanque interno A de ACS, a un ritmo de ducha entre 5 L/min - 6 L/min, es de entre 4 °C - 7 °C. Teniendo en cuenta que la temperatura deseada del agua de consumo es de 40 °C, el termostato de la resistencia debe estar regulado a 47 °C.

Además, de la ecuación 3, se determina para la estación invernal en la ciudad de San Luis, tomando como punto de partida el agua a 47 °C y transcurridas 12 horas con nula radiación solar, que la disminución de temperatura del ACS en el tanque de acumulación es inferior a 6,1 °C. Por ello, para la apreciación del tiempo de recuperación estrictamente eléctrico, resulta exigua la pérdida energética del nuevo diseño de termotanque solar indirecto de INNOVAR SRL.

Se extraen 30 L de agua caliente sanitaria. Suponiendo que la temperatura del agua fría en invierno es de 7 °C, entonces debe elevarse a 40 °C para alcanzar la temperatura de regulación de 47 °C.

De la Ecuación 2 se obtiene que, para elevar la temperatura, de 30 L de agua, en 1 °C se requiere una energía de 0,0349 kWh. Por lo tanto, para elevar los 30 L en 40 °C se requiere un aporte de 1,396 kWh.

Se debe considerar que se extrajeron 30 L (de un total de 80 L) que se reponen por la parte inferior del tanque de ACS a una temperatura de 7 °C, por lo que la energía térmica que ingresa es 0,244 kWh. Además, quedaron almacenados 50 L de agua a 47 °C, los cuales poseen una energía térmica almacenada de 2,733 kWh.

Luego de la extracción, los 80 litros de agua (50 L a 47 °C y 30 L a 7 °C) del tanque de ACS poseen una energía almacenada dada por:

$$Q_{\text{Tanque ACS}} = 2,733 \text{ kWh} + 0,244 \text{ kWh} = 2,977 \text{ kWh} \quad (4)$$

Para elevar la temperatura, de 80 L de agua, en 40 °C (47 °C - 7 °C), se requiere un suministro de 3,722 kWh.

Tener presente que la resistencia eléctrica de inmersión se ubica en el tanque externo B, próxima a la parte inferior del tanque interno A de ACS, para más detalle ver la Figura 2. Dicha resistencia de respaldo deberá suministrar una energía dada por:

$$Q_{\text{Resistencia}} = 3,722 \text{ kWh} - 2,977 \text{ kWh} = 0,745 \text{ kWh} \quad (5)$$

La resistencia de inmersión es de 1500 W, por lo que aporta en 1 minuto una energía de 0,025 kWh.

De lo expuesto se desprende que la resistencia eléctrica de 1500 W demora 29' 48'' \approx 30' en suministrar la energía requerida de 0,745 kWh para tener los 80 L de ACS a una temperatura de 47 °C; es decir que:

$$T_{\text{Recuperación resistencia}} = 29' 48'' \approx 30' \quad (6)$$

Después de una ducha de 30 L, el tiempo de recuperación para la extracción mediante una segunda ducha de 30 L, es en general, de 20' entre el inicio de la primera y de la segunda. En el caso más desfavorable, donde no hay aporte solar y la recuperación es netamente eléctrica, el tiempo es de 30' aproximadamente.

La segunda ducha puede estar alrededor de 1,5 °C por debajo de la temperatura de la primera, por lo que es totalmente factible realizar dos duchados.

En una extracción de 50 L decae significativamente la temperatura. Los últimos 20 L poseen entre 6 °C y 12 °C menos. Por ello, no es recomendable la extracción de dicho volumen de ACS de una sola vez.

Para un termotanque solar, extrayendo 150 L diarios, el consumo eléctrico mensual para sostener 40 °C en el punto de extracción es del orden de 20 kWh/mes - 30 kWh/mes.

La fracción solar funcionando con duchas normales, es decir 30 L de agua entre 40 °C - 45 °C, que implica alrededor de 40 L a 38 °C (ACS mezclada con agua fría), ronda el 80 %, por lo que el 20 % restante lo aporta la resistencia eléctrica de inmersión.

9. CONCLUSIONES

La revisión del estado del arte exhibe que el desarrollo e implementación de los sistemas solares térmicos está adquiriendo notoriedad en la actualidad a escala mundial.

A lo largo de la historia, la energía se ha convertido en un motor de progreso de la sociedad. Debido al consumo energético creciente global, el fomento de fuentes de energías alternativas se ha vuelto uno de los principales Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La inquietud por la degradación ambiental y la necesidad

radical de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles influyen decididamente sobre las estrategias energéticas a la hora de promover la investigación, el desarrollo y las aplicaciones de las energías renovables, entre las que se encuentra el aprovechamiento solar térmico.

La naturaleza inspira progreso e innovación; un progreso orientado hacia la sustentabilidad ecológica, e innovación tecnológica, que a la hora de diseñar e implementar tecnologías emergentes, respete los límites homeostáticos de la esfera de la vida.

Por lo expuesto, el presente trabajo muestra un diseño innovador de un termostanque solar indirecto, el cual emplea un eficiente intercambiador de calor. Dicho diseño resulta sumamente apto para implantarse con colectores solares de tipo sándwich, siendo ambos elementos fabricados por la Empresa INNOVAR SRL, con sede en la ciudad de San Luis, Argentina.

Cabe resaltar que el termostanque solar compacto indirecto desarrollado por INNOVAR SRL, posee una fracción solar del orden del 80 %, mientras que la resistencia aportará en promedio sólo un 20 % de la energía, comparativamente con un termostanque eléctrico convencional. Esto pondera el ahorro económico percibido por el usuario y el compromiso ambiental mediante la disminución de emisión de gases de efecto invernadero.

Se pone de manifiesto que la Empresa INNOVAR SRL junto con instituciones educativas como la Universidad Nacional de San Luis se sitúan dentro del marco ambiental, ya que mediante la investigación y desarrollo tecnológico fomentan el paradigma de la sostenibilidad.

Como reflexión final, se enarbola a la energía solar térmica como una fuente inagotable frente a los combustibles convencionales; su implantación promueve el autoabastecimiento y es menos perjudicial para la biosfera, contribuyendo a la mitigación del cambio climático e instaurándose como un camino viable para dejar, a las futuras generaciones, un mundo mejor.

REFERENCIAS

- Arraña, I., Bertinat, P., Chemes, J., Di Ruscio, N., Garrido, S. (2022). Políticas públicas implícitas y explícitas para la transición energética en la Argentina. El caso del Programa de Desarrollo de la Industria Solar Térmica (PRODIST). *Revistas UNGS - Prácticas de Oficio, Investigación y reflexión en Ciencias Sociales*, I (29), pp. 39 – 53.
- Boero, G., Blengio, G. (2009). *Manual de energía solar térmica e instalaciones asociadas*. Universidad ORT Uruguay.
- Botta, N. A. (2020). *Los agentes extintores, los agentes limpios*. Red Proteger.
- Cadena, C. A., Condori, M., Franco, J., Moragues, J. A., Saravia, L. R. (2017). *Conversión Fototérmica de la Energía Solar*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe).
- Contreras López, A., Molero Meneses, M. (2009). *Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente*. Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).
- Díaz, A. E., Hernández, A. L., Di Lalla, N. (2022). Colector solar de alta eficiencia con matriz porosa reciclada. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, XLIX, pp. 21 - 29.
- Fasulo, A., Follari J. A., Barral J. (2001). Comparison between a simple solar collector accumulator and a conventional accumulator. *Solar Energy*, LXXI (6), pp. 381 – 401.
- Fasulo, A., Follari, J. A., Barral, J. (2001). Comparison Between a Simple Solar Collector Accumulator and a Conventional Accumulator. *Solar Energy* 71, 6, 381-401.
- Follari, J. A. (2006). Análisis del comportamiento de los calefones solares argentinos y de otros orígenes. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, XVIII, pp. 27 - 35.
- Follari, J. A., Fasulo, A. (1998). Veinte años con los calefones solares argentinos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, V, pp. 1 - 6.
- Follari, J. A., Odicino, L. A., Perelló, A. D. (2010). Propuesta de determinaciones para confeccionar una Norma IRAM que mida el rendimiento de calefones solares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, XIV, pp. 101 - 106.
- Follari, J. A., y Garis, E. J. (1985). Patente N° 232.042 “Nuevo Sistema de Colector de Energía Solar”. *Tecno Solar SRL, cedida luego a Innovar SRL*.
- Gil, S., y R. Prieto. (2013). ¿Cómo se distribuye el consumo residencial de gas? Modos de promover un uso más eficiente del gas. *Petrotecnia (Revista del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas)*, LIV (6), pp. 81 – 92.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. (2007). *Atlas de Energía Solar de la República Argentina*. secyt - Universidad Nacional de Luján.
- Grossi Gallegos, H., Raichijk, C. (2018). *Radiación Solar, Medición y Modelado*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe) – Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES).
- Iannelli L. (2019). EFICIENCIA EN EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA PARA USO RESIDENCIAL EN ARGENTINA [Tesis de Maestría, Universidad de Buenos Aires]. https://www.researchgate.net/publication/339358404_EFICIENCIA_EN_EL_CALENTAMIENTO_DE_AGUA_SANITARIA_PARA_USO_RESIDENCIAL_EN_ARGENTINA
- Iannelli L., Prieto R., Gil S. (2017). EFICIENCIA EN EL CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA EN ARGENTINA. *Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA)*, 39, pp. 21 – 29.
- INNOVAR SRL (23 de julio de 2023). “Características de Colectores Solares – Placa Plana”. <http://innovarsrl.com.ar/colectores-solares/>
- INNOVAR SRL (23 de julio de 2023). “Características Técnicas de los Termostanque”. <http://innovarsrl.com.ar/termostanques-solares/>
- Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2022). Reemplazo de Informe Técnico R-OT N°208 0159 Tipo Único. <https://www.argentina.gob.ar/inti>
- Iriarte, A., Marchioli, J., Sequi J. R., Rodríguez, C., Herrera, R., Amaya, A. (1988). Ensayo y optimización de equipos solares en Laguna Blanca - Catamarca. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente (AVERMA)*, (1), pp. 163 – 167.

- Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal F. J., Alfayate Blanco, J. M. (2011). *Contaminación Ambiental. Una Visión desde la Química*. Editorial Paraninfo.
- Perino, E. J., Kiessling Duran R. A., Silnik A. A., Perelló, A. D., Perino, E. (2021). Energías renovables y sustentabilidad: una eficiente forma de gestionar los recursos naturales. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, Vol. 22 (3). DOI: <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.3.4>
- Perino, E. J., Perino, E., Perelló, A. D. (2019). Sustentabilidad: Un Nuevo Imperativo Categórico. *Acta de la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, 7, pp. 79-90.
- Sogari, N., Ricciardi, E., Sogari, E., Jorge, M. (2019). *Estudio de calefones solares de bajo costo. II Simposio de la Red Iberoamericana de Investigación, Desarrollo y Transferencia Tecnológica para la aplicación de las Energías Renovables y cuidado del Ambiente (RibERA)*, pp. 14.
- Tügel, J. F. (2016). *Estudio de un colector acumulador integral con elevado grado de estratificación* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Salta].
- Vivas A. E., Perino, E. J. (2022). EL ROL DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE EMISIÓN CERO. *Acta de la XLIV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente (ASADES)*, 9, pp. 120 – 131.