

INFLUENCIA DEL MATERIAL DEL ABSORBEDOR Y LA CUBIERTA TRANSPARENTE DE UN COLECTOR DE PLACA PLANA EN SU RENDIMIENTO TÉRMICO INSTANTÁNEO

**Jorge R. Barral¹, Juan M. Lucchini¹, Javier H. Garnica¹, Sebastián Spasoff Mitcoff¹,
María V. Milanesio¹**

¹Grupo de Energía Solar, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto
Tel. 0358-4758842 – Fax 0358-4676246 - e-mail: jbarral@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN: Se analiza la consecuencia de utilizar colectores diseñados para sistemas compactos termosifónicos en instalaciones que funcionan con circulación forzada. Se realizó para ello un ensayo de rendimiento térmico instantáneo utilizando la norma IRAM 210002-1 a un colector separado de su almacenamiento. Dicho colector tiene un absorbedor con recubrimiento de pintura mate y una cubierta transparente de policarbonato alveolar. Del ensayo se tomaron los parámetros de rendimiento óptico y coeficiente de pérdidas por temperatura para ser utilizados en el procedimiento de cálculo de sistemas solares activos f-chart. Para realizar una comparación, se seleccionó un colector importado, disponible en el mercado local, cuyo absorbedor posee un recubrimiento de superficie selectiva y la cobertura transparente es de vidrio templado con bajo contenido de hierro. De la comparación para un caso particular, se observa que para dar la misma prestación es necesario un 37,5 % más de superficie activa de captación. Se muestran los resultados de los ensayos en gráficos y los cálculos de f-chart en tablas. Se realizan consideraciones respecto a mejoras a implementar en la fabricación de los colectores, como así también a la necesidad de acciones políticas y educativas para un mejor desarrollo de las aplicaciones solares térmicas en el país.

Palabras clave: colector solar de placa plana, superficie selectiva, policarbonato, eficiencia térmica.

INTRODUCCIÓN

El uso de la energía solar para calentamiento de agua es una de las aplicaciones más tradicionales de las energías renovables, implicando los beneficios de ser energía distribuida, no contaminante, de uso gratuito, inacabable y económicamente convenientes (Albizzati, 2013), por lo cual está creciendo su utilización en todo el planeta (Weiss y Spörk-Dür, 2023). En las aplicaciones de baja temperatura (menores a los 100 °C) se cuenta con distintas tecnologías y sistemas. En lo que respecta a tecnologías (Placco et al., 2010) se utilizan sistemas de captación basados en colectores de placa plana, y tubos evacuados, estos últimos con variantes como de tubos inundados, colectores “U pipe” (cañerías en U dentro del tubo), o “heat pipe” (tubo de calor). Estos captadores pueden conformar sistemas compactos, en los cuales cada superficie captadora está asociada a un determinado tanque de almacenamiento, o también se pueden conformar sistemas “Split” donde distintas combinaciones de colectores y unidades de almacenamiento pueden combinarse de acuerdo a la aplicación y nivel de demanda.

Los sistemas compactos generalmente funcionan con un proceso de calentamiento basado en la convección natural del calor (termosifónicamente) con aplicaciones mayormente residenciales, donde los tamaños máximos de almacenamiento no superan los 400 litros de agua. Estos equipos son muy simples y por la ausencia de bomba impulsora se les clasifica como “sistemas pasivos”. Cabe mencionar también un caso particular de equipo pasivo, que son los de colectores con acumulación integrada, en los cuales la misma superficie absorbidora de radiación hace de almacenamiento.

En lo que respecta a grandes consumos, para mejor aprovechamiento y eficiencia de las instalaciones se utilizan combinaciones con varios colectores para la función captadora (Ahmed et al., 2021). En estos casos el almacenamiento se encuentra concentrado y la circulación del fluido caloportador se realiza con una bomba, y de allí la designación de estos sistemas como “activos”. La utilización de la bomba hace funcionar más eficientemente a los sistemas de captación y además permite ubicar al almacenamiento por debajo de los colectores, generalmente dentro de la edificación, lo cual es beneficioso en lo concerniente a pérdidas térmicas.

En la República Argentina el mercado de la energía solar térmica de baja temperatura viene creciendo paulatinamente, aunque muy lejos de los niveles que permitirían las condiciones climáticas, tecnológicas y económicas del país (Weiss y Spörk-Dür, 2023). Se disponen en el mercado local de diversas tecnologías, siendo mayormente importados los equipos de tubos evacuados, y habiendo un desarrollo bajo de fabricación local, basado fundamentalmente en sistemas compactos con colectores de placa plana, como se desprende del censo solar realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI (Sabre et al., 2020).

Los sistemas compactos de fabricación nacional basados en colectores de placa plana, suelen estar fabricados con absorbedores sin superficie selectiva y con cubierta transparente de policarbonato alveolar. Las superficies selectivas se obtienen mediante complejos procesos electroquímicos (Hernández Ferreira, 2013), que es una tecnología no disponible en el país. Alternativamente se utilizan pinturas no reflectantes, que son buenas para la absorción de radiación solar, pero que también emiten mucho en la zona del infrarrojo. Por otro lado, las superficies transparentes de policarbonato, si bien funcionan bien como aislantes, son mecánicamente resistentes y de fácil manipulación, poseen menor transmitancia que el vidrio, y no son opacas al infrarrojo. La mejor superficie transparente es el vidrio templado, disponible en el país, pero de un costo elevado.

En este artículo se analiza el caso de una empresa que considera la posibilidad de utilización de los mismos colectores de sus sistemas compactos para aplicaciones de grandes consumos usando sistemas activos y consultó al respecto al Laboratorio de Energía Solar de la UNRC (LES). Ante la duda de cómo se podrían comportar los colectores que fabrican, se decidió realizar un ensayo de rendimiento térmico de acuerdo a la norma IRAM 210002-1 (IRAM, 2016), que es una adaptación de las normas internacionales más utilizadas en el mundo. Este ensayo tiene la particularidad de arrojar como resultado unos parámetros que permiten predecir el comportamiento de un sistema mediante el uso de un método ampliamente utilizado, llamado f-chart (Duffie et al., 2020). Los resultados fueron complementados con análisis numéricos basados en la teoría del funcionamiento de colectores de placa plana.

ENSAYO DE RENDIMIENTO TÉRMICO DEL COLECTOR DE PLACA PLANA

El ensayo previsto en la IRAM 210002-1 se basa en la determinación de la función eficiencia instantánea del colector, η_i , mediante la siguiente ecuación, que plantea un cociente entre la potencia calórica útil que entrega el colector y la irradiación que este recibe en su superficie absorbidora:

$$\eta_i = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A_c G_T} \quad (1)$$

Donde:

η_i = eficiencia instantánea del colector [adimensional]

\dot{m} = flujo másico del fluido caloportador a través del colector [kg/s]

c_p = calor específico del fluido caloportador a presión constante [kJ/(kg.°C)]

T_o = temperatura de salida del líquido del colector [°C]

T_i = temperatura de entrada del líquido al colector [°C]

A_c = área efectiva del colector [m²]

G_T = radiación global incidente sobre el área efectiva del colector [W/m²] (medida con piranómetro)

Todos los términos del miembro derecho de la ecuación (1) se miden con los correspondientes instrumentos: caudalímetro, sensores de temperatura, cinta métrica y piranómetro. En la Figura 1 se muestra un esquema del montaje que debe realizarse para llevar adelante el mencionado ensayo, con los instrumentos de medición, y equipos accesorios como bomba, calentador, válvulas, etc.

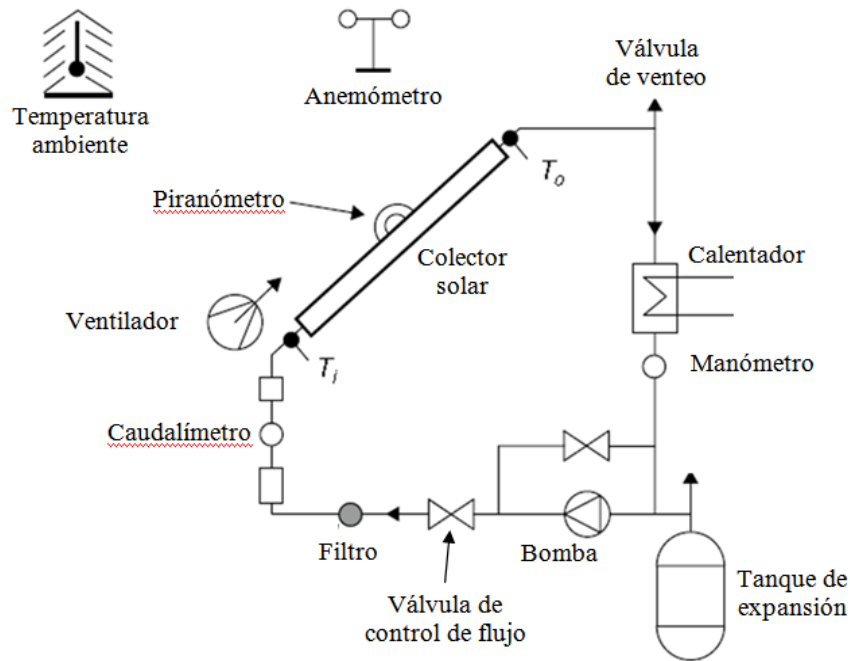


Figura 1: Equipamiento necesario para realizar el ensayo de rendimiento térmico instantáneo del colector.

Teniendo en cuenta la ecuación característica de un colector de placa plana para determinar el calor útil que este es capaz de proporcionar:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \quad (2)$$

Donde:

Q_u = Potencia calórica provista por el colector [W]

F_R = Factor de remoción de calor del colector [adimensional]

S = energía absorbida por la superficie activa del captador [W/m²]

U_L = coeficiente global de pérdidas del colector [W/(°C · m²)]

T_a = temperatura ambiente [°C]

Luego, considerando que el ensayo se realiza en el mediodía solar donde los efectos angulares son despreciables, y considerando despreciable la reflectancia del suelo, la energía absorbida se puede representar por:

$$S = G_T (\tau \alpha) \quad (3)$$

Donde

$(\tau \alpha)$ = producto transmitancia absortancia [adimensional]

Luego, combinando las ecuaciones (1), (2) y (3), se obtiene

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R (\tau \alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_T} \quad (4)$$

Esta última ecuación se puede interpretar como la ecuación de una recta, donde $F_R(\tau\alpha)$ es la ordenada al origen, $-F_R U_L$ es la pendiente y el término $(T_i - T_a)/G_T$ es la variable independiente. La ecuación (4) es única para cada colector, ya que por más que el ensayo se realice en otras condiciones climáticas, el ajuste experimental de esta recta arrojará siempre los mismos valores de ordenada al origen y pendiente. Para ello, es muy importante mantener la constancia del flujo másico a través del colector, que habitualmente es establecido por el fabricante del equipo (caudal de diseño), dado que, si esto no ocurre, variará el Factor de remoción de calor del colector (Duffie et al., 2020) y también lo harán la ordenada al origen y la pendiente.

La misma ecuación (4) aclara también el hecho de que la eficiencia (rendimiento térmico) de un colector no es una constante, sino una función, que irá adoptando distintos valores a medida que cambie la variable independiente $(T_i - T_a)/G_T$. Al término $F_R(\tau\alpha)$ se le suele denominar “rendimiento óptico” ya que es el que se da cuando T_i es igual a T_a y el colector presenta muy poco calentamiento, mientras que el término $-F_R U_L$ está asociado a la baja de rendimiento por el calentamiento que sufre el colector; mientras más empinada la pendiente de la recta, más grandes están siendo las pérdidas de calor, y la eficiencia instantánea del colector irá disminuyendo.

El mencionado ensayo fue llevado a cabo en el LES en marzo de 2024. Como los fabricantes no propusieron ningún caudal preestablecido para su colector, siguiendo lo especificado por la norma, se adoptó un caudal de 0,02 kg/s por metro cuadrado de colector. En la Fig. 2 se muestra el montaje dispuesto, en donde se utilizó la máquina de ensayos construida en el propio laboratorio, que cuenta con tres tanques de almacenamiento de agua de 100 litros cada uno, dos bombas de circulación, 6 resistencias calefactoras de 1500 W cada una, dos caudalímetros, y varias redes de circulación de agua para acondicionarse a distintos tipos de ensayo de colectores y equipos compactos. Se ve en la Fig. 2 (a) las entradas y salidas del colector mediante mangueras aisladas y los instrumentos de medición, mientras que en la Fig. 2 (b) se observa en un plano paralelo al del colector, el piranómetro de precisión para determinar la irradiancia instantánea que llega.



Figura 2: Realización del ensayo de eficiencia térmica instantánea del colector solar de placa plana.

En este ensayo se utilizó uno de los caudalímetros, el rotámetro que tiene fondo de escala de 4 litros por minuto (4 lpm), que es el que da una buena apreciación de la lectura, considerando el caudal adoptado por norma para el ensayo y el área de colector, que con el correspondiente cambio de unidades implica que se debe mantener un caudal constante de 2,34 litros por minuto. El otro caudalímetro tiene un fondo de escala de 15 lpm y es utilizado para ensayo de equipos compactos según norma IRAM 210004.

Como lo establece la norma, el ensayo fue realizado en días claros, midiéndose 33 puntos, en cada uno de los cuales al colector se le pone en estado estacionario a caudal constante. Siendo la ordenada al origen y la pendiente de la ecuación (4) sustancialmente constantes y variando poco la radiación solar y la temperatura en torno al mediodía solar, el recorrido amplio a lo largo del eje de abscisas se logra con la variación de la temperatura de entrada del colector mediante los calentadores de la máquina de ensayo.

El resultado del ensaya se encuentra graficado en la Fig. 3, donde se ha graficado una línea recta por el método de los mínimos cuadrados. Comparado con datos típicos de la bibliografía (Kalogirou, 2024), se puede decir que este colector tiene un muy bajo rendimiento óptico, $F_R(\tau\alpha) = 0,404$, aunque pocas pérdidas térmicas, $-F_R U_L = -1,54$

A fin de comparar este colector con otro que posee un absorbedor con superficie selectiva y una superficie transparente de vidrio templado, se selecciona un colector ofrecido por una empresa importadora que los provee en Argentina (Hissuma, 2024). En la página web de esta empresa se muestran datos constructivos y tipos de materiales que componen tres modelos similares de colectores de placa plana. De los tres modelos ofrecidos, se escoge uno intermedio, que tiene un $F_R(\tau\alpha) = 0,76$, mucho mejor al colector ensayado y un $-F_R U_L = -4,05$, que presenta mayores pérdidas por calentamiento.

Con los datos de ordenada al origen y pendiente del colector importado, se genera la función de eficiencia instantánea establecida por la IRAM 210002-1, que se muestra en la Fig. 4 (recta color azul). Con la ecuación obtenida mediante el método de mínimos cuadrados para el colector de fabricación nacional, se genera también la función de eficiencia instantánea, y se la grafica en la misma Fig. 4 (recta color anaranjado). Se observa allí que aunque aumente la temperatura de funcionamiento de ambos colectores, y por ende las pérdidas, el colector con vidrio templado y superficie selectiva siempre ofrece en todo el rango de abscisas un rendimiento instantáneo superior al del colector de fabricación nacional extraído de un sistema compacto. No se justifica en la Fig. 4 una extensión de la graficación para valores de abscisas mayores a los mostrados aquí, ya que implicarían valores de temperatura de entrada superiores a la temperatura de ebullición del agua, a la cual no funcionarían nunca este tipo de colectores.

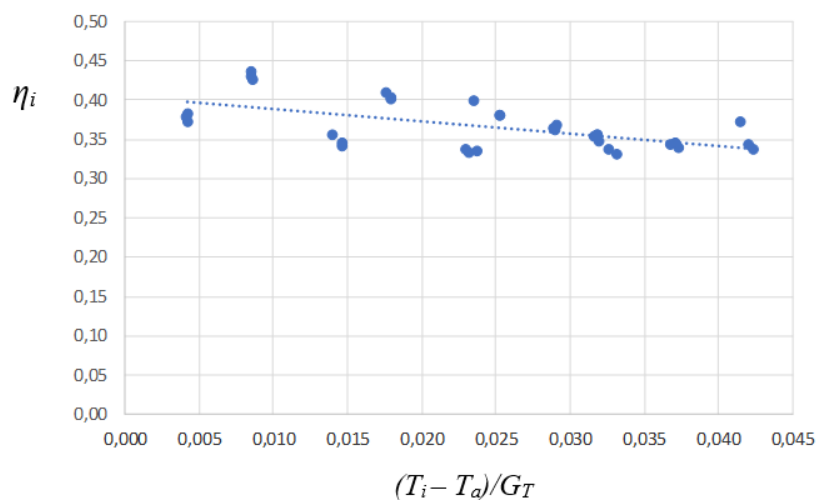


Figura 3: Rendimiento térmico instantáneo del colector de placa plana.

COMPARACIÓN DE INSTALACIONES CON DISTINTOS COLECTORES

A fin de analizar la influencia de las diferencias entre los distintos rendimientos térmicos instantáneos, se procede a realizar el cálculo de una instalación en la cual se deba proveer la misma demanda de agua caliente utilizando los diferentes tipos de colectores. Se supone se tratará de una instalación de una cierta envergadura, donde se justifique la adopción de un sistema activo. Para una demanda de una familia de hasta seis personas en la región templada y cálida del país, funcionan muy bien los equipos compactos que hoy se comercializan y son de muy sencilla instalación.

De esta manera, pensando en aplicaciones como podrían ser un pequeño hotel, un edificio de departamentos, precalentamiento de agua para agroindustria, etc., se puede utilizar el método f-chart mencionado anteriormente.

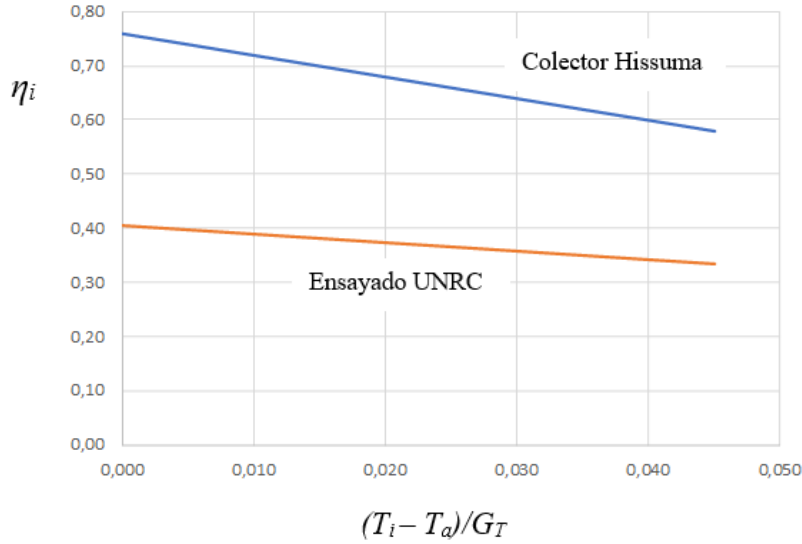


Figura 4: Comparación de los rendimientos térmicos instantáneos de colectores de placa plana.

Para la aplicación de este método, se requieren los valores de $F_R(\tau\alpha)$ y $F_R U_L$, la demanda de agua caliente y las condiciones climáticas del lugar, incluyendo por supuesto la radiación solar. Se trabaja con valores medios mensuales y el método no es determinístico, es decir, no se determinan los colectores para una dada demanda, sino que debe proponerse una cierta superficie de colectores y la aplicación del método va arrojando el dato de la fracción mensual de energía que se cubre con dicha propuesta. La fracción solar media mensual la identificamos como:

$$f_i = \frac{\text{Energía aportada por equipo solar en el mes } i}{\text{demanda total de energía del usuario en el mes } i (L_i)} \quad (5)$$

Y la fracción solar anual como

$$F = \frac{\sum f_i L_i}{\sum L_i} \quad (6)$$

donde, obviamente, i va de uno a 12

Este método ha sido estandarizado para un almacenamiento de agua por metro cuadrado del colector de 75 litros por metro cuadrado. El método prevé correcciones si este valor exacto de almacenamiento por metro cuadrado no se cumple (puede que no haya en el mercado un almacenamiento múltiplo de 75 litros). De esta manera, una vez propuestos los metros cuadrados de colector, se deduce que almacenamiento lo acompañará, se estiman accesorios y mano de obra para ver el costo total de la instalación. De esta manera, se puede ir aumentando la superficie de colección de energía, con el consecuente aumento del almacenamiento y adopción de accesorios adecuados. Este aumento significará una mejor cobertura de demanda de agua caliente con energía solar, pero también un mayor costo del total de la instalación (equipos más mano de obra).

Así, se debe ir contrapesando con el costo de los equipamientos e instalación, asumiendo que jamás se va a poder cubrir la totalidad de la energía demandada, por la existencia de días nublados seguidos y temperaturas invernales bajas. Es normal en la región central de Argentina pensar que se puede dar una cobertura de energía mensual del orden de entre el 75 % al 85 % para aplicaciones residenciales. Más que eso implicaría instalaciones de gran tamaño, con un retorno de inversión muy largo. El retorno de la inversión se obtiene de los ahorros de energía convencional que tendrá el usuario, y el razonamiento a hacer es que el tiempo que demande el retorno de la inversión sea menor a la vida útil del equipo.

El método f-chart se basa en estudios estadísticos realizados para gran cantidad de casos de sistemas de calentamiento activos. La forma detallada de aplicarlo se puede ver en el texto de Duffie et al. (2020). Brevemente consta en la determinación de dos números adimensionales X (que tiene en cuenta las pérdidas de energía) e Y (que considera las ganancias), ambos en función del área de colectores y de la demanda de energía mensual. Para ello es necesario contar también con la radiación en el plano del colector. Este último dato no está habitualmente disponible, contándose en general con datos de radiación media mensual horizontal, por lo cual recurrimos a una herramienta desarrollada previamente (Barral et al., 2022) que convierte la radiación media mensual horizontal en radiación media mensual sobre el plano de inclinación de captación, utilizando datos de latitud y geometría solar.

Se han cargado las ecuaciones y expresiones lógicas en una planilla Excel para simplificar y visualizar bien los cálculos. Luego los datos a cargar en la tabla son los días que tiene cada mes, para el cálculo de la demanda que es una operación calorimétrica que tiene en cuenta los consumos diarios, la temperatura ambiente y los siguientes parámetros:

H_T = Irradiación diaria media mensual sobre la superficie inclinada [MJ/m^2]

L = demanda mensual de energía [MJ]

X e Y que son los términos adimensionales que prevé el método.

T_s = Temperatura de seteo (la que se desea que entregue la instalación) [$^{\circ}\text{C}$]

m = Masa diaria de agua caliente necesaria para los usuarios de la instalación [kg]

A_c = Área efectiva de colección de energía solar (suma de todos los colectores) [m^2]

Considerando una instalación en la ciudad de Río Cuarto, se tomó como ángulo de inclinación 45° , que es la latitud del lugar más 10° aproximadamente, lo que se recomienda para agua caliente sanitaria residencial. Se supuso la cantidad de agua demandada por 15 usuarios residenciales, a 50 litros por día por persona, que es lo que habitualmente se utiliza para Argentina. El área útil del colector ensayado en el laboratorio fue medida en $1,948 \text{ m}^2$, y la del colector de Hissuma fue tomada de los datos de catálogo publicados en la web $A_c = 1,82 \text{ m}^2$ (indicada allí como superficie neta)

Los resultados de aplicar el método para los distintos colectores se muestran en las Tablas 1 y 2. Los datos a aportar a la planilla están resaltados en amarillo. La irradiación solar media mensual sobre el plano del colector proviene del procesamiento de la radiación diaria media mensual explicado previamente, la temperatura ambiente media mensual se obtiene de datos estadísticos del Servicio Meteorológico Nacional.

En la quinta columna, se lista la demanda mensual de agua caliente. La misma se calcula con la ecuación calorimétrica:

$$L = c_p m (T_s - T_a) \quad (1)$$

c_p = calor específico del agua [$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$]

m = Masa diaria de agua caliente necesaria para los usuarios de la instalación [kg]

T_s = temperatura de seteo [$^{\circ}\text{C}$]

T_a = temperatura de entrada del agua de reposición al sistema [$^{\circ}\text{C}$]

Los valores de demanda se generan con la carga de datos, al asumirse la masa diaria de agua y la temperatura de seteo. Como temperatura del agua de reposición, se adopta la temperatura diaria media mensual, asumiendo que la misma proviene del tanque de almacenamiento general de la casa, y esta va tomando los valores de la temperatura media mensual por estar expuesta al ambiente exterior. De allí se observa la variación de la demanda en forma creciente hacia los meses invernales, por ser necesaria una elevación mayor de la temperatura en esos meses.

En dos últimos renglones al centro, están los datos de ordenada al origen y pendiente de pérdidas térmicas de los colectores. Allí se han ido introduciendo en los últimos renglones de la izquierda distintos valores fijos de temperatura de seteo (unos grados más que la de ducha, estimada en 42°C) y

cantidad de agua diaria, en kilogramos. Finalmente, distintas áreas de colector, hasta aproximarse a un valor cercano al 80 % de cobertura anual de energía solar.

Tabla 1: Resultado de la aplicación de método f-chart usando colectores solares de Hissuma

Mes	días por mes	HT [MJ/m2]	Ta [°C]	L [MJ]	X Adimens.	Y Adimens.	f Adimens.	$\zeta f < 1?$	En. Solar [MJ]
Enero	31	20,46	23,23	2119	3,47	1,93	1,023	1,000	2119
Febrero	28	20,17	22,40	1987	3,38	1,83	0,996	0,996	1978
Marzo	31	18,70	19,80	2453	3,13	1,52	0,889	0,889	2180
Abril	30	17,73	16,40	2694	2,88	1,27	0,785	0,785	2114
Mayo	31	15,73	12,80	3134	2,66	1,00	0,646	0,646	2025
Junio	30	15,18	9,50	3344	2,51	0,88	0,577	0,577	1929
Julio	31	14,64	8,95	3509	2,48	0,83	0,549	0,549	1927
Agosto	31	16,95	11,18	3292	2,58	1,03	0,666	0,666	2193
Septiembre	30	17,82	13,30	2986	2,69	1,15	0,732	0,732	2185
Octubre	31	18,69	17,49	2677	2,95	1,39	0,840	0,840	2250
Noviembre	30	19,39	20,14	2341	3,16	1,60	0,920	0,920	2153
Diciembre	31	19,15	22,35	2204	3,37	1,73	0,961	0,961	2118
energía total anual demanda ➡				32738	total solar anual ➡				25170
Ts= 45 °C				F _R U _L = 4,05		F = Σ(f.L) / ΣL= 0,769			
Ac= 9,1 m ²				F _R (τ α) = 0,76					
m= 750 kg									

Tabla 2: Resultado de la aplicación de método f-chart usando colectores solares diseñados originalmente para sistemas compactos

Mes	días por mes	HT [MJ/m2]	Ta [°C]	L [MJ]	X Adimens.	Y Adimens.	f Adimens.	$\zeta f < 1?$	En. Solar [MJ]	
Enero	31	20,46	23,23	2119	2,26	1,75	1,030	1,000	2119	
Febrero	28	20,17	22,40	1987	2,20	1,67	1,000	1,000	1986	
Marzo	31	18,70	19,80	2453	2,04	1,39	0,888	0,888	2177	
Abril	30	17,73	16,40	2694	1,87	1,16	0,781	0,781	2103	
Mayo	31	15,73	12,80	3134	1,73	0,91	0,644	0,644	2017	
Junio	30	15,18	9,50	3344	1,63	0,80	0,575	0,575	1922	
Julio	31	14,64	8,95	3509	1,62	0,76	0,548	0,548	1923	
Agosto	31	16,95	11,18	3292	1,68	0,94	0,662	0,662	2177	
Septiembre	30	17,82	13,30	2986	1,75	1,05	0,726	0,726	2169	
Octubre	31	18,69	17,49	2677	1,92	1,27	0,837	0,837	2240	
Noviembre	30	19,39	20,14	2341	2,06	1,46	0,919	0,919	2152	
Diciembre	31	19,15	22,35	2204	2,20	1,58	0,964	0,964	2125	
energía total anual demanda ➡				32738	total solar anual ➡				25111	
Ts=	45	°C	$F_R U_L =$		1,54	$F = \Sigma(f.L) / \Sigma L =$				0,767
Ac=	15,58	m ²	$F_R(\tau\alpha) =$		0,404					
m=	750	kg								

Se ven en estas tablas en la penúltima columna unos valores igualados a uno (1) resaltados en celeste. Es valor se coloca arbitrariamente (operación lógica) cuando la fracción solar mensual de la columna anterior da mayor que uno (1). Esto significa, que en dicho mes la energía solar ha superado a la demanda, y como esa energía no se puede guardar para los meses “fríos”, el excedente directamente se

desecha y se toma como energía cubierta la total de la demanda (5ta columna). En los meses invernales las fracciones solares llegan a valores del orden del 55 %. En la pretensión de querer aumentar esos valores, se requeriría mucha más área de colectores, lo cual implicaría un excesivo derroche de energía en los meses cercanos al verano (más fracciones de valor “1”), con una inversión inicial muy grande de equipos y mano de obra. Por esta razón, los valores de fracciones solares anuales se ajustan a las condiciones climáticas de las distintas regiones.

Para llegar a un número redondo de colectores que permita la comparación, se pusieron 5 colectores de la empresa Hissuma (que totalizaron 9,1 m²), que dieron una fracción solar anual de 0,769. Para dar un valor bien parecido de fracción solar con el colector de sistema compacto, 0,767, fue necesario utilizar 8 colectores (totalizando 15,58 m²). Se ve así que la penalidad por un menor rendimiento térmico instantáneo resulta en una necesidad de colocar una superficie mayor para satisfacer en un grado razonable la demanda de agua caliente.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Atentos a los antecedentes bibliográficos, era de esperar que el rendimiento térmico de un colector sin superficie selectiva y sin cubierta de vidrio arrojara fuera menor al de un colector que sí utiliza dichos materiales. No se esperaba que fuese en un nivel tan elevado, considerando que los sistemas compactos nacionales funcionan razonablemente bien en las regiones templadas y cálidas de Argentina. Como el colector ha sido tratado como caja negra, no se han analizado algunos aspectos constructivos, tomándose la información al respecto de los fabricantes como válida. No se pudo analizar, por ejemplo, si había problemas de puentes térmicos, aunque por lo visto la aislación es muy buena. La mayor pérdida de calor de los colectores solares de placa plana se da por su superficie transparente, y como el policarbonato es de doble capa, con una capa de aire en el medio, provee una buena aislación térmica, lo cual se vio reflejado en el ensayo mediante IRAM 210002-1, con la baja pendiente de la recta que se observa en la Fig. 3.

Los fabricantes informaron que la superficie absorbidora estaba hecha de chapa de aluminio conformada para unirse a presión con siete conductos de cobre de 9,52 mm de diámetro exterior. Esto no es conveniente, porque una unión solidaria mediante soldadura garantiza una buena conducción del calor. Debería analizarse en un futuro trabajo analítico la influencia de este defecto en los valores que podrían tomar la Eficiencia del colector y el Factor de remoción de calor. Está allí en juego un valor de resistencia térmica de contacto de difícil determinación, pero que no es para nada despreciable. Seguramente, este detalle constructivo también operó en contra para la determinación del rendimiento térmico, ya que el factor de remoción de calor forma parte del producto $F_R(\tau\alpha)$.

El problema aquí acontece por la necesidad del pasaje rápido del calor desde las aletas absorbedoras al fluido caloportador circulante, para aprovechar justamente el accionar de la bomba, que tendería a coleccionar rápidamente la energía. Este efecto no se nota cuando el equipo funciona termosifónicamente, ya que la velocidad de circulación es extremadamente baja (Lucchini et al., 2008) y el fluido tiene mucho tiempo para calentarse. Por eso en los sistemas compactos, pueden funcionar razonablemente hasta superficies absorbedoras realizadas con polímeros.

Los fabricantes, proveedores, revendedores e instaladores desconocen en gran medida los aspectos físicos conceptuales en que se basa el aprovechamiento de la energía solar térmica, a pesar de que hace varios años que se viene trabajando acciones de capacitación (Garnica et al., 2010). Un sistema compacto debe ensayarse con una norma completamente distinta a la de los colectores solos para sistemas activos, que es la IRAM 210004 (IRAM, 2016), no arroja valores de rendimientos térmicos, sino de producción anual de energía. El INTI ha creado y tiene en marcha un programa de Certificación Instaladores de Sistemas Solares Térmicos (INTI, 2024), pero es a un nivel de equipos hasta los 600 litros, quedando mayormente relegado a instaladores de sistemas compactos.

En general, la mayoría de los colectores de placa plana son copia de modelos extranjeros, con las adaptaciones locales y la tecnología disponible en el país. Seguramente, que un absorbedor aislado y con cubierta transparente va a proveer algún ahorro energético, pero la cuestión es poder dar el mejor

aprovechamiento al menor costo posible. Si bien centrarse en rendimiento térmico es importante, también son importantes los costos. Así, se debe contrapesar el disponer de colectores más baratos, pero con mayor costo de instalación por la necesidad de más superficie. Allí cuenta también el tema de la vida útil y el mantenimiento. Por ejemplo, el uso de policarbonato es beneficioso por su costo inicial frente al vidrio templando, y también por la facilidad de manipulación al momento de fabricar y transportar. Pero hay que tener en cuenta, que al cabo de pocos años, a pesar de tener una cara con tratamiento anti UV, los policarbonatos pierden mucha transparencia, afectando notablemente el rendimiento de los sistemas de calentamiento compactos, y es necesario cambiarlo.

El colector analizado en este trabajo es uno en particular, que lo fue a pedido de los fabricantes, ante la duda sobre si su funcionamiento sería adecuado para un sistema activo. Eventualmente, un sistema compacto puede contar con colectores de muy buena calidad y deberían igualmente analizarse dicho colector por separado para si se le desea utilizar para un sistema de flujo forzado.

Es valorable el hecho de que los fabricantes hayan recurrido por su propio interés a solicitar el asesoramiento y ensayo de los equipos en un Laboratorio independiente, como lo es el LES. No existe hoy en funcionamiento real un organismo que tenga a cargo la regulación efectiva de los equipos que se comercializan en el país en cuanto a su performance desde el punto de vista térmico, ya sean sistemas compactos o instalaciones con equipos forzados. La Secretaría de Comercio Interior emitió una serie de resoluciones, una de las últimas fue la Resolución 753/2020 (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2020), donde se prevén una serie de ensayos (impacto, volumen, presión, marcado y rotulado, etc.) pero no tiene en cuenta los ensayos térmicos. Extrañamente, en el caso de los sistemas compactos habla de pérdidas de energía, pero no de ganancia de energía, siendo que para eso están hechos estos equipos.

CONCLUSIONES

Si bien este trabajo mostró básicamente un problema respecto al uso de un tipo de colectores para aplicaciones forzadas, se debe remarcar que, con los elementos adecuados, este tipo de instalaciones son altamente recomendables cuando se trata de necesidades de provisión de agua caliente en grandes volúmenes. Ya se están utilizando sistemas centralizados de agua caliente en edificios de departamentos, y se debería lograr, que dentro de lo posible, las instalaciones para proveer agua caliente, usen un alto porcentaje de energía solar.

Hay equipos y accesorios disponibles en el mercado Argentino, y muy confiables y a precios razonables, que permiten montar sistemas forzados sin ningún problema. Deben tenerse en cuenta ciertas ventajas de estos sistemas, como lo son que el tanque de almacenamiento puede estar dentro de la edificación, lo cual favorece su durabilidad y mantenimiento de la temperatura, que pueden montarse con ángulos variables sin necesidad de estructuras fijas predeterminadas y por ello pueden integrarse arquitectónicamente muy bien a la estructura externa de una edificación o industria.

Es necesaria la aprobación de una ley nacional de energía solar térmica que provea un marco general a todo el sistema nacional, incluyendo aspectos normativos y de homologación de equipos, con información disponible públicamente, que permita a vendedores, instaladores y público en general tomar decisiones en cuánto qué equipos instalar de acuerdo a sus necesidades. Tanto el mercado común de la Unión Europea como los Estados Unidos tienen organismos que proveen la información de todas las marcas y modelos de equipos (colectores y sistemas compactos) que han sido ensayados y están aprobados para su comercialización (ESTIF, 2024) (SRCC, 2024), y dicha información está disponible en Internet para todo el mundo.

Deben incrementarse las acciones de formación de profesionales en el área, no sólo a nivel técnico, sino también de proyectistas con formación ingenieril, que garanticen conocimientos tanto en la fabricación de los equipos como en la instalación de los mismos. Son hoy muy pocas las instituciones universitarias que ofrecen capacitaciones a nivel de grado de en esta área. Aunque hay varias ofertas de posgrado en cuestiones energéticas, la mayoría son orientadas a la gestión y muy pocas ponen énfasis en los aspectos técnicos de proyecto, dirección técnica, instalación y montaje de equipos. Los fabricantes deberían saber las consecuencias que ocasionan la utilización de uno u otro material o geometría para la construcción

de sus equipos. Por otro lado, los proyectistas deberían formarse en la utilización de herramientas de cálculo como el f-chart o similares, para poder diseñar y ejecutar instalaciones que logren los mejores resultados posibles para sus clientes.

Es importante que se conozcan las normas que están involucradas en los temas de energías renovables. A pesar de que nuestro país está atrasado en los desarrollos en energías renovables, debido a su larga tradición con combustibles fósiles, es necesario que los profesionales estén preparados, afrontar los desafíos de la transición energética con recursos humanos nacionales. Estamos incluso muy atrasados en diversos aspectos respecto a varios de nuestros países vecinos.

REFERENCIAS

- Ahmed S.F.; Khalid M.; Vaka M.; Walvekar R.; Numan A.; Rasheed A.K.; Mubarak, N.M. (2021) Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review. *Thermal Science and Engineering Progress*, 25, 1-23.
- Albizzati E. (2013). Cálculos de la energía generada y la mitigación de emisiones de gases en instalaciones para calentamiento solar de agua. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 31, 9-16.
- Barral J., Garnica J., Lucchini J.M. (2022) Herramientas para diseño y cálculo de instalaciones Pasivas y activas de agua caliente solar. Actas del 6° Congreso Argentino de Ingeniería y 12° Congreso Argentino de Enseñanza de Ingeniería CADI-CAEDI, ISBN 978-987-4050-08-3, pág. 1936-1943.
- Duffie J.A.; Beckman W.A.; Blair N. (2020) *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, fifth edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 683-700.
- ESTIF [en línea] The Solar Keymark. ESTIF - the European Solar Thermal Industry Federation. Dirección URL: <<http://www.estif.org/solarkeymarknew/>> [consulta: 3 de agosto de 2024]
- Garnica, J.H.; Lucchini, J.M.; Stoll, R.G.; Barral, J.R. (2010). Ensayos normalizados de colectores solares y sistemas de calentamiento de agua en argentina: análisis de la situación, avances y dificultades. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14(3), 147-154.
- Hernández Ferreira A.A. (2013) Superficies selectivas para instalaciones solares: fundamento y evaluación de su aplicación. Perfiles, Revista científica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, 10, 55-62.
- Hissuma [en línea] Colector solar placa plana HISSUMA SOLAR Mod. SCP FPGB 2.00x1.00BC. Dirección URL: < <https://www.hissuma-materiales.com.ar/productos/colector-solar-placa-plana-hissuma-solar/>> [consulta: 1 de agosto de 2024]
- INTI [en línea] Instaladores de Sistemas Solares Térmicos, Nivel II, Dirección URL: <<https://www.inti.gob.ar/areas/servicios-regulados/certificaciones/organismo-de-certificacion/tramites/instaladores-de-sistemas-solares-termicos-nivel-ii>> [consulta: 2 de agosto de 2024]
- IRAM (2016) IRAM 210002-1 Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico de los colectores solares con cubierta para el calentamiento de líquidos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, 57 pp.
- IRAM (2016) IRAM 210004 Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, 56 pp.
- Kalogirou S. (2024) *Solar Energy Engineering. Processes and Systems, third edition*. Academic Press. London, UK, 227-231.
- Lucchini J.M., Garnica J.H., Stoll R.G., Barral J.R. (2008) Estudio de un caudalímetro simple y de bajo costo para mediciones en sistemas solares termosifónicos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 8.117-8.124.
- Ministerio de Desarrollo Productivo (2020) Aprobación del Reglamento Técnico colectores solares y sistemas solares compactos que se comercialicen en el territorio de la República Argentina.
- Placco C., Saravia L., Cadena C. (2010) Informe Técnico sobre Colectores Solares para Agua Caliente. Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO), Salta, Argentina.
- Sabre M., Pereira G., Medel N., Pescio F., Chiaravalloti A., Bornancin M., Cordi M., Lunardelli G. y Quiroga L. (2020) Censo Nacional Solar Térmico 2020 - Informe Período 2019. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Buenos Aires.

SRCC [en línea] Solar Rating & Certification Corporation. URL: < <https://solar-rating.org/>> [consulta: 3 de agosto de 2024]

Weiss W. y Spörk-Dür M. (2023) Solar Heat Worldwide, Global Market Development and Trends 2022, Detailed Market Figures 2021. Solar Heating & Cooling Programme. International Energy Agency.

INFLUENCE OF ABSORBER MATERIAL ON INSTANTANEOUS THERMAL EFFICIENCY OF A FLAT PLATE COLLECTOR AND ITS CORRESPONDING APPLICATIONS

ABSTRACT: The consequence of using collectors designed for compact thermosyphon systems in installations operating with forced circulation is analysed. An instantaneous thermal performance test was carried out using IRAM 210002-1 on a collector separated from its storage. The collector has an absorber with a matt paint coating and a transparent cover of polycarbonate honeycomb. The parameters of optical performance and temperature loss coefficient were taken from the test to be used in the calculation procedure for f-chart active solar systems. For comparison, an imported collector was selected, available on the local market, with a selective surface coating on the absorber and a transparent cover of low iron-tempered glass. The comparison for a particular case shows that 37,5 % more active surface area of the tested collector is needed to provide the same benefit. Test results are shown in plots and f-chart calculations in tables. Considerations are made regarding improvements to be implemented in manufactures of collectors, as well as the need for political and educational actions for a better development of solar thermal applications in the country.

Keywords: flat plate sola collector, selective surface, polycarbonate, thermal efficiency.