

COLECTOR DE PLACA PLANA CON ABSORBEDOR DE PERFILES DE ALUMINIO: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, ENSAYOS Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Javier H. Garnica, Jorge R. Barral, Juan M. Lucchini, Rodolfo G. Stoll
Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería - Departamento de Mecánica
Ruta Nac. 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto
Tel./Fax: (0358) 4676246 - e-mail: jgarnica@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN: Se presenta en este trabajo el diseño, construcción, ensayos térmicos y aplicaciones de un colector de placa plana cuya superficie absorbidora está fabricada con perfiles de aluminio. El objetivo fue lograr un diseño que evite la utilización de materiales caros, sea fácil de construir, resistente a las heladas y de funcionamiento confiable. Se basó el análisis en el planteamiento de un absorbedor sin aletas, para contrarrestar el efecto de una conductividad térmica menor. Para el diseño de este absorbedor se tomó una presión de diseño para aplicar de un método de elementos finitos. Se describen los criterios utilizados para la selección de los materiales y la fabricación de los prototipos. El colector fue ensayado mediante normas internacionales para determinar su rendimiento térmico. Una aplicación experimental en calentamiento de piscinas y el proyecto mediante el método f-chart de un sistema activo dan cuenta de aplicabilidad de este tipo de colectores.

Palabras clave: colector solar, absorbedor, aluminio, rendimiento térmico, f-chart

INTRODUCCIÓN

El calentamiento de agua mediante energía solar tiene aún una gran competencia con los bajos precios del gas natural en la República Argentina. Esto se magnifica en los grandes centros urbanos, pero esta tendencia está cambiando y se esperan grandes avances en el mediano plazo (Salerno et al, 2009). Por otro lado, en poblaciones de difícil acceso a la red de gas, los beneficios económicos son evidentes y se justifica plenamente su uso (Correa et al., 2004).

El colector solar de placa plana es uno de los componentes centrales de las instalaciones para calentamiento de agua, que pueden pensarse para cumplir funciones de provisión de agua sanitaria, calentamiento de agua de piscinas, climatización, aprovechamientos industriales, etc. El principal propósito de un colector solar es coleccionar la mayor cantidad de energía al menor costo total posible. Esto implica que el colector debería tener una vida útil larga, soportar los efectos adversos de la radiación ultravioleta, la corrosión y las incrustaciones. No lo deberían afectar las heladas, granizo, y vandalismo entre otras causas. (Kalogirou, 2004).

Los colectores solares de placa plana son construidos habitualmente con una superficie absorbidora de chapa y tubos soldados o prensados a la chapa, de manera que la energía que llega del sol a la chapa se transfiere al agua que circula por los tubos mediante conducción de calor. Por lo tanto, para esta configuración del colector es necesario usar un material de alta conductividad térmica (normalmente cobre) como material de la chapa y de los tubos.

Analizando la conveniencia de utilización de un material u otro, se planteó la posibilidad de usar aluminio en vez de cobre. Si bien en Argentina hay minas de cobre, y en la actualidad están siendo explotadas, solo se obtiene el mineral y se lo exporta, no hay producción de metal de cobre (no se refina) en el país. Dicho de otro modo, el cobre electrolítico que se usa en el país es importado. (The World copper factbook 2012). Por otro lado, algunos autores prevén una escasez de cobre en unos pocos años y recomiendan el estudio de otros materiales como plásticos o aluminio para la construcción de colectores solares (Eisenmann et al., 2004). El aluminio es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno y el silicio, y constituye el 7,3% de su masa. En Argentina se ha desarrollado tecnología de elaboración de aluminio, si bien no hay mineral de aluminio en el país, si existe obtención de metal aluminio refinado, de manera que se importa mineral de aluminio y se elabora metal de aluminio y una gran variedad de derivados, como perfiles, chapas, etc. Este metal es reciclable con un costo muy bajo de reciclado ya que se utiliza alrededor del 5% de la energía necesaria para producir nuevo material. (Subsecretaría de Comercio Internacional, 2010). Se suma a estas ventajas el hecho de que este metal permite la elaboración de productos mediante proceso de extrusión, lo que redundaría en costos comparativamente bajos para la obtención de elementos prismáticos de formas complejas, máxime teniendo en cuenta que en el país hay varias empresas extrusoras. Se cuenta en Argentina con la productora de aluminio primario más grande de Latinoamérica.

Centrando este estudio en materias primas locales, es de esperar también que un eventual desarrollo industrial se realice por fábricas argentinas. En una caracterización del mercado argentino para calentadores solares, Nienborg y Nadal (2010) observaron que la mayoría de la producción nacional es realizada por pequeñas empresas, garantías de calidad relativamente limitadas y muy pocas certificaciones específicas sobre sus equipos. Así, ante las señales de un mercado en vías de crecimiento muy rápido en los próximos años, resulta necesario tanto para el proceso de fabricación como de comercialización, la adopción de normas técnicas apropiadas para equipos que sean ensayados en laboratorios técnicamente

capacitados (Morante y Zilles, 2006). En particular para el caso de colectores de placa plana, resulta de interés la realización de un ensayo de comportamiento térmico (ASHRAE, 2003), ya que ciertos resultados de ese ensayo se pueden utilizar después para el cálculo de un sistema de calentamiento de agua activo.

Se conjugaron en este trabajo cuestiones geométricas como de disponibilidad de material y costos que condujeron a una propuesta de colector solar que basa sus bondades en la utilización de una superficie absorbadora hecha con perfiles comerciales de aluminio. Este modelo de colector ha sido evaluado con ensayos normalizados, arrojando resultados satisfactorios y también se ha realizado una aplicación concreta de calentamiento de agua para una piscina. Se describen el diseño y procesos constructivos, los ensayos realizados y se realiza también una proyección para un sistema activo funcionando en las condiciones climáticas de Río Cuarto.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Se propone usar aluminio como material para la placa absorbadora, debido al menor costo de este insumo en nuestro país con respecto al cobre, y pensando también en que existe una industria desarrollada de perfilería extruida. Teniendo en cuenta el precio por kilogramo del cobre y del aluminio, sumando el hecho de que el aluminio tiene una densidad aproximada al 30% de la densidad del cobre, resulta que un elemento construido con cobre es seis veces más costoso que el mismo elemento construido con aluminio.

Si bien el aluminio no está considerado como un material de habitual uso para la construcción de estructuras y máquinas en Argentina, en los últimos años se ha incrementado su utilización sobre todo en la construcción de viviendas, donde se emplea principalmente como material para la elaboración de aberturas. Este hecho trae aparejado que en el mercado local (Río Cuarto, Córdoba) sea posible conseguir materiales de aluminio en diferentes manufacturas, como chapas, tubos y perfiles extruidos de variadas formas, etc.

La carpintería de aluminio no usa procesos complejos para la unión de partes, ya que la gran diversidad de perfiles existentes permite que se puedan ensamblar aberturas y cerramientos importantes con solo cortar y remachar diferentes perfiles. Para construir una placa absorbadora para colector solar se necesita unir de manera fuerte y estanca las diversas partes, ya que debe trabajar a cierta temperatura, y si las uniones de las distintas partes no es la adecuada puede fallar y afectar la durabilidad del equipo. (Figuerola et al, 2006). En la actualidad no es demasiado complejo soldar el aluminio con aluminio, de la misma manera que se suelta el acero con acero, e incluso los procesos son similares a los que se usan para soldar aceros comunes o aceros inoxidable.

El aluminio cumple además con ser no tóxico, tiene buena conductividad térmica y tiene buena resistencia a la corrosión, aunque no posee las características de resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable. Estos últimos, por otro lado, son importados en argentina, ya que no existe producción local.

Placa absorbadora

Para armar la placa absorbadora de los colectores de placa plana siempre se ha considerado necesario usar tubos, ya que es estructuralmente el elemento que mejor soporta la presión de un fluido. A partir de ello es necesario emplear una placa conductora de calor para transmitir la energía a la pared del tubo y luego al fluido que circula por el interior de éste. Una diversidad de combinaciones de tubos y chapa se usan habitualmente para lograr este cometido. Así, para construir una placa colectora térmicamente efectiva y económicamente viable deben usarse métodos de soldadura que no están disponibles en el país, como también deben usarse procesos automatizados de fabricación, lo que dista mucho de la realidad tecnológica actual de quienes construyen colectores en Argentina (Nienborg y Nadal, 2010) (Morante y Zilles, 2006).

Una manera de mejorar el rendimiento de la placa absorbadora es disminuyendo la longitud de la aleta, de manera que se minimice la resistencia de la transferencia de calor hacia el tubo. En una disminución extrema de la aleta, podría pensarse en eliminar la aleta, de manera que la energía que llega a la placa solo tenga que atravesar la pared del tubo para llegar al fluido. Se plantea así la idea de armar una placa colectora cuya superficie expuesta a la radiación permanezca “completamente mojada” en la otra cara, es decir, se debería armar un “sándwich” de chapa-fluido-chapa. El principal problema surge en que se debe poder soportar presión, por lo que ambas chapas de la placa colectora deben estar vinculadas mecánicamente, ya que la presión del fluido entre ellas tenderá a separarlas.

La presión que se debe soportar no es muy elevada, si se considera que la mayoría de las casas tiene un tanque de reserva desde el cual se alimentaría de agua al sistema de calentamiento solar, con lo que la presión no sería más que la correspondiente a unos 3m de columna de agua.

Investigando en los catálogos de fabricantes de perfiles de aluminio se encuentra que existe un perfil extruido que tiene forma de placa hueca, incluso con refuerzos longitudinales que vinculan las dos paredes exteriores. Los perfiles son extruidos en aleación de aluminio 6063, Temple T6 y cuentan con certificación de calidad de sus procesos según Norma ISO 9001 (ALUAR, 2012), lo que asegura uniformidad del material. Este perfil tiene forma de machimbre, es decir, se puede encastrar longitudinalmente con otro perfil igual. La geometría del perfil se muestra en la figura 1.

Para confirmar la utilidad de este material para el fin planteado debe soportar presión, por lo que se hace un análisis de tensiones por medio de métodos de elementos finitos para determinar qué presión puede soportar. Se concluye que puede funcionar con una presión de 150000 Pa conservando aún un coeficiente de seguridad de algo más de 1,5, es decir, puede soportar picos de presión de poco más de 230000 Pa. Pensando estos resultados en función de la utilización que se le va a dar, se puede decir que puede operar sin problemas con una presión interior equivalente a algo más de 15 m de columna de

agua, conservando capacidad de resistir picos de presión de hasta 23,5 m de columna de agua. Estos valores se consideran más que suficientes para el uso propuesto. El resultado del análisis puede verse en la figura 2.

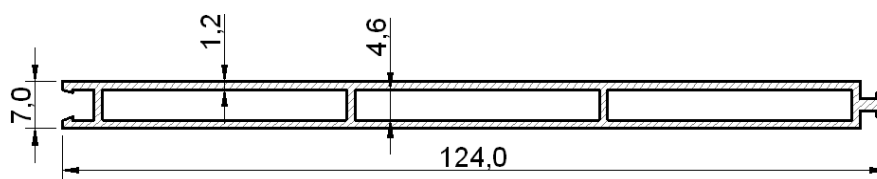


Figura 1. Perfil extruido de aluminio comercial – Dimensiones en mm.

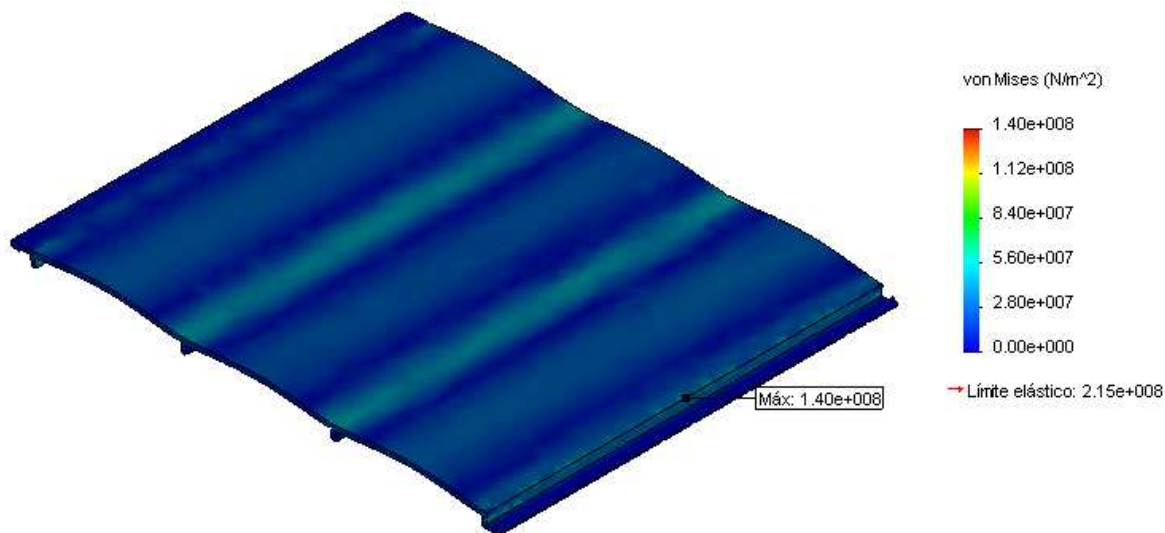


Figura 2. Resultado del análisis por elementos finitos bajo carga de presión interna de 150 kPa.

Establecido que el perfil propuesto cumple con el requisito de presión a soportar, se decide que se formará la placa absorbidora con perfiles que se encastrarán longitudinalmente, y en los extremos se formará un conducto transversal utilizando perfiles U soldados a la placa (ver figura 5). Las dimensiones generales de la placa se ajustarán para optimizar materiales en el colector completo.

El hecho de que los conductos por donde circula el fluido sean de forma rectangular favorece un desempeño adecuado en caso de congelarse el agua. El cambio de volumen al hacerse hielo es del 8%; diferencia de volumen que se compensa fácilmente con deformación de manera leve de la sección rectangular, sin tensionar de forma importante el material. Follari (2006), explica un desarrollo similar, realizado en este caso con perfiles de forma triangular que resultan de soldar dos chapas de acero inoxidable que forman canales entre ellas. El diseño de la placa colectora está en proceso de patentamiento.

Diseño del prototipo

Con el objeto de lograr un colector competitivo con la abundante oferta de equipos importados, se deben minimizar los costos de materiales y de mano de obra para construir el colector. Se establece como regla general que los materiales empleados sean de utilización corriente, para disminuir los costos de los propios materiales y evitar el pago de transportes.

Se selecciona como material para la cubierta transparente policarbonato alveolar de 6 mm, que si bien no posee las propiedades selectivas del vidrio, tiene la ventaja de soportar granizo, además de permitir una manera de construcción con una diversidad de operaciones, debido a la flexibilidad y a la posibilidad de perforar de manera sencilla. Este material es fabricado en planchas de 2,10 m por 5,80 m, y una de sus caras tiene aplicada protección para la radiación ultravioleta. Se considera una ventaja de este material el bajo peso comparado con el vidrio.

La caja externa del colector se plantea de chapa de acero galvanizada, ya que es económica (se provee en espesores muy delgados) y tiene una durabilidad aceptable a la intemperie. En el mercado local se consigue en dimensiones de 1 m por 2 m, y también de 1,22 m por 2,44 m. Existe la posibilidad de usar chapa galvanizada prepintada con recubrimiento epoxídico, lo que mejora su durabilidad y estética, aunque el costo es un poco mayor.

Como aislante se plantea usar lana de vidrio de 50 mm de espesor recubierta en una cara con papel, ya que si bien no es el mejor aislante térmico que se podría usar, es fácil de conseguir, es barata, con las precauciones adecuadas (guantes y barbijo) se puede manipular manualmente, tiene larga durabilidad, resiste altas temperaturas, no se descompone, etc. Se provee en mantas de 1,20 m por 18 m.

Para minimizar la cantidad de operaciones a realizar para construir el colector se plantea usar la chapa de dimensiones 1,22 m por 2,44 m, a partir de la cual se deben obtener todas las partes de la caja exterior. Como el ancho de fabricación de la plancha de policarbonato es 2,10 m, se establece que el largo del colector debe ser de 2,10 m. La profundidad del colector debe ser la suficiente para alojar la lana de vidrio aislante, la placa absorbidora y el policarbonato, resultando en 70 mm. Con ello el ancho de la caja es de 1,05 m.

La placa absorbidora queda constituida por 8 perfiles de 1,91m encastrados longitudinalmente y soldados de manera estanca en sus extremos a sendos perfiles U que forman las canalizaciones de entrada y salida del fluido, resultando de 1995mm por 965mm, con un volumen interior de 8,03 litros. En las figuras 3 y 4 se detallan cortes transversal y longitudinal del prototipo.

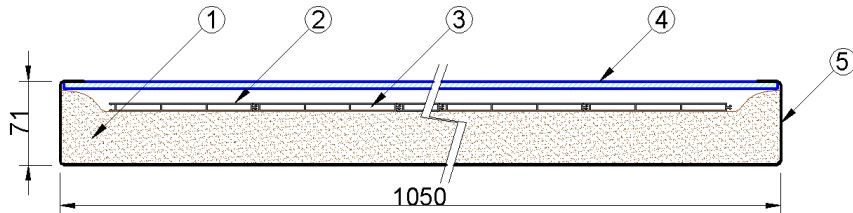


Figura 3. Corte transversal del prototipo diseñado. 1- Aislante. 2- Placa absorbidora. 3- Conducto circulación fluido. 4- Cubierta transparente. 5- Caja de chapa galvanizada. Dimensiones en mm.

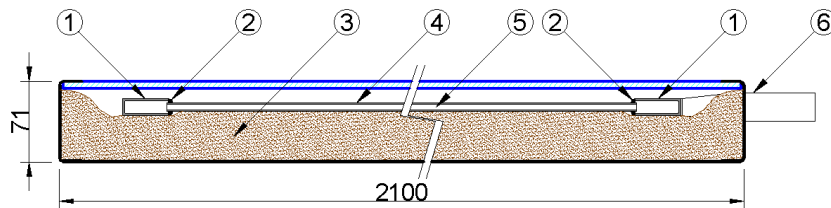


Figura 4. Corte longitudinal del prototipo diseñado. 1- Perfil U. 2- Soldadura. 3- Aislante. 4- Placa absorbidora. 5- Conducto circulación de fluido. 6- Tubo de salida del colector. Dimensiones en mm.

La cara expuesta a la radiación solar se pinta con pintura esmalte sintético negro mate, previa aplicación de una base fijadora fosfatizante. Se destaca en este punto que se realizaron pruebas para confirmar la resistencia de la capa de pintura a alta temperatura, colocando probetas a temperaturas de hasta 230°C, sin observar efectos perjudiciales.

A las partes ya descritas se suman cuestiones secundarias de construcción. Se sueldan orejas a la placa para su fijación. Se agregan tacos de madera como refuerzos en las esquinas de la caja, que sirven para fijar la placa sin puente térmico hacia la caja exterior. La entrada y salida de fluido al colector se materializan mediante tubos cilíndricos de 25 mm de diámetro, que concuerda con el diámetro de las conexiones comerciales de agua conocidas nominalmente como diámetro ¾ pulgada. Esto se detalla en la figura 5. Cabe mencionar que ajustado el diseño del prototipo se logra minimizar las operaciones necesarias para su construcción, disminuyendo los rezagos de todos los materiales, aluminio, policarbonato, lana de vidrio y chapa galvanizada.

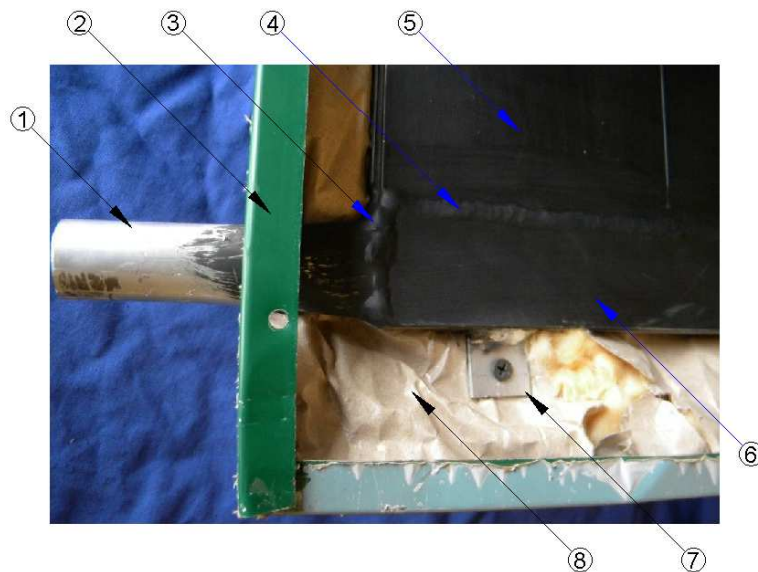


Figura 5. Detalle constructivo colector. 1- Tubo entrada de agua. 2- Caja de chapa. 3- Soldadura tubo entrada a perfil U. 4- Soldadura perfil U a perfil placa tubular. 5- Perfil placa tubular. 6- Perfil U. 7- Oreja para fijación de placa. 8- Aislante.



(a)



(b)

Figura 6. Imágenes del colector construido. (a) Colector terminado. (b) Arreglo de colectores para calefacción de piscina.

Evaluación de Costos

En la tabla 1 se muestra el estudio de costos del prototipo. El precio de los materiales está actualizado a agosto de 2012, y corresponde a lo que se paga por embalaje cerrado en Río Cuarto. Al construir el prototipo se tuvo en cuenta el tiempo empleado y de acuerdo a ello se estableció el costo de la mano de obra, considerando que debería tratarse de un operario con mediana calificación, es decir, que sepa soldar y construir a partir de planos. Dentro de este costo se consideran también las cargas sociales. Cabe mencionar que el costo de la caja exterior de chapa galvanizada tiene incluido el trabajo de plegado necesario, ya que el proveedor la entrega cortada y plegada a las medidas necesarias.

<i>Costo de materiales y mano de obra</i>	
Elemento	Costo
Perfil tablilla tubular aluminio	\$ 784,00
Perfil u 15 x 40 x 2	\$ 48,33
Caño entrada salida	\$ 5,67
Planchuela orejas soporte placa	\$ 6,20
Caja de chapa galvanizada	\$ 222,75
Madera para soporte placa	\$ 16,50
Lana de vidrio aislante	\$ 72,50
Tornillos para fijación placa	\$ 2,20
Remaches rápidos tipo flor	\$ 20,25
Policarbonato alveolar 6mm	\$ 181,50
Aporte para soldadura aluminio	\$ 12,07
Electrodo de tungsteno 2,5 (soldadura)	\$ 7,04
Gas argón para soldadura	\$ 38,50
Fosfatizante	\$ 14,60
Pintura esmalte negro mate	\$ 16,15
Sellador para policarbonato	\$ 44,00
Costo materiales	\$ 1.492,26
Costo mano de obra operario calificado	\$ 300,00
Costo amortización de maquinas	\$ 69,50
Costo total	\$ 1.861,76

EVALUACIÓN TERMICA DEL PROTOTIPO

Una vez construido el prototipo se lo evaluó para conocer su desempeño funcionando con radiación solar. El prototipo se ensayó bajo el procedimiento que establece el Standard ANSI/ASHRAE 93-2003 (ASHRAE, 2003) para la obtención del rendimiento instantáneo, fijándose como caudal de ensayo 2 litros por minuto, según lo que recomienda dicha norma. Cabe

destacar que esta norma es muy similar a la norma IRAM 210002, la cual fuera derivada en los años 80 de las primeras versiones de los estándares de ASHRAE. La adopción de este standard obedece únicamente a una cuestión de actualización y reconocimiento internacional del mismo.

La determinación de la eficiencia térmica instantánea se interpreta a través de la ecuación (1), en la cual los valores de Q_u , A_c y G_T , permiten determinar la eficiencia experimentalmente. Q_u se obtiene con un método calorímetro, midiendo temperaturas y caudal y G_T se mide con un piranómetro. A_c es el área de apertura del colector.

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{G_T} \quad (1)$$

Realizando así también mediciones de temperatura ambiente, T_a , y de entrada del colector, T_i , es posible ir representando una recta que nos dará distintos puntos de eficiencia instantánea, que después ajustados por el método de mínimos cuadrados nos mostrará una recta, con ordenada al origen $F_R(\tau\alpha)$ y pendiente $-F_R U_L$. El resultado del ensayo se grafica en la figura 5.

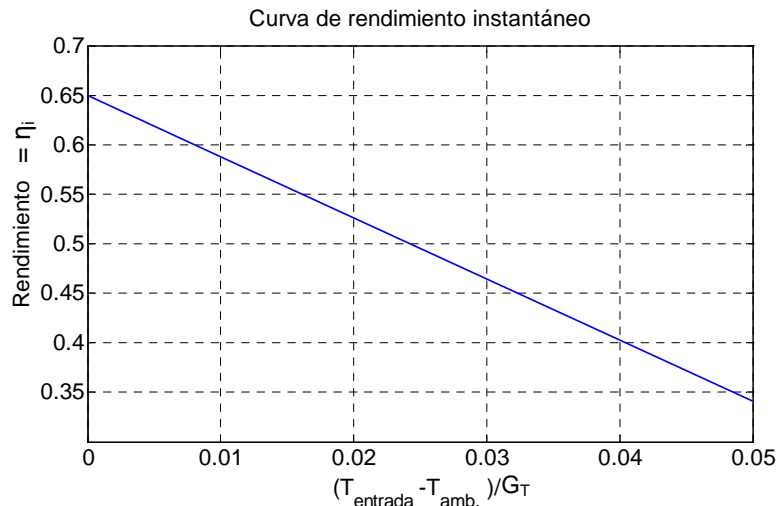


Figura 5. Curva de rendimiento instantáneo del prototipo presentado.

Del ensayo se obtiene que el rendimiento óptico es de 0,65, mientras que el coeficiente de pérdidas es 6,18 W/m²K. Si bien el corte con la ordenada es algo más bajo que lo habitual en equipos comerciales esto resulta lógico, ya que se usa como cubierta transparente policarbonato, que no posee las características selectivas del vidrio, y el aislante utilizado es lana de vidrio en lugar de poliuretano expandido. La pendiente es un poco menor, hecho esperable ya que en general la placa absorbidora estará a menor temperatura que en los colectores convencionales.

APLICACIONES DE LOS COLECTORES PARA UN SISTEMAS DE AGUA CALIENTE ACTIVOS

Calentamiento de agua de piscinas

Luego de los primeros ensayos en el Laboratorio y habiéndose chequeado aspectos prácticos de montaje, resistencia del colector a las presiones de bombeo, elementos de seguridad, etc., se realizó una instalación para el calentamiento de agua de una piscina techada en un sector residencial de la ciudad de Río Cuarto. Se colocó allí un sistema de 6 de estos colectores, impulsados por una bomba de circulación, trabajando en conjunto con un con una caldera de gas natural para secuencias de días fríos y nublados. El sistema fue colocado en abril de 2011, funcionando correctamente e ininterrumpidamente hasta la fecha de la redacción de este trabajo. Se remarca como importante que tal lo previsto, los colectores soportaron todas las heladas del año 2011 y las que se produjeron en el mes de Julio de 2012 que fueron particularmente intensas, de hasta -7 °C de temperatura ambiente, y de más de 12 horas de duración.

Sistemas de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Para analizar la factibilidad de aplicación de este modelo de colector para sistemas de agua caliente residencial mediante un sistema activo, se recurrió a la utilización del método f-chart. El método f-chart (Duffie y Beckman, 2006) determina la fracción solar mensual que puede cubrir una determinada área de colector solar plano con una cierta capacidad de almacenamiento en tanque aislado, dadas ciertas condiciones climáticas y de demanda energética total. La fracción solar, f , es el porcentaje de energía que puede ser provista por energía solar respecto a la total demandada, y en este caso el cómputo se plantea en forma mensual. Se ha comprobado la eficacia de este método para los cálculos de provisión de agua caliente sanitaria y calefacción solar (Haberl y Cho, 2004) y es usado para el cálculo de sistemas activos en todo el mundo.

El método f-chart se basa en la utilización de dos números adimensionales X e Y (ecuaciones 2 y 3) que se calculan para cada mes del año, y que se han correlacionado mediante regresiones lineales para obtener los valores de la fracción solar f , mediante la ecuación (4). Haciendo luego la sumatoria de los valores mensuales, se puede calcular la fracción solar anual.

$$X = F_R U_L \frac{F_R'}{F_R} (T_{ref} - \bar{T}_a) \Delta t \frac{A_c}{L} \quad (2)$$

$$Y = F_R (\tau\alpha)_n \frac{F_R'(\tau\alpha)}{F_R(\tau\alpha)_n} \bar{H}_T N \frac{A_c}{L} \quad (3)$$

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3 \quad (4)$$

Se ve la importancia de haber realizado el ensayo térmico, el cual nos proveyó de $F_R(\tau\alpha)$ y $-F_R U_L$, para ser utilizados en las ecuaciones (2) y (3). Para la aplicación del método, resulta entonces necesario conocer básicamente el consumo de energía que se va a necesitar para calentar toda el agua demandada a la temperatura de baño que se estima en 42 °C. Se hace esto mediante la ecuación calorimétrica (5), estimando un consumo de 250 litros de agua diarios para una familia de cuatro personas. Con la utilización de un tanque de agua colocado a la intemperie, se puede suponer que la temperatura del agua de entrada será aproximadamente igual a la temperatura ambiente media diaria, tal como lo expresa la ecuación (5).

$$L = C_s N c_{p_{H_2O}} G_{H_2O} (T_{c_{H_2O}} - \bar{T}_a) \quad (5)$$

Por una cuestión de espacio no se desarrolla numéricamente aquí el método completo y se resumen en la tabla 1 los resultados de la aplicación del mismo para datos climáticos de la ciudad de Río Cuarto. Se propone para este sistema la utilización de dos colectores, los cuales estarán montados con un ángulo de inclinación de 45° (13° más a la latitud del lugar). Comparando los valores finales anuales, se ve que se puede dar una cobertura energética solar de un 79 %.

Mes	días por mes	H_T [MJ/m ²]	T_a [°C]	L [MJ]	X Adimens.	Y Adimens.	f Adimens.	% Solar [MJ]
Enero	31	17,05	23,23	609	3,91	2,29	1,104	672,26
Febrero	28	17,49	22,40	735	2,96	1,76	0,993	729,87
Marzo	31	16,98	19,80	922	2,70	1,51	0,906	835,29
Abril	30	16,73	16,40	1029	2,44	1,29	0,818	841,08
Mayo	31	15,60	12,80	1213	2,23	1,05	0,702	850,62
Junio	30	15,31	9,50	1306	2,08	0,93	0,634	828,68
Julio	31	14,62	8,95	1372	2,06	0,87	0,599	822,53
Agosto	31	16,37	11,18	1280	2,15	1,05	0,702	898,53
Septiembre	30	16,50	13,30	1153	2,26	1,13	0,746	859,84
Octubre	31	16,48	17,49	1018	2,51	1,33	0,832	846,67
Noviembre	30	16,39	20,14	878	2,73	1,48	0,892	783,23
Diciembre	31	15,90	22,35	816	2,95	1,60	0,929	758,27
energía total anual-->				12331	total solar anual-->			9726,87

Tabla 1. Aplicación del método f-chart para un sistema activo que utiliza dos colectores

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un colector solar utilizando materiales fácilmente obtenibles en el mercado argentino, y en particular el aluminio para la placa absorbadora, lo cual garantiza bajo costo, ausencia de problemas de abastecimiento, y un colector más liviano. La utilización del método de elementos finitos aparece como una herramienta auxiliar muy poderosa que permite predecir el comportamiento mecánico del material y así diseñar sobre seguro.

El colector fue ensayado bajo una norma internacional, y demostró poseer un comportamiento térmico aceptable, y si bien tiene un rendimiento óptico algo inferior a muchos de los equipos comerciales importados, hay que tener en cuenta que ellos utilizan elementos costosos como placa absorbadora de cobre, superficies selectivas y vidrio templado, lo cual los convierte en elementos muy caros para las posibilidades económicas de la mayoría los usuarios. Se espera así que estos primeros prototipos deriven en aplicaciones que sean atractivas para el creciente mercado de la energía solar.

La resistencia a las heladas ha sido experimentalmente verificada, lo cual simplifica notablemente la instalación de estos colectores como sistemas activos y evita la utilización de líquidos antirrefrigerantes y por ende ocasiona la ausencia de intercambiadores de calor en el sistema. Como trabajo a futuro resta el estudio de este tipo de colectores para aplicaciones en sistemas termosifónicos.

Se verifica que con sólo dos colectores es posible proveer casi un 80 % de las necesidades de agua caliente sanitaria de una familia de 4 personas en la ciudad de Río Cuarto, y la experiencia permite afirmar que situaciones similares se darán en provincias vecinas a Córdoba, incluso con mucho mejores resultados hacia la región cuyana.

NOMENCLATURA

A_c = área del colector [m^2]

C_3 = coeficiente para convertir en MJ la energía empleada en el ACS = 24/1000.

$c_{p_{H_2O}}$ = calor específico del agua = 4,18 [kJ/kg °C].

F_R = Factor de remoción de calor del colector [adim.]

$F_R(\tau\alpha)$ = ordenada al origen de la recta de eficiencia instantánea [adimensional]

$-F_R U_L$ = pendiente de la recta de eficiencia instantánea [W/m^2 °C]

F'_R = eficiencia del intercambiador de calor [adimen.]

G_{H_2O} = Caudal de agua a emplear como agua caliente sanitaria [kg/ pers. día].

\bar{H}_T = radiación diaria media mensual por unidad de área sobre la superficie el colector [MJ/m^2]

L = energía total necesaria para calentar el agua [MJ].

\dot{m} = flujo másico [kg/s]

N = días en el mes [adimensional].

Q_u = Calor útil provisto por el colector [kJ]

\bar{T}_a = temperatura ambiente media mensual [°C].

$T_{c_{H_2O}}$ = temperatura deseada en el agua [°C].

T_{ref} = temperatura de referencia (empírica) [°C].

U_L = coef. de pérdidas global del colector [W/m^2 °C]

Letras griegas

Δt = número total de segundos en el mes [s].

η_i = eficiencia instantánea del colector [adimensional]

REFERENCIAS

- ALUAR [en línea] Aluminio Argentino, URL: <http://www.aluar.com.ar/es/contenido.php?id_categoria=29> [consulta: 30 de julio 2012].
- ASHRAE (2003) Standard ANSI/ASHRAE 93-2003, Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA.
- Correa E. N., Herrerías A., Albornoz A., Villarroel G., Arena A. P. (2004) Comparación económico-ambiental del uso de energía solar respecto al gas natural para agua caliente sanitaria en la ciudad de Mendoza. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, N° 1, pág. 1.105-1.110.
- Duffie J. A. y Beckman W. A (2006) Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc.
- Eisenmann W., Vajen K., Ackermann H. (2004) On the correlations between collector efficiency factor and material content of parallel flow flat-plate solar collectors. Solar Energy, Vol. 76, pág. 381–387.
- Figuroa G., Sánchez B., Mendoza P., Fernández C., Caso R., Gea M. y Saravia L. (2006) Calefones solares con placa colectora de material plástico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 10, pág. 03.41 – 03.45.
- Follari J. (2006) Análisis del comportamiento de los calefones solares argentinos y de otros orígenes. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 18, pág. 27-35.
- Garnica J.H., Lucchini J. M., Stoll R.G. y 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, Vol. 14, pp. 03.147 – 03.154.
- Haberl J. S. y Cho S. (2004) Literature review of uncertainty of analysis methods, F-Chart Program. Report to the Texas Commission on Environmental Quality. Energy Systems Laboratory, Texas Engineering Experiment Station, Texas A&M University System. <http://repository.tamu.edu/handle/1969.1/2062>.
- Kalogirou Soteris A. (2004) Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 231–295.
- International Copper Study Group [en línea]. The World Copper factbook 2012. URL: <www.icsg.org> [consulta: 30 de julio 2012].
- Morante F. y Zilles R. (2006) El calentamiento solar de agua en la ciudad peruana de Arequipa en el contexto de la transferencia tecnológica. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 19, pág. 1-7.
- Nienborg B. y Nadal G. (2010) Caracterización del mercado argentino para calentadores solares de agua mediante una encuesta entre empresas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 14, pág. 03.01 – 03.08.
- Subsecretaría de Comercio Internacional. INFORME SECTORIAL. Sector de la Industria del Aluminio y sus manufacturas 2010. Dirección de Oferta Exportable. Dirección General de Estrategias de Comercio Exterior.

ABSTRACT: This work presents the design, construction, thermal performance tests, and applications of a flat plate solar collector whose absorber surface is made of aluminium profiles. The goal was to achieve a design to avoid the use of expensive raw materials, to get easy construction procedures, freezing resistance, and a reliable functioning. The analysis was based on the proposal of an absorber without fins, in order to overcome the effect of lower thermal conductivity. A reference pressure was adopted to apply a finite element method in the design process. The criteria for the selection of raw materials and building procedures for the prototype are described. The collector was tested by means of international standards to determine its thermal efficiency. An experimental application on swimming pool heating and a domestic hot water active system project using the f-chart method show the applicability possibilities of this kind of collectors.

Keywords: solar collector, absorber, aluminium, thermal efficiency, f-chart method.