

DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN COLECTOR SOLAR CALENTADOR DE AIRE DE PLACA PERFORADA PARA CALEFACCIÓN DE EDIFICIOS

A. Hernández, N. Salvo, C. Fernández y H. Suligoy
Universidad Nacional de Salta (UNSa), Avda. Bolivia N° 5.150, CP. 4400, Salta Capital
Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), UNSa – CONICET
Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa)
Tel. 0387-4255579 – Fax 0387-4255489. E-mail: alejo@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presenta el diseño y evaluación térmica de un colector solar calentador de aire cuya placa colectora es una chapa con perforaciones a través de las cuales fluye el aire a medida que se calienta. El colector fue instalado sobre la fachada norte de un local cuya envolvente es de ladrillo cerámico de 15 cm de espesor. Funcionando continuamente durante 5 días del mes de Julio, la eficiencia diaria de colección fue del orden del 60 %, logrando elevar la temperatura del local hasta los 28 °C. Se obtuvieron las curvas de eficiencia del colector funcionando por convección natural y forzada. Los altos rendimientos obtenidos permiten augurar un futuro promisorio en su aplicación para el calentamiento de edificios (viviendas, escuelas, centros de salud, oficinas, talleres y galpones agroindustriales).

Palabras clave: colector solar, diseño y monitoreo, curvas de eficiencia.

INTRODUCCION

Ante la proximidad de una grave crisis energética mundial por la disminución de reservas de combustibles fósiles, la disponibilidad de artefactos que permitan calentar el aire interior de los edificios mediante el aprovechamiento de la energía solar, diseñados y fabricados en la Argentina, adquiere una importancia estratégica sin precedentes para intentar atender a una demanda creciente de mejora de la calidad de vida tanto de los sectores más empobrecidos de nuestra sociedad como de los de ingresos medios.

El presente trabajo se enmarca dentro del Proyecto N° 1.579 del CIUNSa titulado DISEÑO, EVALUACION Y DESARROLLO DE UN COLECTOR SOLAR CALENTADOR DE AIRE DEL TIPO LOOP CONVECTIVO VERTICAL PARA EL CALEFACCIONADO DE EDIFICIOS cuyo objetivo general es desarrollar colectores solares calentadores de aire verticales para ser adosados a las fachadas de los edificios, tanto residenciales como industriales, a fin de suministrarles calor y disminuir el consumo de energías convencionales empleadas para su calefacción invernal. Asimismo, se espera poder interesar a las autoridades nacionales y/o provinciales para que financien programas que permitan utilizar estos prototipos en planes de vivienda de interés social y en escuelas rurales y centros de salud de campaña mejorando, en consecuencia, la calidad de vida de alumnos y pacientes que desarrollan su existencia en esas comunidades aisladas, contribuyendo asimismo a la preservación del medio ambiente rural al disminuir la quema de biomasa en la época invernal.

Si bien en la actualidad existen modelos comerciales de colectores calentadores de aire de placa perforada empleados en el acondicionamiento térmico de grandes edificios (Gunniewiek *et al.*, 1996), estos modelos no contienen cubierta transparente ni aislación térmica y funcionan exclusivamente por flujo forzado mediante ventiladores. El prototipo presentado en este trabajo fue especialmente diseñado para que funcione por convección natural (termosifón), aunque su rendimiento puede ser mejorado sustancialmente con el agregado de pequeños ventiladores de muy bajo consumo eléctrico.

DISEÑO DEL PROTOTIPO ENSAYADO

Este prototipo constituye el segundo modelo de los 3 diseños seleccionados para ensayar. El primer modelo fue descrito en un trabajo anterior (Hernández *et al.*, 2007). La caja del colector está construida con chapa galvanizada cuyas dimensiones son: 2,20 m de largo, 0,95 m de ancho y 0,1 m de alto. En el fondo de la caja se practicaron dos aberturas para la circulación del aire. Descontando el borde donde se aloja la aislación térmica lateral, el área de apertura del colector es de 1,93 m².

La conexión con el recinto a calefaccionar se realiza a través de dos conductos de chapa galvanizada unidos a la caja del colector mediante remaches y sellador de siliconas. Estos conductos tienen la misma sección transversal que las aberturas practicadas en la caja y van empotrados en la pared del edificio, permitiendo cerrar el circuito convectivo del aire entre éste y el colector.

Debido a las altas temperaturas que se alcanzan en el interior del colector, se utilizó como aislante térmico para el fondo y los costados de la caja la lana de vidrio. Al igual que en el primer modelo, la cubierta transparente es de policarbonato alveolar debido a su conveniente relación costo-beneficio y peso-resistencia mecánica en comparación con el doble vidrio.

Como placa colectora se utilizó una chapa perforada con un factor de hueco del 36 %, pintada de negro. La placa perforada se ubica inclinada dentro del colector de tal manera que atraviese, de abajo hacia arriba, todo el canal por donde circula el aire. Esta inclinación favorece, además, la colección de radiación solar al disminuir el ángulo de incidencia del haz directo durante las horas próximas al mediodía solar.

En la figura 1 se observa, en corte, la disposición de la placa colectora y de las aberturas y conductos para la circulación del aire desde y hacia el recinto a calefaccionar. El diseño de este colector es de propiedad exclusiva de los autores del trabajo.

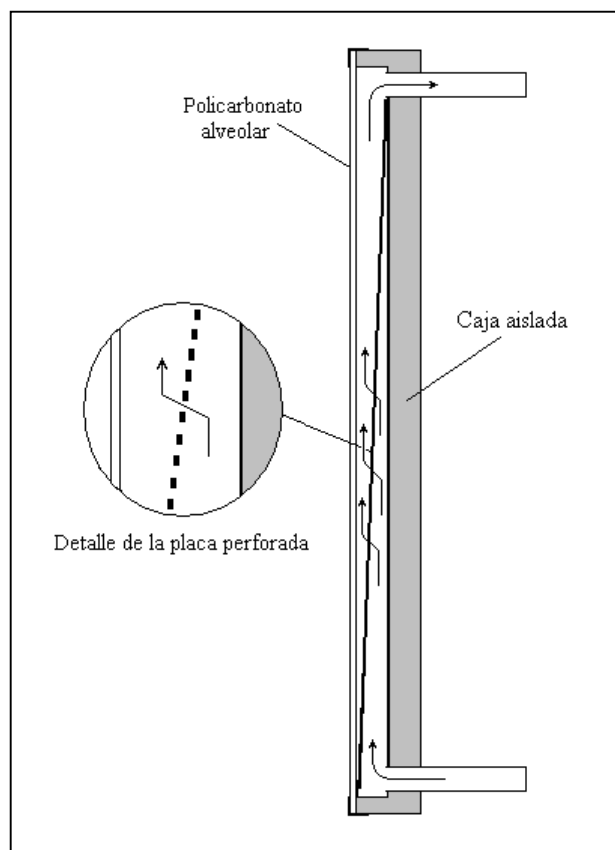


Figura 1: Detalles del colector de placa perforada donde se observa la placa colectora y las aberturas y conductos para la circulación del aire.

ENSAYO DEL COLECTOR

El colector fue montado sobre la fachada norte de un local de 7,15 m² de área de planta construido en un predio del INENCO ubicado en la Universidad Nacional de Salta (24° 43,7' de Latitud Sur, 65° 24,6' de Longitud Oeste y 1.190 m.s.n.m.). Su envolvente es de ladrillo cerámico de 15 cm de espesor revocado hacia el interior, cubierta de chapa galvanizada, jaula antisísmica y piso de platea de hormigón de 10 cm de espesor sobre suelo de tipo lecho de río. No posee aislación térmica. Estos materiales son los que comúnmente se utilizan en la construcción de viviendas de interés social, aunque el ladrillo cerámico forma parte también de los edificios en altura y de muchas viviendas de los sectores más pudientes de la sociedad salteña. Es decir, en cuanto a las características de su envolvente, el local monitoreado representa a un vasto sector de la edificación típica del Valle de Lerma. El azimut del colector es de 175° (levemente girado al NEste) debido a la orientación con que fue construido el local.

A intervalos de 1 minuto se monitorearon las temperaturas del aire a la entrada y salida del colector, de ambas caras del policarbonato alveolar, de las partes inferior, media y superior de la placa perforada y del aire interior del local mediante termocuplas tipo K conectadas a un datalogger ADAM 4018 de 8 canales analógicos, guardándose los datos en una computadora laptop. La temperatura exterior y la radiación solar sobre el plano vertical del colector fueron registradas, también a intervalos de 1 minuto, mediante una estación meteorológica autónoma marca HOBO modelo H21 cuyo sensor de irradiancia es del tipo fotovoltaico. La velocidad del aire a la entrada del colector, necesaria para la estimación del flujo másico circulante, fue sensada mediante un anemómetro manual marca TSI a intervalos de 1 hs. aproximadamente.

En la figura 2 se observa el local con los dos colectores de loop convectivo vertical desarrollados hasta el presente, montados sobre la fachada norte. El de la derecha es el modelo ensayado anteriormente (Hernández et al, 2007), cuya placa colectora es una chapa acanalada pintada de negro, y el de la izquierda el de placa perforada ensayado durante el mes de julio de 2008 y cuyos resultados se muestran a continuación.



Figura 2: Vista del local con los dos colectores de loop convectivo vertical desarrollados. A la izquierda se ubica el de placa perforada ensayado en este trabajo.

RESULTADOS DEL MONITOREO

En primer lugar se monitoreó el funcionamiento continuo del colector durante 5 días (3 al 7 de Julio) bajo condiciones de libre oscilación de las variables meteorológicas. A tal fin, se apantalló el colector de chapa acanalada para evitar su aporte de calor al local. Este ensayo permitió analizar el comportamiento dinámico del colector funcionando bajo régimen de convección natural (termosifón), expuesto al clima de invierno de la ciudad de Salta.

Según se observa en la figura 3, los primeros días fueron soleados (con alguna nubosidad pasajera) mientras que el último estuvo nublado entre las 11 y las 16 hs., registrándose temperaturas externas muy elevadas para la época: mínima absoluta de 4 °C, máxima absoluta de 31,5 °C, y media de 15 °C para el período monitoreado. Estos valores superan ampliamente los promedios estadísticos registrados en las décadas anteriores que establecían para Salta Capital un valor medio mensual de 9,9 °C y una máxima media mensual de 21 °C para el mes de Julio.

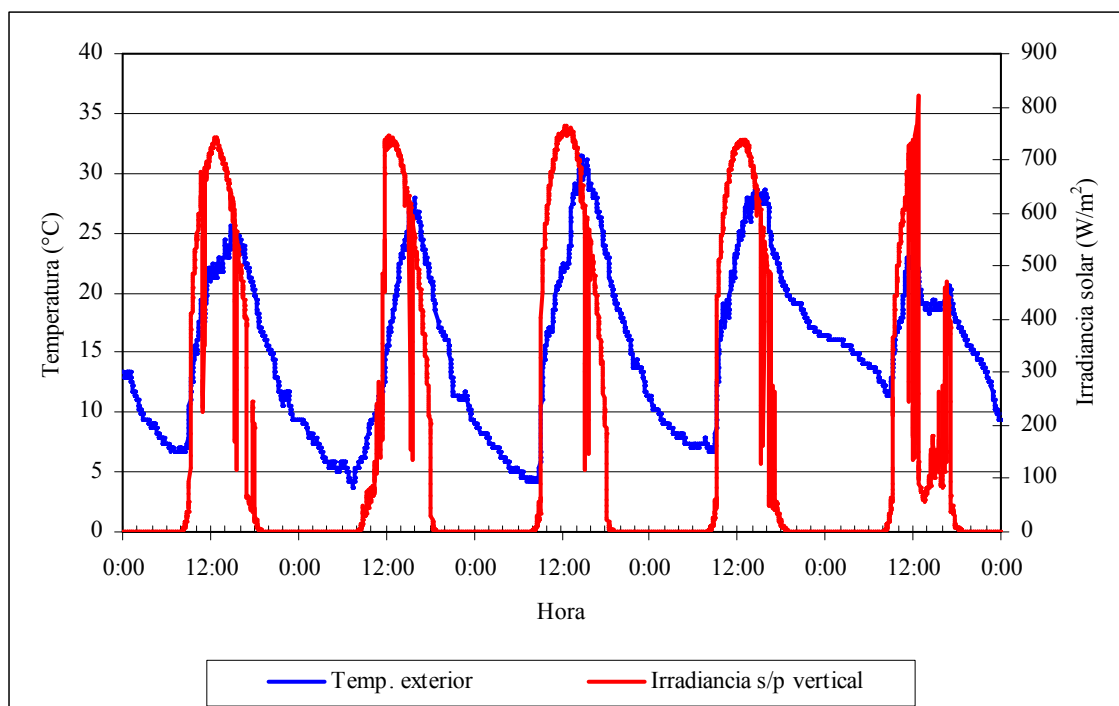


Figura 3: Variables meteorológicas registradas durante el periodo comprendido entre el 3 y el 7 de Julio de 2008.

En la figura 4 se presentan los resultados del monitoreo de temperaturas efectuado con el colector funcionando bajo régimen de convección natural. Se observa en ella que la temperatura de salida del aire supera siempre los 60 °C bajo las condiciones climáticas del ensayo, alcanzando un valor máximo de 68 °C el día 5 de Julio cuando la irradiancia solar sobre el plano del colector alcanzó un valor de 750 W/m².

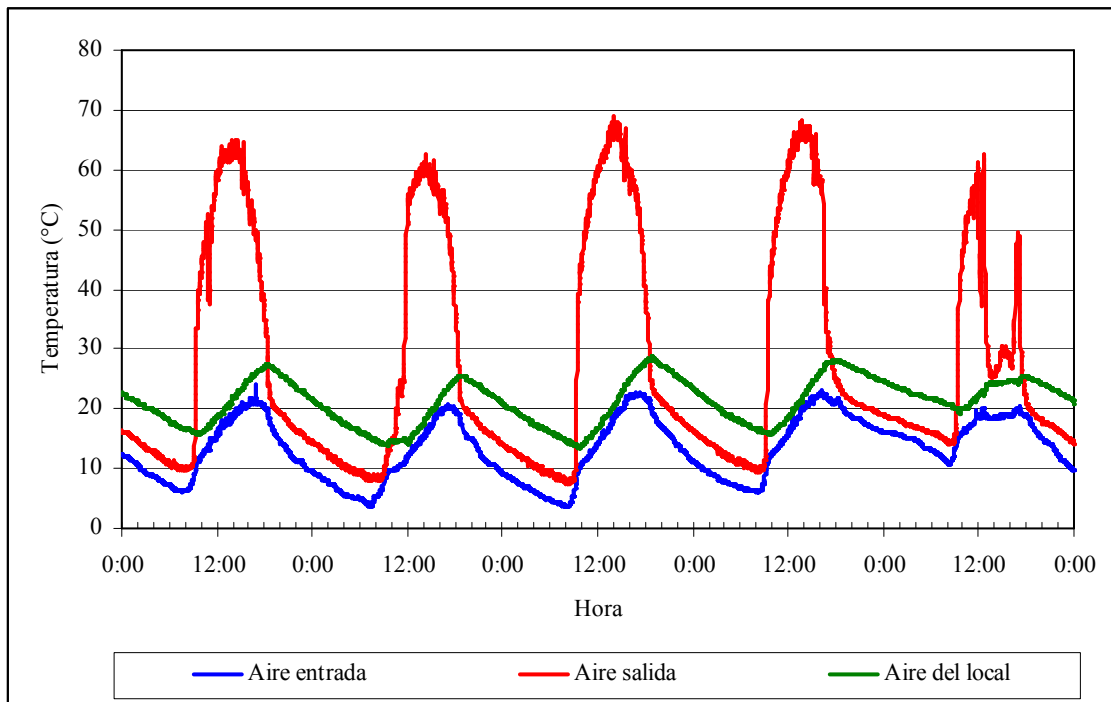


Figura 4: Evolución temporal de las temperaturas de entrada y salida del colector y de la temperatura del local.

El mecanismo de termosifón se inicia con valores de irradiancia solar muy bajos ya que la temperatura de salida comienza su rápido ascenso alrededor de las 9 de la mañana, hora en que la irradiancia fuera del colector es de apenas 50 W/m² según se observa en la figura 3. A medida que sale el aire caliente por el conducto superior, moviliza el aire del local y comienzan a elevarse tanto su temperatura como la del aire de entrada al colector.

Debido al aporte de calor del colector, la temperatura del local asciende en forma sostenida durante las horas de sol, alcanzando valores máximos comprendidos entre 25 y 28 °C durante los días monitoreados. Es notable el comportamiento apareado entre el colector y el local, verificado a través de las mediciones que indican que la temperatura del local comienza a ascender en cuanto la temperatura del aire de salida del colector iguala su valor durante su ascenso matinal. Por la tarde, la temperatura del local comienza a descender inmediatamente después que la temperatura del aire de salida del colector iguala su valor durante su descenso.

Se observa en la figura 4 la existencia de estratificación térmica en el aire interior ya que la temperatura del local (sensada a una altura de 1,6 m) es siempre superior a la de entrada al colector (medida a una altura de 0,3 m). Este fenómeno se intensifica a partir de las 15 hs, momento en que la temperatura externa comienza a descender indicando esto que la temperatura de entrada, por su proximidad al piso, está influenciada por las infiltraciones de aire que se generan a través de la rendija existente en la parte inferior de la puerta de acceso.

La razón por la cual las temperaturas a la entrada y salida del colector no son iguales durante la noche se debe a la circulación inversa generada por el enfriamiento nocturno del aire dentro del canal del colector. Así, el sensor del conducto inferior, registra la temperatura del aire que se ha enfriado en el canal y que al volverse más denso desciende para ingresar al local a una altura cercana al piso. Mientras lo hace, succiona aire caliente desde la parte superior del local de manera tal que la temperatura registrada por el sensor del conducto superior es la del aire cercano al techo. En la figura 4 se observa que esta temperatura es menor que la del aire del local debido a que el aire en contacto con la chapa del techo se va enfriando a medida que ésta intercambia calor con la atmósfera por convección y radiación nocturna. La mezcla del aire que desciende frío del techo con el que asciende caliente proveniente de las masas de acumulación de paredes y piso es la causa de que el aire que ingresa al colector tenga una temperatura intermedia entre la de la habitación y la del conducto inferior cuando no se tapa durante la noche la abertura del conducto superior, por ejemplo, con un trozo de polietileno.

El movimiento del aire dentro del colector tiene su origen en la disminución de su densidad a medida que se calienta en contacto con la placa colectora. La variación de la densidad del aire con la temperatura está dada por:

$$\rho(T) = \rho_o [1 - \beta(T - T_o)] \quad (\text{Kg} / \text{m}^3) \quad (1)$$

donde T y T_0 son temperaturas absolutas en °K, ρ_0 es la densidad del aire a T_0 y β el coeficiente de expansión del aire que, bajo la aproximación de gas perfecto, vale $1/T$. Por lo tanto, la variación de la densidad del aire con la temperatura no es lineal sino hiperbólica. Reemplazando el valor de β en la ecuación (1) resulta:

$$\rho(T) = \frac{\rho_0 T_0}{T} = \frac{Cte.}{T} \quad (2)$$

La aproximación de gas perfecto es válida para el aire a presión atmosférica dentro del rango de temperaturas que se registró en el colector durante su funcionamiento. Debido a su altitud sobre el nivel del mar (h), la presión atmosférica en Salta es el 86% del valor estándar P_0 (1.013 hPa) asignado al nivel del mar. Por lo tanto, la ecuación (2) debe ser corregida por presión multiplicándola por el factor $P(h) / P_0 = 0,86$.

El flujo másico de aire, \dot{m} , se obtiene multiplicando su densidad por el caudal circulante y éste, a su vez, multiplicando la velocidad media del fluido por el área de flujo. Dado que la velocidad del aire, v , fue medida en el conducto de entrada cuya área es $A_e = 0,0188 \text{ m}^2$, el flujo másico circulante a la temperatura de entrada T_e (en °K) resulta:

$$\dot{m}(T_e, v) = \rho(T_e, h) v A_e = 0,86 \frac{\rho_0 T_0}{T_e} v 0,0188 = 5,637377 \frac{v}{T_e} \quad (\text{Kg/s}) \quad (3)$$

siendo $\rho_0 = 1,3947 \text{ Kg/m}^3$ a $T_0 = 250 \text{ °K}$ (-23 °C) y a $P_0 = 1.013 \text{ hPa}$ (Incropera y De Witt, 1990, Tabla A.4 del Apéndice A).

La ecuación (3) se emplea a continuación en la determinación de la curva de eficiencia del colector.

DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE EFICIENCIA DEL COLECTOR DE PLACA PERFORADA

Como es sabido, la determinación de la curva de eficiencia de un colector es de suma importancia para la estimación del calor útil que puede generar de acuerdo a las condiciones meteorológicas imperantes en el lugar donde ha de ser instalado. Permite, a su vez, estimar el área de colección necesaria (traducida en cantidad de colectores) para satisfacer una determinada demanda de aire caliente.

Para obtener la curva característica de este colector se siguieron los lineamientos de la norma ASHRAE 93-77 (Duffie & Beckman, 1991) que establece que el ensayo debe realizarse en días claros bajo condiciones cuasi estacionarias (durante un período relativamente corto alrededor del mediodía solar), variando la temperatura de entrada en un rango adecuado y midiendo las temperaturas del aire a la entrada y salida del colector, la irradiancia solar sobre el plano del colector, la temperatura ambiente y el flujo másico circulante (ec. 3). Las eficiencias instantáneas se calculan a partir de:

$$\eta_i = \frac{\dot{m} c_p (T_s - T_e)}{A_c G} \quad (4)$$

donde T_e y T_s son las temperaturas de entrada y salida respectivamente, c_p el calor específico del aire a presión constante, A_c el área de apertura del colector y G la irradiancia solar. Los valores de eficiencia así calculados se grafican en función de la variable $(T_e - T_a) / G$ y se aplica al resultado un ajuste por regresión lineal. La variación de la temperatura de entrada se realizó mediante el encendido de velas de cuarzo convenientemente dispuestas en un montaje diseñado para tal fin.

En la figura 5 se presentan los resultados del ensayo efectuado con el colector funcionando por convección natural y la curva de ajuste con $R^2 = 0,89$. El flujo másico promedio durante el ensayo fue de 0,015 Kg/s, medido a la entrada del colector.

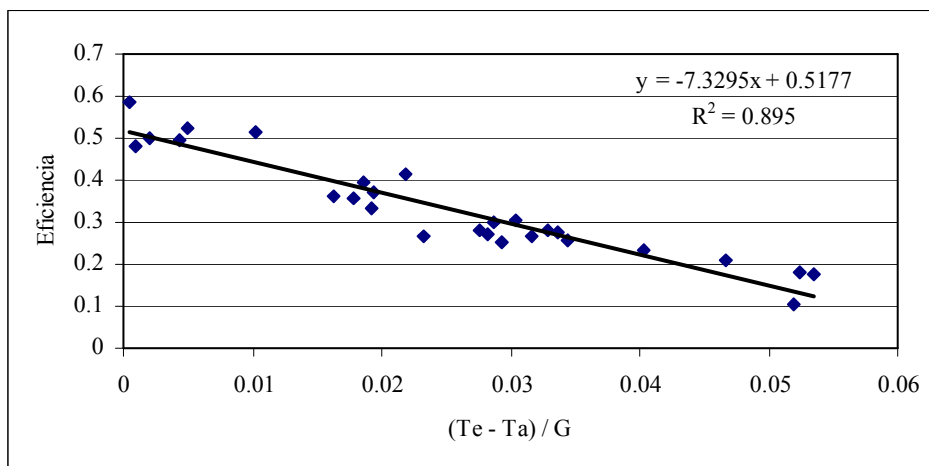


Figura 5: Curva de eficiencia del colector de placa perforada funcionando por convección natural.

La curva de ajuste por regresión lineal determina un valor de $F_R(\tau\alpha) = 0,518$ y de $F_R U_L = 7,33 \text{ W/m}^2\text{K}$. La dispersión de los valores medidos respecto de la curva de ajuste se debe a que $F_R(\tau\alpha)$ y U_L no son constantes a lo largo del ensayo.

Reemplazando esta curva de eficiencia y la ec. (3) en la ec. (4), se puede estimar la velocidad del aire a la entrada del colector mediante:

$$v = \frac{A_c [0,5177 G - 7,329 (T_e - T_a)] T_e}{5,637377 c_p (T_s - T_e)} \quad (5)$$

donde todas las temperaturas están en °K.

Aplicando a esta ecuación los valores de temperatura e irradiancia solar medidos durante las horas de sol el día 3 de Julio se obtuvieron los resultados graficados en la figura 6. Se ha incluido en ella la irradiancia solar para comprender el origen de algunas bruscas oscilaciones. Los puntos amarillos corresponden a los valores medidos ese día con el anemómetro TSI.

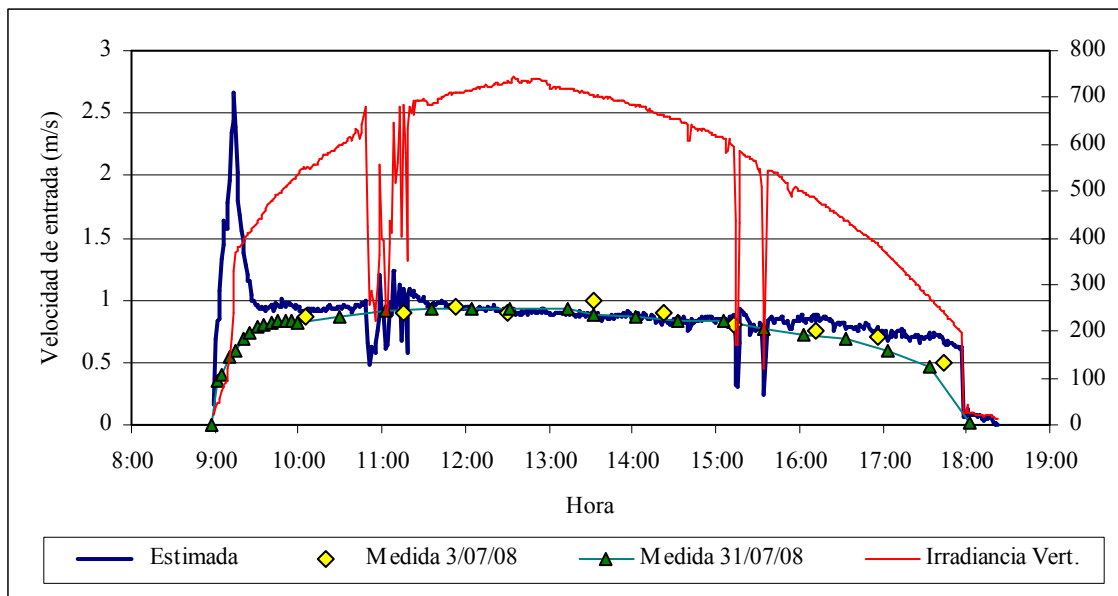


Figura 6: Comparación entre valores medidos y simulados de velocidad del aire a la entrada del colector.

Se observa en la figura un excelente acuerdo entre valores medidos (rombos amarillos) y estimados con la ecuación (5) entre las 10 de la mañana y las 5 de la tarde. En ese período la velocidad a la entrada del colector varió entre 0,7 y 1 m/s. Ahora bien, tanto en el arranque como en la salida de funcionamiento a última hora de la tarde, el modelo sobreestima la velocidad del aire a la entrada y con ello, el calor útil generado por el colector. El valor extremo de 2,7 m/s que el modelo predice a las 9:15 hs., no fue medido el día 3/07 debido a que se inició el registro de velocidades recién a las 10 de la mañana.

A fin de comprobar la existencia de esta “super velocidad” inicial, se realizó un nuevo monitoreo del colector funcionando por convección natural el día 31/07, midiéndose la velocidad de entrada cada 5 minutos entre las 9:00 y las 10:00 hs. A partir de entonces, se hicieron mediciones cada 30 minutos hasta las 18:00 hs. Los resultados se presentan en la figura 6 graficados con triángulos de color verde, observándose claramente que no existe tal velocidad extrema durante el arranque del colector.

¿Qué es lo que “falla” entonces en el modelo de estimación de la velocidad a la entrada del colector definido por la ec. (5)? Una de las causas es el coeficiente $F_R(\tau\alpha)$. Bajo las condiciones del ensayo, la transmitancia solar del policarbonato alveolar es 0,8 (Flores y Lesino, 2003) debido a que, alrededor del mediodía solar, el ángulo de incidencia del haz directo sobre el plano del colector fue de 42° mientras que entre las 9:00 y las 9:30 hs. dicho ángulo varió entre 55 y 52° respectivamente. La transmitancia promedio del policarbonato alveolar a esos ángulos de incidencia es del orden de 0,75, lo que representa una disminución del 6,3% en la radiación solar transmitida durante el arranque del colector. Una situación similar ocurre después de las 17:00 hs con una transmitancia promedio del orden de 0,67 de acuerdo a los ángulos de incidencia que ocurren a esa hora. Esta disminución en la transmitancia efectiva del policarbonato en los extremos del período de funcionamiento del colector se traduce en una menor cantidad de energía solar realmente absorbida por la placa colectora que lo que establece la curva de eficiencia medida y, por ende, en una menor velocidad real del aire a la entrada del colector.

La segunda causa de la discrepancia es la pequeña diferencia de temperaturas existente entre la entrada y la salida en los momentos de baja radiación solar, siendo este efecto más notable durante el arranque que a última hora de la tarde cuando la placa colectora se encuentra más caliente. Si este salto térmico es pequeño, al estar presente en el denominador de la ec. 5, contribuye a que el valor de la velocidad del aire estimada sea mayor que la que se establece realmente.

Por lo tanto, la ec. (5) puede utilizarse para estimar el flujo de aire circulante por el colector sólo dentro del período comprendido entre las 10 y las 17 hs, el cual representa el 78 % del tiempo total de funcionamiento del colector. Fuera de él, deben corregirse los factores $F_R(\tau\alpha)$ y $F_R U_L$ siguiendo el método indicado por Duffie & Beckman (1991) en su Sección 6.20.

Mediante la curva de eficiencia instantánea medida se calculó el calor útil diario generado por el colector entre los días 3 y 6 de Julio. Los resultados se presentan en la Tabla 1 junto a las correspondientes irradiaciones solares totales fuera del colector y las eficiencias diarias.

Fecha	Q_u (MJ/día)	Irradiación (MJ/día)	Eficiencia diaria (%)
03/07/08	16,45	28,89	57
04/07/08	14,52	24,81	58
05/07/08	19,00	31,33	60
06/07/08	17,13	28,77	59

Tabla 1: Valores diarios de Q_u , irradiación solar total sobre el colector y eficiencia para los días 3 al 6 de Julio de 2008.

Se observa en la tabla que este colector posee eficiencias diarias del orden del 60 %. Este valor es extremadamente alto para un colector que trabaja por convección natural y se debe a que, por las condiciones meteorológicas registradas durante los días del monitoreo, la temperatura del aire a la entrada del colector fue siempre inferior a la del aire exterior durante las horas de sol. Bajo estas condiciones la variable $(T_e - T_a)/G$ es siempre negativa y los valores de eficiencia instantánea resultan superiores al de la ordenada de origen de la curva (0,5177).

ENSAYO DE EFICIENCIA DEL COLECTOR FUNCIONANDO POR CONVECCION FORZADA

A fin de mejorar el rendimiento del colector se agregaron al conducto de salida 3 ventiladores del tipo *fan cooler* modelo 6025 para microprocesadores de PC cuyas dimensiones son 60 x 60 x 25 mm y se repitió el ensayo de eficiencia bajo los lineamientos de la norma ASHRAE 93-77. Los ventiladores funcionan succionando el aire desde el colector e insuflándolo dentro del local. Los resultados del ensayo se muestran en la figura 7.

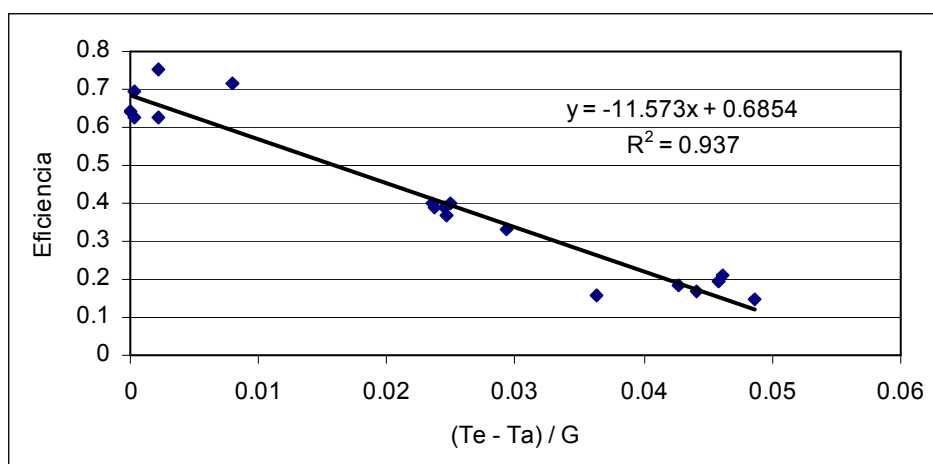


Figura 7: Curva de eficiencia del colector de placa perforada funcionando en régimen forzado.

En este caso $F_R(\tau\alpha) = 0,685$ y $F_R U_L = 11,57 \text{ W/m}^2\text{°K}$ indicando un incremento importante en la eficiencia del colector. La ordenada al origen aumentó un 32,4 % y la pendiente de la curva un 57,7 % respecto de los valores obtenidos para flujo por convección natural. Este resultado augura un futuro promisorio para este modelo de colector aplicado al calentamiento de espacios interiores (viviendas, escuelas, centros de salud, oficinas, talleres y galpones agro-industriales) ya que el consumo de los 3 *coolers* es de sólo 0,4 A a 12 V, lo que representa un consumo mensual de 1,15 kWh funcionando durante 8 horas por día. Al precio actual del kWh residencial, el costo de funcionamiento de este colector sería de sólo \$ 0,11 por mes.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presentó el diseño y la evaluación térmica de un colector solar calentador de aire de placa perforada para ser utilizado en el acondicionamiento térmico de edificios. Su diseño es un desarrollo tecnológico novedoso de propiedad exclusiva de los autores del trabajo. La determinación de su curva de eficiencia se realizó siguiendo los lineamientos de la norma ASHRAE 93-77, siendo evaluado su funcionamiento bajo régimen de convección natural y forzada.

El colector fue montado en un local cuya envolvente es representativa de un vasto sector del parque edilicio de la ciudad de Salta y sus alrededores. El monitoreo continuo del colector a lo largo de 5 días del mes de Julio en régimen no estacionario, permitió comprobar su significativa eficacia en la conversión de energía solar en térmica funcionando por convección natural, con eficiencias diarias que llegaron al 60 %. El aire interior del local registró temperaturas máximas entre 25 y 28 °C bajo las

condiciones meteorológicas registradas en ese período. Esto indica que 1 sólo colector de este tipo es suficiente para lograr condiciones de confort térmico interior en locales del orden de 9 m² de área cubierta, construidos con ladrillo cerámico hueco de 15 cm de espesor y sometidos a un clima templado como el de la ciudad de Salta.

La instalación de este colector sobre la fachada norte de los edificios permite disminuir el área de ventanas necesaria para lograr niveles de confort térmico interior por ganancia directa, reduciendo así la exposición visual de los usuarios y de sus pertenencias. Otra de sus ventajas es que, por su inclinación, colecta energía principalmente durante el invierno. En el verano se puede apantallar con un alero convenientemente diseñado o con una funda de color claro para evitar la colección de radiación difusa si el entorno tiene un alto valor de albedo ya que la circulación por termosifón se inicia con valores de irradiancia solar tan bajos como 50 W/m² sobre el plano del colector.

La eficiencia del colector mejora sustancialmente con el agregado de 3 ventiladores del tipo *fan cooler* 6025 cuyo consumo eléctrico es del orden de 1 kWh por mes por el cual el usuario debería pagar, a valores de hoy, sólo \$ 0,11. La elección del modelo con ventiladores o sin ventiladores depende del tipo de local a calefaccionar ya que el funcionamiento de los *coolers* genera un pequeño zumbido que puede resultar molesto para cierto tipo de actividades. Por esta razón se recomienda emplear el modelo sin ventiladores en dormitorios, bibliotecas o salas de lectura y aulas escolares, reservando el modelo con ventiladores para el calefaccionado de comedores, livings, salas de espera, talleres y oficinas públicas, entre otras.

REFERENCIAS

- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición. Wiley Interscience, New York.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2003). Estudio energético de cubiertas translúcidas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol 7, N° 2, pp. 08.67 –08.72.
- Gunnewiek L. H., Brundrett E. and Hollands K. G. T. (1996). Flow distribution in unglazed transpired plate solar air heaters of large area. *Solar Energy* Vol. 58, No. 4-6, pp. 221-237.
- Hernández A., Fernández C., Salvo N. Y Suligoy H. (2007). Diseño, construcción y primeros ensayos de un colector solar calentador de aire de tipo loop convectivo para el calentamiento de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol 11, N° 2, pp. 03.76 –03.82.
- Incropera F. Y DeWitt D. (1990). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3rd edition. John Wiley & Sons, New York.

ABSTRACT

In this work, the design and thermal evaluation of an air heating solar collector, whose absorber plate is a black metal sheet with perforations, are presented. The prototype was installed on the North facade of one small building whose envelope was constructed with hollow ceramic brick of 0.15 m thick. Working during 5 days in July, the daily solar collection efficiency was 60% approximately, elevating the building temperature until 28 °C. The performance curves of the collector, working by natural and forced convection, were obtained. The high performance values reached allow to augur a promissory future in their application for the heating of buildings (houses, schools, health centers, offices, factories and agro-industrial sheds).

Keywords: solar collector, design and monitoring, curves of efficiency.