

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UN COLECTOR SOLAR SIMPLE Y UN COLECTOR SOLAR DE MATRIZ POROSA

V. Molina¹, G. Durán², M. Condori.
INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)
Universidad Nacional de Salta,
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.
Te: 54-387-4255424, Fax: 54-387-4255489, mail: molinav@inenco.net

RESUMEN: Este trabajo compara los resultados obtenidos a partir del ensayo de dos colectores solares, ambos de simple paso, el primero de ellos tiene una chapa ondulada transversal a la dirección principal del flujo la cual funciona como chapa absorbidora. El segundo colector ensayado tiene sobre esta chapa una malla metálica la cual trabaja como matriz porosa. Se comparan las eficiencias térmicas instantáneas para distintas velocidades de extracción de aire de ambos colectores.

Palabras clave: Colector solar de aire de simple paso, colector con medio poroso.

INTRODUCCIÓN

Los colectores solares calentadores de fluidos, en sus distintos tipos, presentan hoy una alternativa energética accesible, que ha mostrado un progreso confiable y relevante en estas últimas décadas. El uso de colectores, en sus diversas aplicaciones, puede representar una disminución considerable en los costos de calefacción que incentiva su incorporación en el sector industrial. En particular los colectores que aquí se presentan fueron ensayados para su aplicación ya sea como parte de un techo o pared de una cámara de secado.

Son diversos los trabajos exponen ensayos de colectores solares con diferentes formas de circulación de aire. En el caso de colectores simples con absorbedor en chapa ondulada, estudios realizados demuestran que se aprovecha mejor el área de contacto del flujo cuando se utiliza la disposición transversal que la longitudinal, de la onda de la chapa, con respecto a la dirección preferencial del flujo (Romdhame, 2007; Plotter, 1999; Metwally et al., 1997). Una alternativa a emplear aprovechando la configuración del colector mencionado es colocar sobre el mismo un material adicional que trabaje como matriz porosa, de forma de aumentar el área de contacto.

En este trabajo se estudian y comparan los resultados obtenidos en ensayos de campo de un colector solar simple y un colector de matriz porosa. Para ello, se realizaron medidas de temperatura de flujo y temperatura de la chapa a distintas velocidades de flujo, y en condiciones ambientales variables (temperatura ambiente y radiación solar).

Para ambos casos se busca mejorar el intercambio de energía entre el absorbedor y el flujo de aire. Así, en el primer prototipo, la disposición de la chapa ondulada, transversal al flujo, favorece la turbulencia del flujo. El efecto combinado de las ondulaciones y la malla porosa, en el segundo colector refuerzan la turbulencia del flujo circulante y aumentan el área de contacto.

ASPECTO CONSTRUCTIVO

Los colectores prototipos ensayados son de paso simple, esto es, el flujo de aire circula solo por arriba del absorbedor. El primero de los prototipos fue construido a partir de una chapa ondulada pintada de negro, dispuesta con las ondulaciones transversales a la circulación del flujo de aire, y resultados preliminares del ensayo con el prototipo fueron presentados en la reunión de ASADES del año pasado (Molina, 2008). El segundo prototipo comparte las dimensiones y materiales del primero, pero se agregó un arreglo de mallas metálicas sobre la chapa ondulada. Así, las mallas forman un medio poroso de espesor variable, según la cantidad de malla distribuida sobre la chapa.

Los prototipos miden 3,40 m de largo, 2,10 m de ancho y 0,1 m de espesor. Poseen una base construida en chapa galvanizada ondulada pintada de negro de acabado mate, con el fin de aumentar la absorción de radiación solar. El flujo de aire a través del colector es transversal a la chapa ondulada. Como ya se mencionó, se ha elegido este criterio de circulación debido a que la turbulencia producida por ésta disposición favorece a la disipación de energía térmica, (Romdhame, 2007).

Para el segundo prototipo ensayado se dispone sobre la chapa ondulada un arreglo de mallas metálicas usualmente empleada como estructura en el enyesado de techos. Las mallas se disponen de forma extendida sobre la placa absorbidora y el espesor

¹ Becario PICTO

² Becario CONICET

del medio poroso depende de la cantidad de mallas que se colocan. Una vista superior del tipo de malla empleado se puede apreciar en la figura 1. En el caso que aquí se presenta se dispuso un arreglo de tres mallas sobre la chapa ondulada, esta disposición de las mallas se hace de forma que los rombos no coincidan uno sobre otro.

En ambos casos, sobre la parte superior del colector se colocó una placa de policarbonato alveolar transparente de 4 mm de espesor. El espesor elegido se debe a que su relación entre las propiedades ópticas y el costo de la placa es la más favorable. Además estudios realizados con otros espesores de policarbonato no muestran variaciones sustanciales de la transmitancia (Perelló et al., 2001).

Debido a que los colectores ensayados están pensados para trabajar formando parte de una envolvente ya sea de una cámara de secado o al techo de una estructura metálica en contacto directo con el recinto que se quiere calefaccionar, los mismos no están aislados térmicamente en su parte posterior, por debajo del absorbedor, ya que las pérdidas térmicas de la chapa, mayormente por radiación, es aprovechada directamente en el recinto.

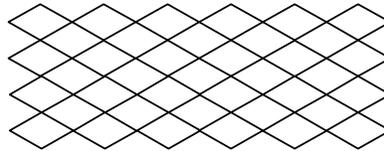


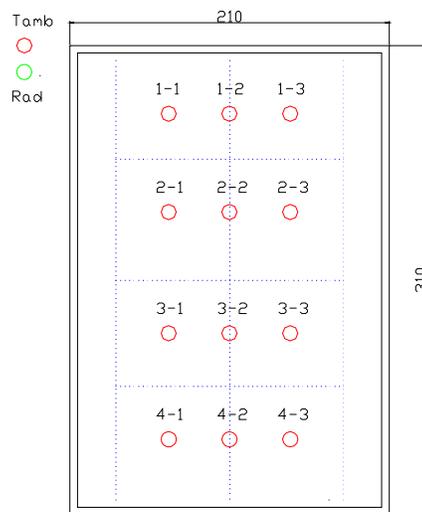
Figura 1: Vista parcial de la malla empleada como medio poroso.

METODOLOGÍA Y SISTEMA DE MEDICIÓN

Los colectores fueron ensayados con circulación de flujo en depresión controlándose su velocidad a través de un variador de frecuencia trifásica. Estos ensayos se realizaron para encontrar el flujo dinámico óptimo que asegure la mayor eficiencia del sistema colector, que depende de variables físicas como: velocidad, temperatura a la entrada y salida del colector, radiación, temperatura del absorbedor. Para la comparación de ambos colectores se trabajó con un mismo espectro de valores de velocidad de entrada.

El estudio de los colectores se realizó desde el año 2008 hasta febrero del 2009, en las instalaciones del INENCO, en la Universidad Nacional de Salta. Las variables censadas incluyen temperaturas del aire y sobre chapa, radiación solar global incidente sobre plano del colector y velocidad de flujo. Durante los ensayos, el colector succiona el aire ambiente mediante un ventilador eléctrico, es decir que trabaja en depresión. La elección de esta forma de circulación se realizó en función de la futura aplicación donde el aire caliente debe ser introducido por la parte baja de la cámara de secado.

Se emplea un motor SIEMENS trifásico de 1 HP, con el cual el flujo de aire circula desde la parte superior del colector hacia la inferior. Para el control de velocidad del aire y por ende el control de caudal de aire dentro del colector se emplea un variador de frecuencia de la misma marca, SINAMICS G110. Con este último dispositivo se puede variar la frecuencia de cada una de las fases.



(a)



(b)

Figura2 (a) Disposición termocuplas, (b) parte posterior del colector.

Para la medición de temperatura del aire se utilizaron termocuplas tipo K. Las mismas se colocaron sobre el absorbedor en la disposición que se muestra en la figura 2(a), este arreglo sirve para promediar los datos de la temperatura por fila, con un total de 4 termocuplas por columna. Por fila se tienen 3 termocuplas para tomar la temperatura del aire y una para medir la temperatura del absorbedor, esta última se ubica en la zona central del colector a lo largo del mismo, pegadas a la chapa.

La inclinación con la que se ensayo el colector fue de 30° con respecto a la horizontal. Con este propósito se cuenta con un soporte giratorio, sobre el cual esta apoyado el colector. El soporte construido puede girar alcanzando distintos ángulos, de forma que se podrá estudiar el colector de forma estacional con distintas inclinaciones.

Las medidas de temperatura y radiación fueron comandadas mediante un datalogger Campbell Sci CR 23X con un multiplexor Campbell modelo ATM 25 de 25 canales diferenciales, con un intervalo entre medidas de quince minutos. Como se dijo, para las medidas de temperatura se utilizaron termocuplas tipo K convenientemente calibradas. Para medir la radiación se utilizó un piranómetro Kipp & Zonnen CM 3. Las mediciones de velocidad se realizaron con un anemómetro de hilo caliente TSI VelociCalc 8345.

RESULTADOS

La campaña de medidas se realizó para el colector de paso simple en los meses de octubre y noviembre mientras que las medidas sobre el colector de matriz porosa fueron realizadas en el mes de enero del siguiente año. Las fechas precisas de la campaña de medidas se especifican en cada una de las graficas. En los ensayos realizados, las velocidades de entrada en cada colector son semejantes. Debido al carácter turbulento del aire se promedian los valores de velocidad tomados en los tres puntos de la entrada del colector. Como el motor trabaja en depresión y está ubicado en el extremo inferior del colector, el aire a temperatura ambiente ingresa por la boca superior y es expulsado por la boca de salida del motor. Así, el flujo circula en el sentido contrario al de una circulación pasiva. Sin embargo, las importantes caídas de presión originadas en las ondulaciones y el medio poroso permiten asegurar que el efecto del flujo convectivo natural no es comparable a la convección forzada por el uso del motor.

Las figuras 3 y 4 muestran los valores de radiación solar global sobre plano del colector y temperatura ambiente, respectivamente, medidos en el colector simple sin matriz porosa. En la primera de ellas puede apreciarse la semejanza existente en la curva de radiación para los cuatro días, las oscilaciones pasando el mediodía solar fueron causadas por la presencia de nubes. En la figura 4 se observa que los valores de temperatura ambiente difieren hasta casi 10 °C entre los días 21 y 23 de octubre, con valores similares entre los días 20 octubre y 4 de noviembre.

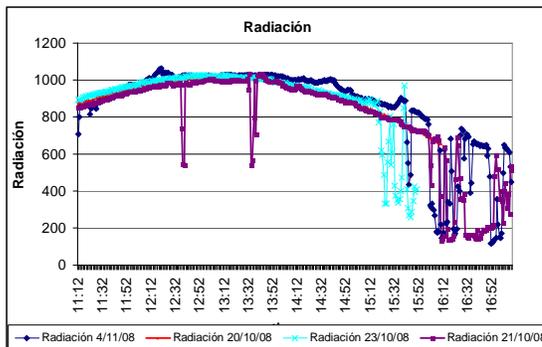


Figura 3: Distribución de radiación

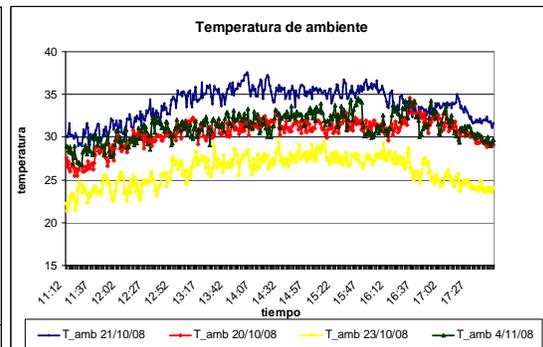


Figura 4: Distribución de temperatura ambiente

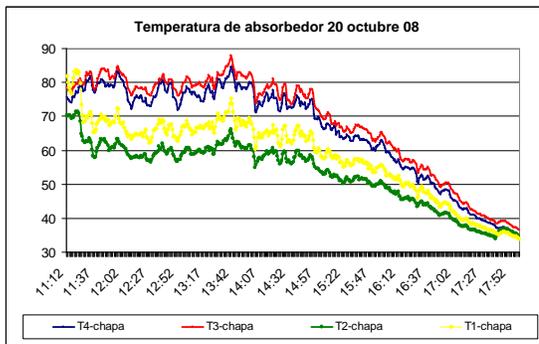


Figura 5: Distribución de temperatura, absorbedor 20/10

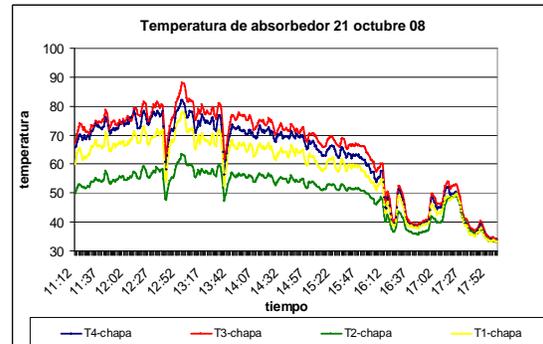


Figura 6: Distribución de temperatura, absorbedor 21/10

Comparando el comportamiento de la curva de radiación de la figura 3 con los valores de temperatura de absorbedor descritos en las figuras 5, 6, 7 y 8, se aprecia como la radiación incidente afecta la temperatura de la placa absorbidora. El absorbedor, sin aislación de fondo, alcanza temperaturas próximas a los 90°C durante los dos primeros días de ensayo. En los

días 23/10 y 4/11 las temperaturas máximas alcanzadas por la chapa colectora se aproximan a 70°C. El descenso en la temperatura visto en los últimos días del ensayo está originado por las mayores velocidades de flujo en el colector. De las figuras se puede distinguir que la temperatura en la sección media superior del colector (T2chapa) es inferior a la temperatura cerca de la entrada (T1chapa). Esto es consecuencia de las pérdidas de calor por no estar aislada por el fondo el colector, es decir que el efecto de las pérdidas es más importante en el centro que en los bordes.

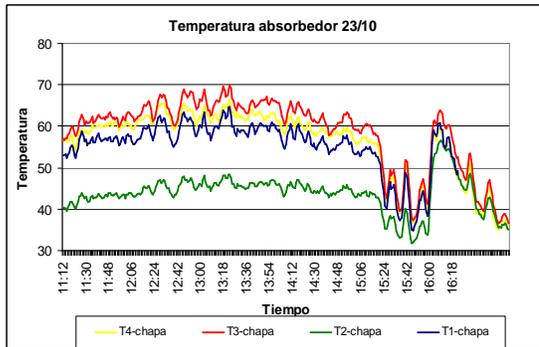


Figura 7: Distribución de temperatura, absorbedor 23/10

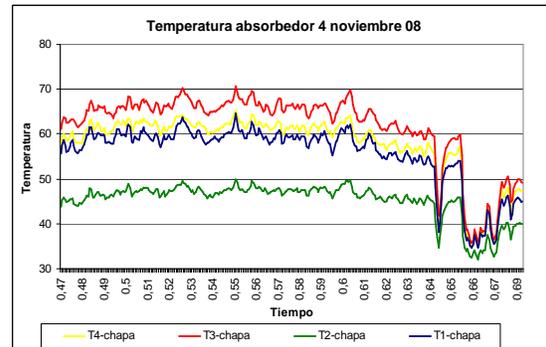


Figura 8: Distribución de temperatura, absorbedor 4/11

Al comparar la temperatura ambiente de todos los días ensayados con la respectiva temperatura de absorbedor, se observa que la diferencia de temperatura es mayor a los 25°C. La temperatura de absorbedor depende no solo de la radiación incidente sino también de otras variables físicas como por ejemplo: velocidad del flujo de aire dentro y fuera del colector.

Las figuras 9 y 10 muestran la radiación y la temperatura ambiente para el colector de matriz porosa. La curva descrita por la radiación en función de la tiempo tiene una semejanza a la descrita por el colector de chapa ondulada simple. Esta similitud es mas apreciable en un entorno del mediodía solar. También es destacable que la distribución de la temperatura ambiente es visiblemente diferente para cada día ensayado, los saltos de un día a otro pueden alcanzar hasta los 10 °C. Este salto de temperatura ambiente se debe a que los días 10 y 19 de enero fueron días posteriores a fuertes lluvias, y el contenido de humedad afectó a la temperatura ambiente.

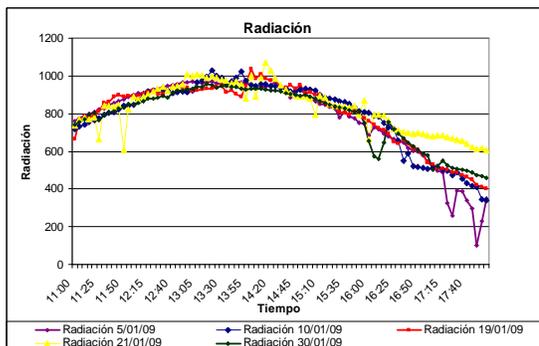


Figura 9: Distribución radiación

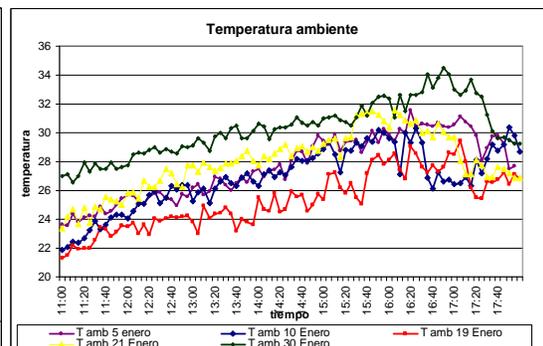


Figura 10: Distribución de temperatura ambiente.

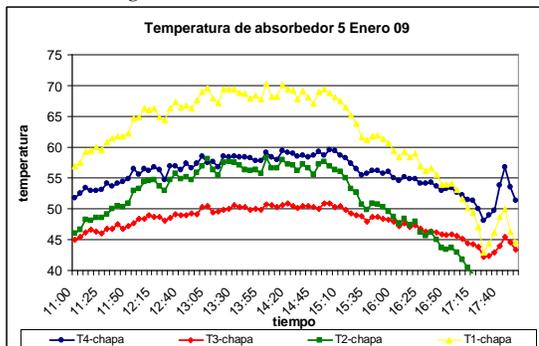


Figura 11: Distribución de temperatura, absorbedor 5/01

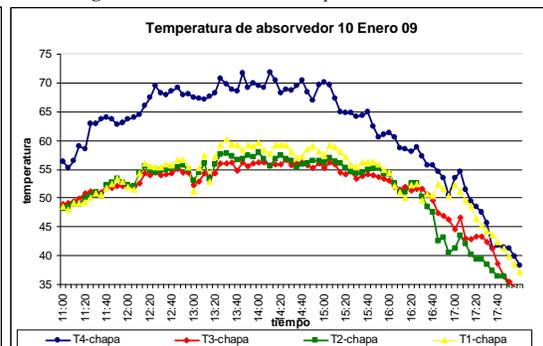


Figura 12: Distribución de temperatura, absorbedor 10/01

Si se observan las figuras 11, 12, 13, 14 y 15 es evidentemente que la temperatura mas baja está medida sobre la zona media inferior, que a diferencia del colector de placa ondulada simple la misma se encontraba sobre el sector medio superior. Este comportamiento puede ser debido a la presencia de la matriz porosa, que incrementa la turbulencia del flujo. Las temperaturas máximas alcanzadas por la placa absorbidora rondan los 75 °C, menores a los valores alcanzados con la placa

colectora simple. Es útil mencionar que los ensayados en este mes se vieron influenciados con alta humedad debido a las condiciones ambientales de la época.

En todas las figuras del colector de matriz porosa se aprecia que la temperatura de la placa colectora en el sector medio inferior es la más baja. Esta conducta es más evidente para el valor de velocidad de flujo más bajo y para las velocidades de flujo más altas. Con respecto a los otros sectores medidos vemos que el comportamiento no muestra un patrón de conducta bien definido lo que sugiere que la presencia de la malla modifica de manera caótica el comportamiento del flujo.

La ecuación (1) corresponde a la expresión utilizada para evaluar la eficiencia térmica instantánea del colector:

$$\eta = \frac{\rho v A_{ent} C_p \Delta T}{A_{col} I} \quad (1)$$

Donde v es la velocidad del aire. Se considera la velocidad del aire media a la entrada del colector. La diferencia de temperaturas ΔT fue calculada entre la temperatura media de flujo a la salida del colector y la temperatura de entrada, esto es, la temperatura ambiente. Los valores de densidad y capacidad calorífica del aire fueron tabulados para un valor de temperatura de 320 K. I es la radiación total calculada para el plano del colector.

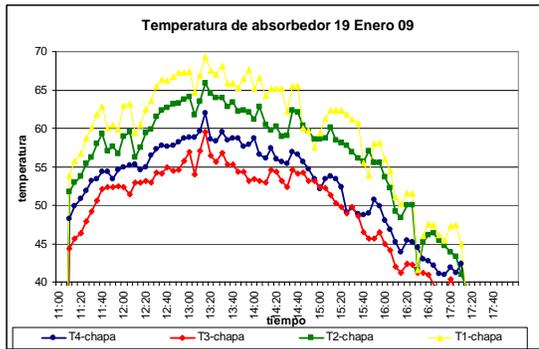


Figura 13: Distribución de temperatura, absorbedor 19/01

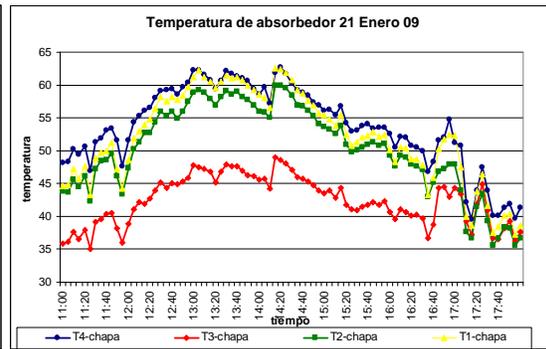


Figura 14: Distribución de temperatura, absorbedor 21/01

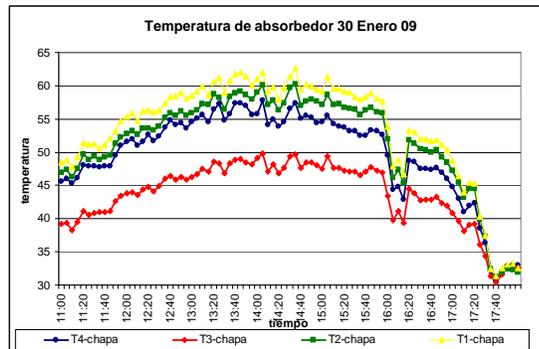


Figura 15: Distribución de temperatura, absorbedor 30/01

La gráfica de eficiencia instantánea se muestra en la figura 16 y 17. La primera de ellas corresponde al colector de chapa ondulada simple, mientras que la otra figura corresponde al colector de matriz porosa.

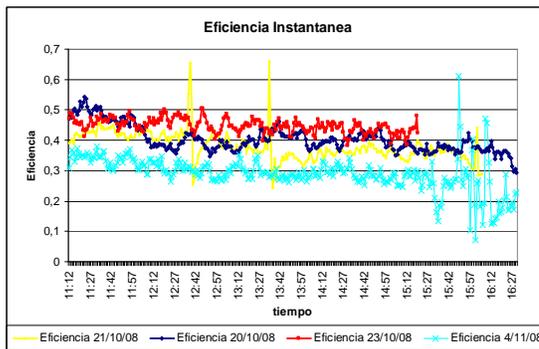


Figura 16: Eficiencia instantánea colector de chapa simple.

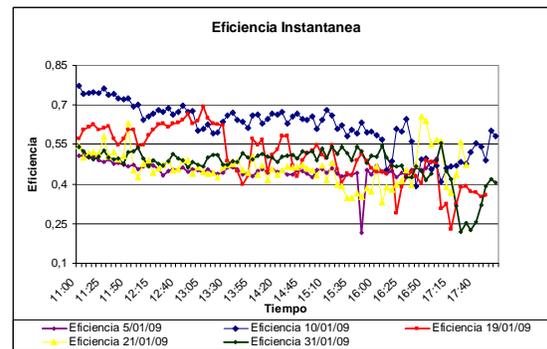


Figura 17: Eficiencia instantánea colector de matriz porosa.

Se observa que la eficiencia en ambos colectores es equivalente. De las gráficas se puede que el valor de velocidad de flujo para eficiencia óptima, se encuentra próximo a los valores de velocidad medidos. Para valores más altos de velocidad es notable la disminución de la eficiencia instantánea, esta conducta es más apreciable en la figura 18, donde para velocidades promedios de entrada de $0,78$ y $0,9$ ms^{-1} la eficiencia disminuye casi un tercera parte en comparación a los otros ensayos. Esta conducta no se muestra tan relevante para el colector de placa ondulada simple. Para los cuatro valores de velocidad ensayados la eficiencia se encuentra en un margen de $0,45$ a $0,6$. Las oscilaciones que se pueden apreciar en la figura están ligadas a la propia conducta de la radiación incidente.

Estos valores de eficiencia instantánea pueden ser mejor interpretados cuando se los grafica en función del flujo de aire entrante al colector. La eficiencia se promedia para valores próximos al medio día solar. Las figuras 18 y 19 corresponde a el colector de chapa ondulada simple y con matriz porosa respectivamente.

Si bien el número de medidas no es considerable, se puede apreciar que el flujo de aire entrante que optimiza la eficiencia del colector simple está próximo a los $0,11$ Kgs^{-1} . También el descenso abrupto de la pendiente en la curva de la figura 19 sugiere que la velocidad más provechosa en un colector de matriz porosa como el presentado está cerca de los $0,13$ Kgs^{-1} .

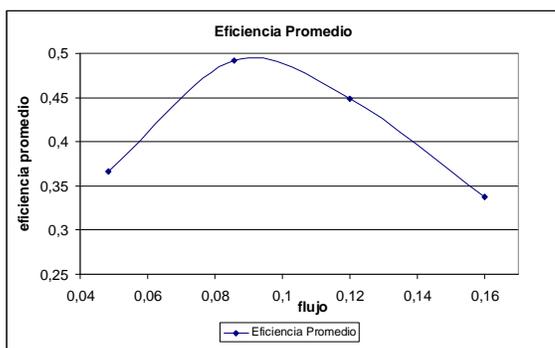


Figura 18: Eficiencia promedio colector de chapa simple.

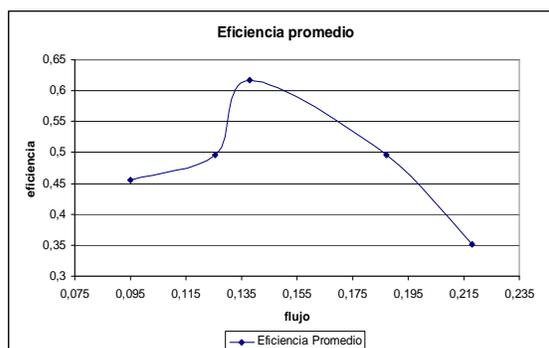


Figura 19: Eficiencia promedio colector de matriz porosa.

CONCLUSIONES

Una primera conclusión de esta comparación entre los colectores ensayados es, que si bien las condiciones meteorológicas fueron semejantes es necesario realizar una campaña de medida más amplia, en donde se trabaje con iguales flujos de aire en forma simultánea a fin de tener las mismas condiciones ambientales.

Por las graficas de eficiencia instantánea se puede apreciar que no existe una diferencia sustancial a favor de un colector. Un trabajo futuro tendrá en cuenta una mayor cantidad de mallas que conformen la matriz porosa. Otro ensayo necesario para complementar una conclusión mas contundente es variar la altura entre el absorbedor y el policarbonato.

Si bien los puntos que describen la curva de eficiencia global en función del caudal son escasos, puede apreciarse que el flujo óptimo está próximo a los $0,11$ Kgs^{-1} para el colector simple y en $0,13$ Kgs^{-1} , para el de matriz porosa.

En todos los casos ensayados, la diferencia de temperatura entre la temperatura ambiente y la placa absorbedora, con o sin matriz, llega a alcanzar aproximadamente 50°C . Si se considera que el colector no está aislado por el fondo y que una vez que forme, esta cara quedará en contacto con un recinto a mayor temperatura que la ambiente, se puede concluir que el valor es conservativo.

REFERENCIAS

- Ben Slama Romdhame. (2007). "The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer". *Solar Energy* 81 (2007) 139–149.
- Plotter K., Sippel C.M., Beck A., and Fricke A (1999). "Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors". *Solar Energy* Vol. 67, Nos. 1–3, pp. 35–52, 1999.
- Metwally M. N., Abou-Ziyan H. Z., El-Leathy A.M. (1997). "Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional designs". *Renewable Energy*, Vol 10, No 4, pp 519-537.
- Molina V., Duran G., Condori M. (2008). "Ensayo de un colector solar para la agroindustria". *Avances en energía renovables y medio ambiente (AVERMA)* Vol. 12. pp 3-55:3-62.
- Perello (2001) falta
- Campbell Scientific. Campbell Micrologger CR32X Overview. Revision 2/06
- Campbell Scientific. AM25 Solid State Multiplexer Manual. Revision 2/06

ABSTRACT: This paper compares the results obtained from testing of two solar collectors, both simple step, the first of which has a corrugated transverse to the main direction of flow sheet which functions as absorber. The second collector is

tested on this plate a metal mesh which works as a porous matrix. This essay compares the instantaneous thermal efficiencies for different velocities of air extraction from both collectors. The dimensions of both collectors are the same 2,10 m wide, 3.20 long and 0.10 high.

Keywords: Solar air of simple step collector with porous media.