

ESTUDIO DE UN COLECTOR SOLAR PARA AIRE DE BAJO COSTO*

R. Echazú, L. Saravia, D. Alía de Saravia, M. Quiroga y M. Condorí

INENCO – Instituto UNSa. – CONICET
Universidad Nacional de Salta
Av. Bolivia 5150 – A4408FVY Salta, República Argentina
FAX 54 387 4255489 – e-mail: echazur@inenco.net

RESUMEN: En este trabajo se presenta el diseño y ensayo de un colector solar de aire de muy bajo costo construido directamente sobre el terreno, con una superficie colectora de suelo-cemento, aislación térmica de arena y cubierta de polietileno LDT. Para la circulación de aire se instaló un ventilador axial impulsado por un motor eléctrico de 200 W con el flujo controlado. Se muestran resultados experimentales y una simulación con simusol. Se obtuvieron valores de eficiencia cercanos a 30 % lo que se considera un buen resultado para este tipo de colector.

Palabras clave: Colector solar, Colector de aire, Secado solar, Simulación.

INTRODUCCIÓN

Los colectores de aire, por su sencillez constructiva y bajo costo son ampliamente empleados para la conversión térmica de la energía solar, especialmente para calefacción de ambientes y para procesos de secado.

Los autores han diseñado colectores con lecho de piedras, construidos directamente sobre el terreno, como los empleados para el secado de pimienta, también de chapa galvanizada y totalmente construidos en plástico, como los secaderos-invernaderos, Saravia et. al. (1981, 1984, 1988); Echazú et. al. (2001, 2007); Condorí et. al. (2006, 2007); Frigerio et. al. (1980)

En la literatura se describen otros colectores de aire, algunos de alta eficiencia como el de Ben Slama Romdhane (2007), que mediante el uso de baffles internos y con altas velocidades de aire alcanza eficiencias de 70 %. Asimismo, Alvarez et. al. (2004) experimentaron con un colector de aire construido con latas de aluminio recicladas alcanzando eficiencias de más de 70%

Por otra parte los colectores de baja o mediana eficiencia y bajo costo resultan adecuados para algunas aplicaciones agrícolas, por ejemplo en Minas Gerais, Brasil se emplea para el secado de banana, un colector de aire con fondo de concreto pintado de negro y cubierta de plástico. El colector es redondo de 25 metros de diámetro con una chimenea central de 12 m de altura. Ferreira et. al. (2008)

Pallav Purohit et. al. (2006) publicaron un método para la evaluación financiera de sistemas de secado de productos agrícolas, basado en el costo y la eficiencia de los colectores.

Para el secado de pimienta, que es el cultivo de mayor importancia del Valle Calchaquí, en el noroeste argentino, se requieren grandes superficies de colección solar y puesto que los pequeños productores tienen una limitada posibilidad de inversión, se han propuesto colectores de bajo costo, con uso de materiales locales y autoconstrucción, como modo de facilitar el acceso a la tecnología.

En sintonía con este criterio de desarrollo local, un grupo de productores de Cachi, Salta se propone instalar un secador solar con colectores como los que aquí se describen.

Al presente se ha diseñado en el INENCO un colector de muy bajo costo construido directamente sobre el terreno, con un lecho de suelo cemento, aislación térmica de arena y cubierta de polietileno LDT. Para la circulación de aire se instaló un ventilador axial impulsado por un motor monofásico de 200 W.

* Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta

En este trabajo se presenta el diseño, algunos resultados experimentales y una simulación con simusol del prototipo construido en el predio de la Universidad Nacional de Salta.

EL COLECTOR DE SUELO CEMENTO

Se construyó un prototipo del colector de suelo-cemento en el predio de la UNSa, ubicado a 1200 m.s.n.m. $24^{\circ} 43,7S$ y $65^{\circ} 24,6' W$. Este colector se construyó directamente sobre terreno horizontal, con un lecho de arena compactada formando prismas de sección triangular con una cubierta de suelo cemento pintada de negro.

El largo es 8 metros y el ancho 4. En la figura 1 se muestra un corte del colector visto desde el oeste, de modo que el norte está a la izquierda.

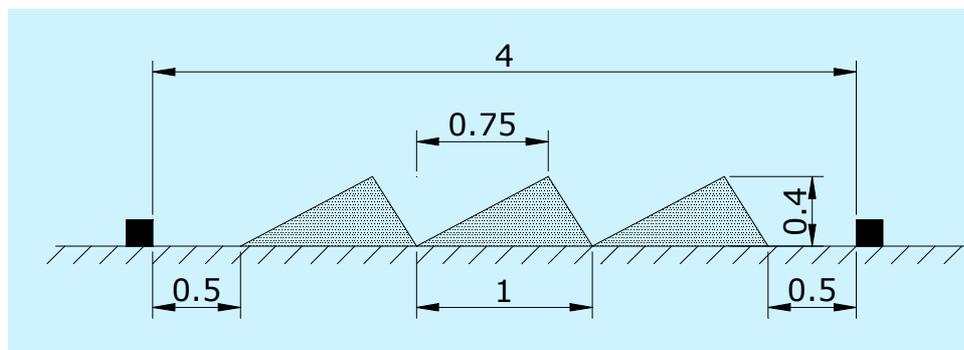


Figura 1: Corte del colector de suelo cemento.

Sobre la superficie de suelo-cemento se aplicaron dos manos de pintura al agua preparada con 3 partes de ferrite negro por cada 100 de cemento portland y luego se colocó la cubierta de plástico enterrando el borde a ambos lados. Se empleó polietileno para invernadero tipo larga duración térmico (LDT) de 150μ

Para hacer circular el aire a lo largo del colector se instaló un ventilador axial de 6 palas de PP0 a 35° de 430 mm de diámetro (Multi-Wing, 2008) impulsado por un motor eléctrico de 200 W a 25 Hz (1500 RPM).

Para regular el flujo de aire se instaló un registro a persianas de 400 x 400 mm de sección entre el ventilador y la boca de entrada del colector.

Las fotografías de la figura 2 muestran estos detalles. En la 2 - a una etapa constructiva desde el este y la 2 - b tomada desde el oeste el colector armado y el ventilador con su registro. El invernadero en segundo plano, a la derecha está armado con el mismo tipo de plástico del colector, con dos años de uso.



Figura 2 a: Etapa constructiva del colector de suelo cemento. Figura 2 b: Colector armado con ventilador axial.

INSTRUMENTACIÓN

La radiación solar global sobre plano horizontal se midió con un solarímetro Kipp Zonen CM3 conectado a un data logger Campbell CR23X de 16 bits. Se programó el equipo para registrar los datos cada 300 segundos.

Para las medidas de temperatura se colocaron termocuplas tipo K cada dos metros a lo largo del colector, en el centro de su sección transversal. Cada uno de estos sensores se ubicó en el centro de un tubo de de 40 mm de diámetro y 12 mm de largo con el eje orientado en el sentido del flujo. Estos tubos, de chapa de aluminio de alta reflectividad evitan que los sensores se calienten por radiación, lo que distorsionaría la medida. Las termocuplas se conectaron al mismo data logger que registra la radiación solar.

Para la determinación del caudal, se tomaron medidas de velocidad del aire sobre un plano perpendicular al sentido de circulación, a mitad del largo del colector, en cuatro puntos representativos de secciones de igual área. La figura 3 b muestra en un corte los sectores, un rectángulo y tres triángulos, definidos para esta medición. Las medidas de velocidad del aire se realizaron con un anemómetro de hilo caliente TSI 8345 con compensación por temperatura.

Se midió también la radiación solar en el interior del colector, sobre el plano horizontal y sobre las dos caras laterales. La figura 3a ilustra la ubicación del solarímetro sobre un corte del colector.

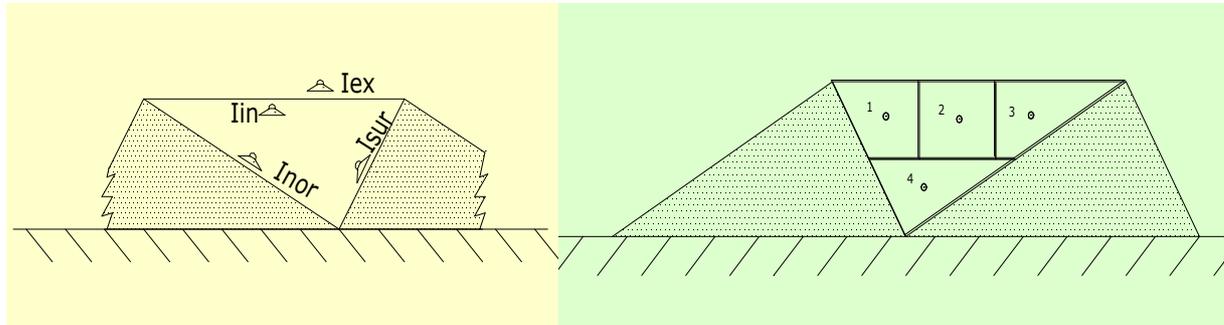


Figura 3 a: Medidas de radiación en el interior del colector. Figura 3 b: Secciones definidas para medida del caudal.

MEDIDAS ESPECTRALES DE LOS MATERIALES

Para caracterizar los materiales empleados en el colector, se midió la transmitancia espectral del polietileno de la cubierta con un espectrorradiómetro LI-COR 1800 y luz solar directa, Saravia et. al. (1990). La figura 4 b muestra la transmitancia en función de la longitud de onda para el plástico empleado en el colector (FPL NUE) y como referencia, dos de otra marca: ATN NUE es una muestra de plástico nuevo y ATN VIE del mismo, con dos años de uso.

Con el mismo equipo pero usando una esfera integradora LI-1800-2 y lámpara halógena, se midió la reflectividad en el visible de la placa del colector pintada con ferrite negro. En la figura 4 a se muestra esta magnitud en función de la longitud de onda, para la superficie de suelo-cemento pintada con ferrite negro. Como referencia se incluyeron en el gráfico las curvas correspondientes a otros materiales que se utilizan en colectores solares: PVC negro, chapa pintada con pintura negra para alta temperatura y goma sintética negra (EPDM). Echazú et. al. (2000)

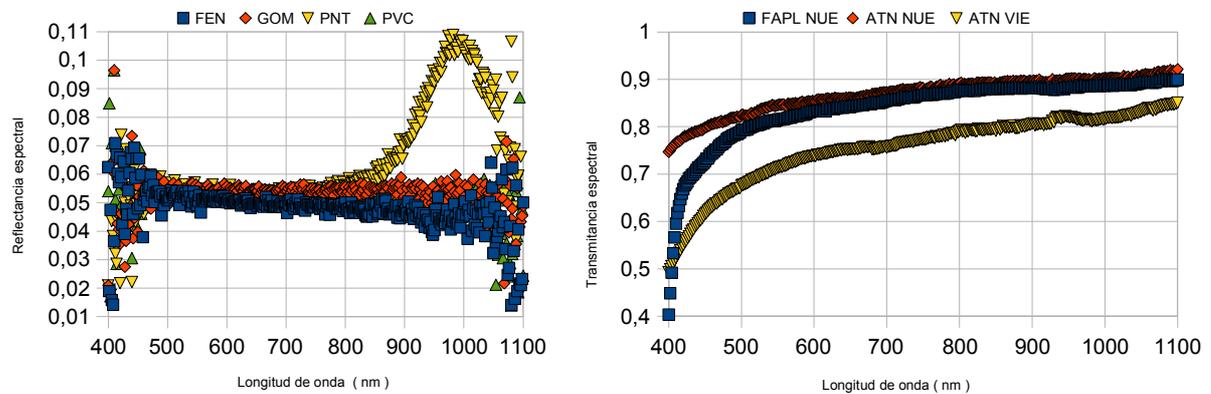
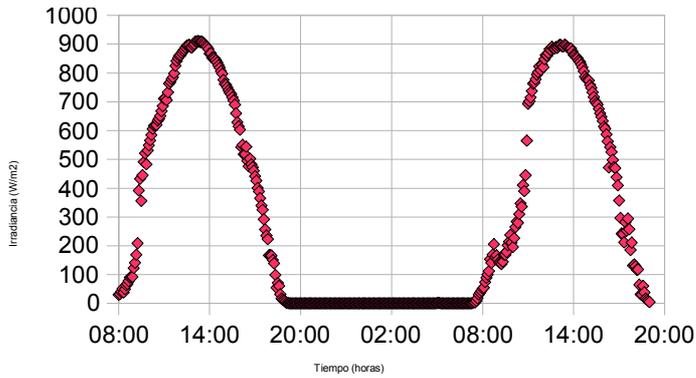


Figura 4 a: Reflectancia espectral de suelo cemento y otros materiales. Figura 4 b: Transmitancia espectral de plásticos.

ENSAYO DEL COLECTOR

Se presentan las medidas del 10 y 11 de abril de este año en que el colector se ensayó con diferentes caudales. La figura 5 muestra la radiación solar registrada sobre el plano horizontal para los dos días. El cielo estuvo despejado durante todo el día con un pico en 900 w/m² es característico de Salta para esa época del año. En la tabla 1 se muestra la radiación medida en el interior del colector alrededor del mediodía solar. Los puntos de medida se indican en la figura 3 a.



Hora	lex	lin	Inor	Isur
11:50:00	785	643	750	121
15:10:00	740	625	726	129
15:10:00	716	609	700	137
16:30:00	512	417	446	131

Figura 5: Radiación solar global sobre plano horizontal.

Tabla 1: Radiación solar en el interior del colector

De los registros de temperatura del segundo día se representaron en la figura 6 los correspondientes a las horas en que se midió el caudal. La curva inferior corresponde a la temperatura del aire ambiente que ingresa al colector y las restantes hacia arriba, las de los puntos intermedios a lo largo de éste, cada dos metros. La curva superior muestra la temperatura de salida del aire, que se usa para los cálculos de eficiencia.

Este conjunto de datos corresponde a un caudal másico de 0,064 Kg/s mientras que el primer día se ensayó el equipo con 0,060 Kg/s.

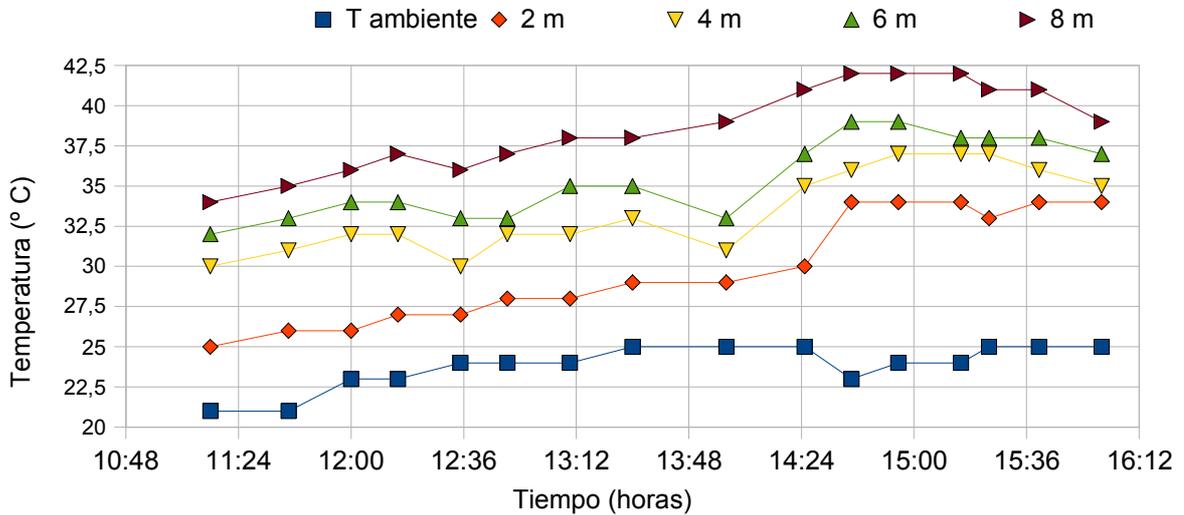


Figura 6: Temperaturas medidas a lo largo del colector.

A partir de las medidas de temperatura, radiación solar y caudal, se calculó la eficiencia instantánea para cada punto como el cociente entre la energía sensible incorporada por la corriente de aire y la radiación solar recibida. Los puntos de eficiencia en función de $(T_m - T_a) / I$, se presentan en las figuras 7 a y 7 b correspondientes a dos días del ensayo.

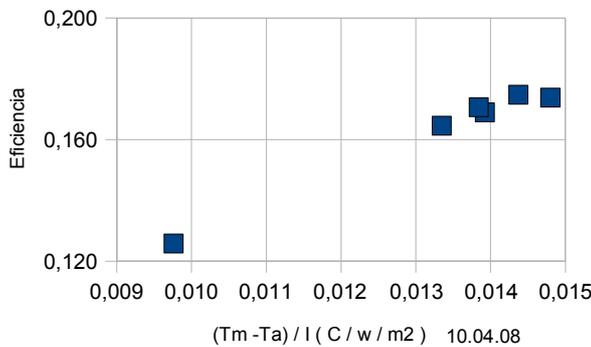


Figura 7 a: Eficiencia calculada a 0,60 Kg/m2

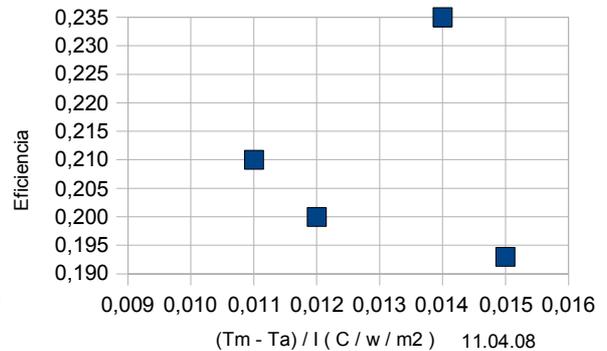


Figura 7 b: Eficiencia calculada a 0,64 Kg/m2

SIMULACIÓN CON SIMUSOL

Se simuló el comportamiento térmico del colector mediante Simusol que utiliza la analogía entre un circuito eléctrico y uno térmico para estudiar el estado transitorio del funcionamiento de un sistema solar. Simusol utiliza tres programas de libre distribución basados en Gnu/Linux: Dia para el planteo gráfico del circuito, Sceptre para el cálculo y gnuplot para la presentación gráfica de los datos. Alia de Saravia et. al. (2003)

Para la simulación del colector de suelo-cemento se emplearon dos diagramas. El que se muestra en la figura 8 representa una sección transversal de colector, en la que los círculos amarillos simbolizan los nodos de temperatura. De arriba hacia abajo, en el diagrama aparecen los nodos de temperatura: del ambiente, de la cubierta, del aire, de la placa colectora y la masa de arena.

La masa de arena se divide en elementos finitos, como se representa en la figura 9. Las cotas indican las dimensiones en metros de cada elemento y sus secciones transversales en metros cuadrados.

Los símbolos de color azul representan las resistencias conductivas, convectivas y radiativas entre los nodos, mientras que los elementos acumuladores asociados a las masas de aire y de arena, se representan en el diagrama con los símbolos de color verde. Los flujos de calor están representados con símbolos de color rojo.

Este diagrama se condensa en un modelo que es incorporado al diagrama de la figura 10 que representa el colector a lo largo. El modelo aparece tantas veces como puntos a lo largo del colector se calculen. En este caso, cada dos metros de colector, de modo de que coincidan la ubicación de los nodos con los puntos de medida experimentales.

Mediante tablas se ingresan los datos iniciales, los parámetros del sistema, el tiempo de simulación, las conversiones de unidades y se declara que variables se mostrarán a la salida.

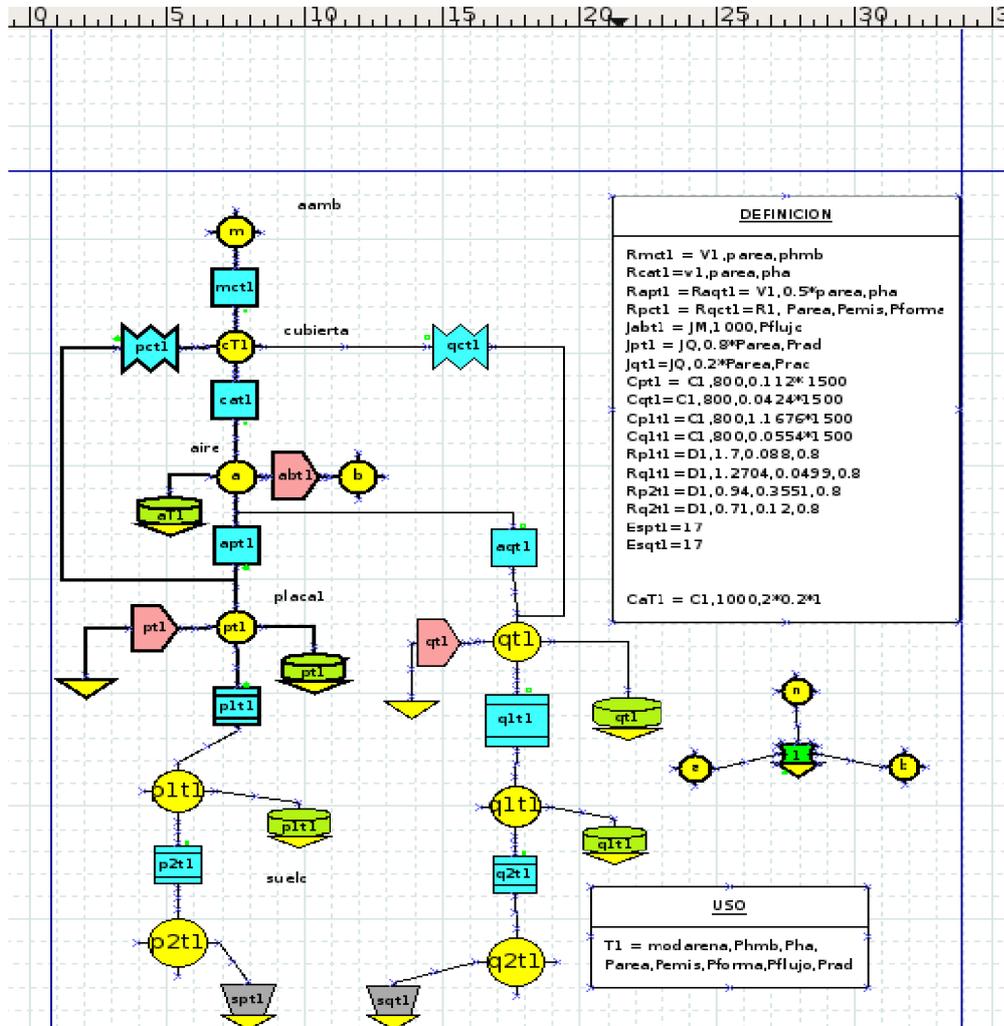


Figura 8 : Diagrama en DIA del modelo para un sector de colector.

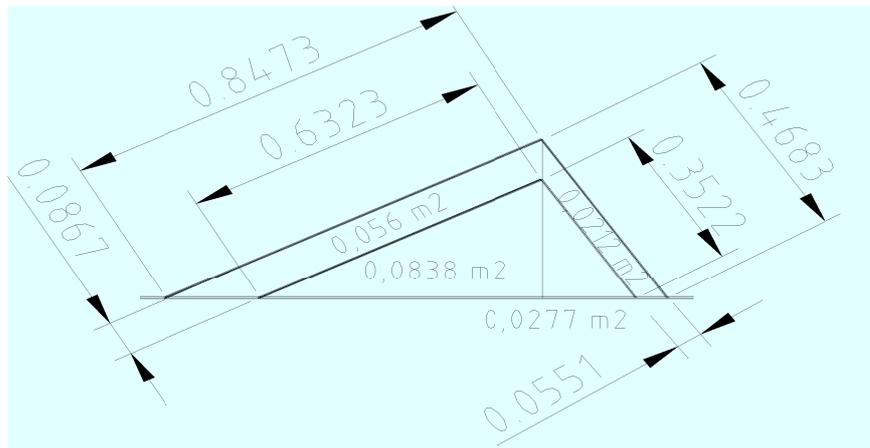


Figura 9 : Corte de la masa del colector mostrando los elementos finitos para el planteo de simulación.

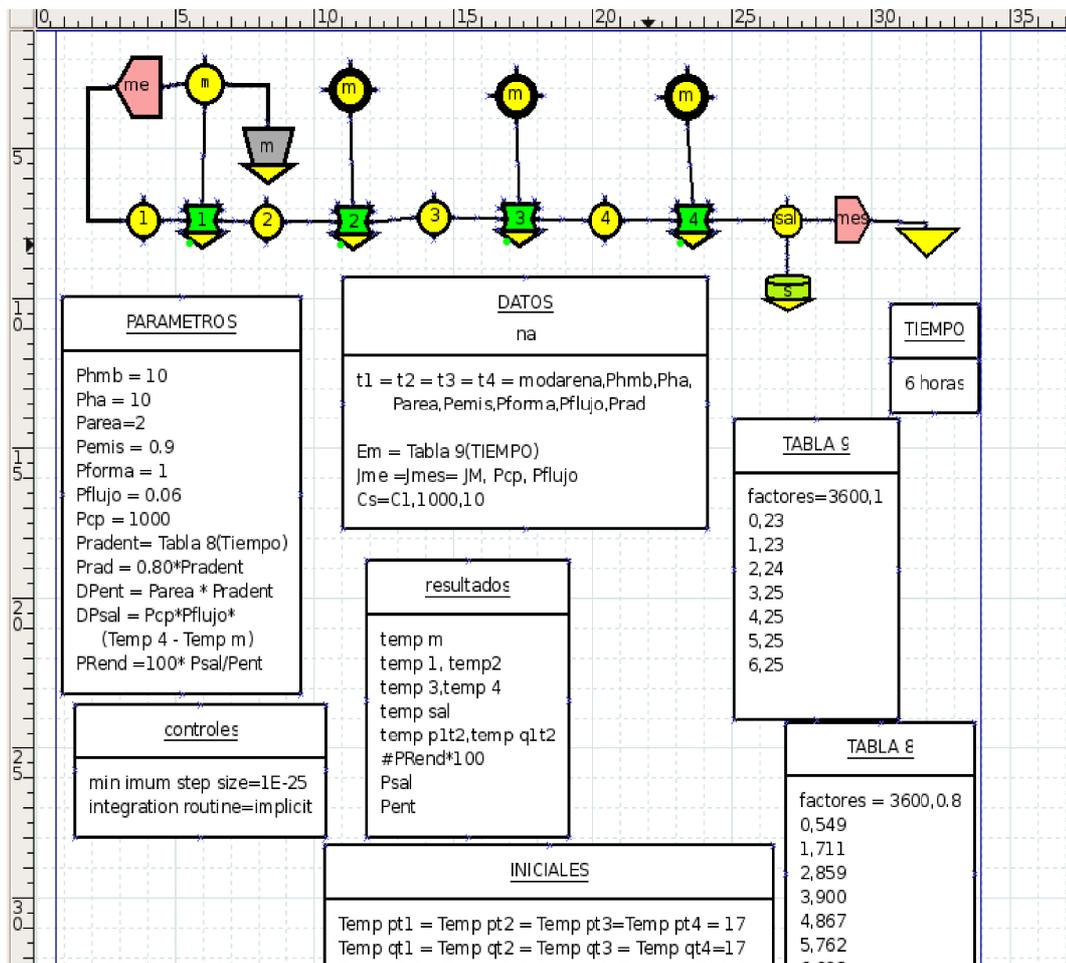


Figura 10 : Diagrama en DIA para el colector de suelo-cemento.

En las tablas asociadas al diagrama, se ingresaron las dimensiones del sistema, los parámetros físicos como densidades, valores específicos, coeficientes de transferencia, conductividades etc.

Se ingresan también en forma de tablas, la radiación solar, la temperatura ambiente y el caudal.

Se corrió el programa con el mismo conjunto de datos experimentales de la primera sección e ingresando los valores de transmitancia del plástico y absorbancia de la placa de suelo-cemento obtenidos en laboratorio y se obtuvieron los resultados que se pueden ver en las figuras 11 y 12.

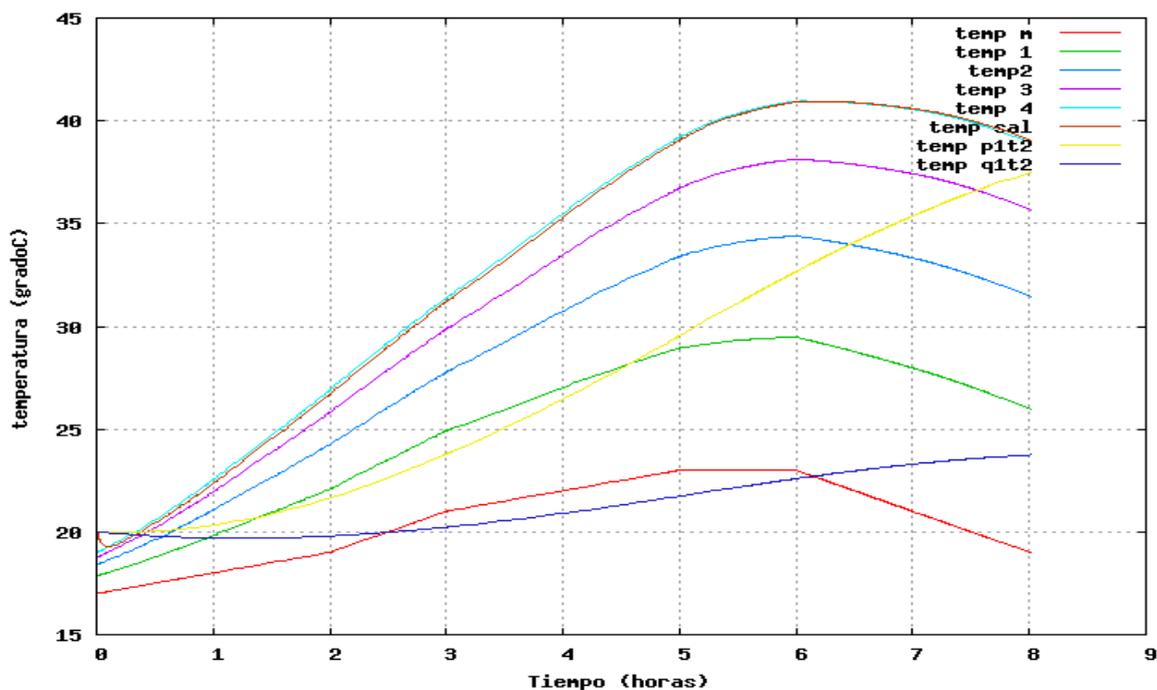


Figura 11: Temperaturas del colector simuladas con simusol.

En la figura 11 se muestra la evolución de las temperaturas para un período de 8 horas con una temperatura inicial de 20 °C. Se puede observar que a partir de la cuarta hora, los resultados tienen una buena concordancia con los valores experimentales de la figura 6.

Las temperaturas representadas son las del aire a la entrada, a lo largo del colector y a la salida. Se muestran también las temperaturas de la superficie del colector y de las masas de arena.

El gráfico de la figura 12 representa la evolución de la energía del sistema, la línea superior es la potencia recibida del sol por el colector y la inferior la potencia que se obtiene por aumento de la temperatura del aire.

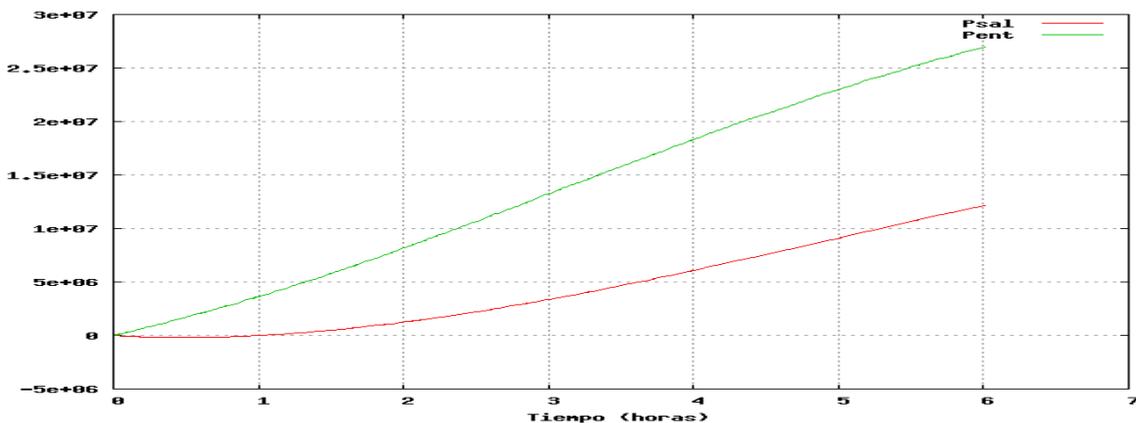


Figura 12: Potencia recibida y potencia entregada por el colector en función del tiempo simuladas con simusol.

CONCLUSIONES

Se ha ensayado un colector solar de aire, construido directamente sobre el termo con materiales de bajo costo. La eficiencia cercana a 30 % alcanzada en algunas condiciones de operación se considera suficiente para el uso el uso propuesto. Mediante la simulación con simusol se ajustaron los valores de los parámetros, de modo que se cuenta con una herramienta de diseño adecuada para el diseño de sistemas a mayor escala.

Al presente se han instalado dos ventiladores con velocidad variable para ensayar dos ductos del colector con caudales diferentes en forma simultanea. De este modo, midiendo en distintas épocas del año, se podrá obtener un conjunto de datos experimentales que aumente la validez de los resultados.

Entretanto, un colector similar, de mayores dimensiones, se construirá en Cachi, como parte de un sistema de secado solar de pimentón, que se construye en colaboración con productores.

REFERENCIAS

- Alía de Saravia D. y Saravia L. (2003) "Simulación de Distintos Sistemas Físicos con Simusol" Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 7 - ISSN 0329-5184
- Alvarez G. Arce J., Lira L. Heras M. R. (2004) Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans Solar Energy 77 107–113
- Ben Slama Romdhane (2007). The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer Solar Energy 81 139–149
- Condorí M., Echazú R y Saravia L. (2006) Secador Solar Indirecto con Flujo de Aire Forzado para Huacalera, Quebrada de Humahuaca ". AVERMA, Vol. 10, ISSN 0329-5184 p. p. 02.47,
- Condorí M., Durán G., Echazú R. y Saravia L. (2007) " Ensayo y Medición de un Secador Solar Industrial Tipo Túnel en el Norte Argentino " AVERMA, Vol. 11 - ISSN 0329-5184 p.p. 02.37
- Echazú R., Cadena C. y Saravia L. (2000) " Estudio de Materiales Reflectivos para Concentradores Solares ", AVERMA, Vol 4 No 1 ISSN 0329-5184 p.p. 02.0p.p. 08.11
- Echazú R., Iriarte N. Morón J., Quiroga M.y Saravia L. (2001) " Secado Solar de Carne de Llama ", AVERMA, Vol 5 No 1 ISSN 0329-5184 p. p. 25-02.
- Echazú R., Condorí M., Durán G. y Saravia L.(2007) " Curvas de Secado Experimentales en la Planta de Deshidratado Solar de Huacalera " AVERMA, Vol. 11 - ISSN 0329-5184 p. p. 02.09,
- Ferreira André G., Maia Cristiana B., Cortez Márcio F.B., Valle Ramón M. (2008). Technical feasibility assessment of a solar chimney for food drying. Solar Energy 82 pp.198–205
- Frigerio E., Saravia L., De Paul I., Echazú R., Arias J.y Fernández de Ulibarri D. (1980) " Construcción y Ensayo de un Secadero Solar de Tabaco ":Actas de la 6a. Reunión de Trabajo de ASADES.
- Multi-Wing, (2008) www.multi-wing.org
- Saravia L., Echazú R. y Zunino L. (1990) " Características Ópticas de Materiales de Cubierta de Invernaderos ": Actas de la 14a. Reunión de Trabajo de ASADES.
- Saravia L., Frigerio E., de Paul I. y Echazú.R. (1981) " Programa de Secado Solar de Tabaco: Segunda Fase ": Actas de 7a. Reunión de Trabajo de ASADES.
- Saravia L., Passamai V. y Echazú.R. (1984) " Secadero Solar de Pimiento: Resultados Experimentales y su Simulación ": Actas de la 9a. Reunión de Trabajo de ASADES
- Saravia L., Echazú R., Zunino L., Quiroga M. y Robredo P. (1988) " Sistema Solar para uso como Invernadero o Secadero: Experimentación y Análisis Económico "
- Pallav Purohit, Atul Kumar, Tara Chandra Kandpal. (2006). Solar drying vs. open sun drying: A framework for financial evaluation. Solar Energy 80 pp.1568–1579

ABSTRACT: This paper leads about the development and testing of a very low cost air solar energy collector built directly on the ground with an absorber plate made of "soil-cement", a mass of sand as thermal insulation and "long life thermal" polyethylene as sheer cover. In orther to move the air mass an axial fan with a controled 200 W electric motor has been installed. Experimental results and "simusol" simulation are presented. A "good" efficiency around 30 % has been obtained.

Keywords: Solar air heaters; Flat plate collectors; Simulation