

SISTEMA CHIMENEA-CONCENTRADOR SOLAR PARA PRODUCIR CONVECCIÓN NATURAL DE AIRE EN UN SECADOR DOMÉSTICO¹

M. CONDORÍ, G. DURAN

INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional (UNSa-CONICET)

Universidad Nacional de Salta,

Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.

Tel: 54-387-4255579, Fax: 54-387-4255489,

e-mail: condori@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo, se presenta el diseño y la construcción de una chimenea solar para producir la convección natural de un secador de escala doméstica, en la que se han incorporado mejoras en la captación de radiación solar directa. La chimenea funciona como un concentrador del tipo concentrador parabólico compuesto con absorbedor tubular para elevar la temperatura de salida del aire. Se asegura un flujo de aire continuo colocando también un extractor eólico del tipo ala delta invertida en la boca de salida de la chimenea. Se muestran los resultados preliminares obtenidos con el ensayo de un prototipo de un metro de alto.

Palabras Claves: Chimenea Solar, Colectores CPC, Extractor Eólico

INTRODUCCIÓN

En el INENCO se viene trabajando desde hace algunos años en el desarrollo de secadores solares de escala doméstica de hasta 10 kg de carga. Se han desarrollado prototipos para la producción de carne deshidratada, charqui, donde la circulación de aire se produce tanto por convección forzada utilizando un extractor eléctrico, como por convección natural con la ayuda de un tubo de ventilación de chapa de 1 m de alto, pintado de negro y el auxilio de un extractor eólico tipo turbina (Condorí, 1997). Debido a que la producción de charqui es usual entre las comunidades aisladas de Salta y Jujuy, que generalmente no cuentan con suministro eléctrico, se trabaja en la mejora de los secadores con circulación natural de aire y específicamente en lo que se refiere al desarrollo de chimeneas solares eficientes.

Como es conocido, el flujo de aire en una chimenea solar es proporcional a la diferencia de densidad entre el aire ambiente y el que se encuentra a la salida de la chimenea. También depende de la altura y diámetro de la chimenea, pero dado que se trabaja con secadores de pequeña escala de producción no se pueden introducir cambios importantes en estas dimensiones. Para lograr una mejora en el tiraje se debe aumentar la temperatura del aire a la salida de la chimenea, por lo que resulta conveniente optimizar el comportamiento térmico de la misma reduciendo las pérdidas de calor hacia el ambiente. En un trabajo anterior (Condorí, 2001), se estudió un prototipo de chimenea solar concéntrico con un cilindro de policarbonato donde se buscó reducir las pérdidas por convección y por radiación.

En esa oportunidad se realizó un estudio analítico de la chimenea propuesta, desarrollando un modelo para describir el comportamiento del flujo de aire. El mismo se validó con datos experimentales de un prototipo de 2 m de alto y 0,15 m de diámetro con el que se obtuvo un caudal de aire promedio de $40 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$. Se obtuvo una mejora en el tiraje de aire utilizando un extractor eólico tipo turbina colocado directamente a la salida de la chimenea. El extractor mejora el comportamiento térmico de la chimenea y permite su funcionamiento aún en horarios nocturno siempre y cuando el recurso de vientos sea adecuado. Además, si la humedad relativa del ambiente es baja el secador puede seguir trabajando evitando la rehidratación.

Debido a que los costos actuales de los extractores eólicos turbinas son elevados, se busca la manera de sustituirlos por diseños económicos de geometrías sencillas. En la bibliografía se encontraron estudios experimentales que muestran opciones más eficientes de extractores eólicos (Schubert, 1980; 1983). Los trabajos de Schubert indican que la cualidad más importante para que un obstáculo produzca una succión eficiente a la salida de la chimenea es la formación de estelas. Estos autores ensayaron entre otros modelos, un ala delta invertida con mejores resultados que el extractor tipo turbina.

Por otra parte, también se puede elevar la temperatura de la chimenea aumentando la radiación solar que incide sobre ella. Una forma sencilla sin aumentar el área del caño es utilizando un concentrador de la radiación solar para geometría tubular. Por supuesto, el uso de un concentrador implica realizar un seguimiento de la radiación solar. Los denominados concentradores parabólicos compuestos (CPC) se mencionan en la bibliografía como los más eficientes si se considera la ganancia de radiación solar directa y difusa. Además, requieren un menor seguimiento del sol que los concentradores que

¹ Parcialmente financiado por CIUNSa y CONICET

utilizan un solo foco, pudiendo trabajar en una posición fija por un par de horas conservando aun la eficiencia de concentración (Rabal, 1985).

En este trabajo se presenta una nueva propuesta de chimenea solar donde se introducen mejoras en la ganancia de radiación solar, la disminución de pérdidas térmicas y el uso de un extractor eólico de geometría sencilla. La chimenea trabaja como un absorbedor tubular de un concentrador solar del tipo CPC. A la salida de la chimenea se ha incorporado un extracto eólico con la forma de un ala delta invertida. Se presenta el diseño y se describen los aspectos constructivos del prototipo como así también los resultados de ensayos preliminares en condiciones de campo.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

En la figura 1 se muestran una foto de frente y otra del lateral derecho de la chimenea propuesta. Esta consiste de un tubo de chapa galvanizada de 15 cm de diámetro y 1m de alto, pintado de negro mate. Por atrás del tubo se coloca un espejo con configuración de CPC para absorbedor tubular. Para la construcción del espejo se utilizó chapa de aluminio pulido de 5 mm de espesor. Se da la forma adecuada a la chapa reflectora mediante tres moldes de madera que se han cortado con la forma del CPC. Estos tres bastidores de madera se cruzan con tres barras de caño estructural de sección cuadrada de 15 mm de lado a fin de dar rigidez a la estructura. En los extremos se sueldan tornillos que sirven para ajustar mediante arandelas y tuercas los bastidores de madera.



Figura 1: Izquierda: foto de frente de la chimenea concentrador solar. En la parte superior se observa el extractor eólico tipo delta invertido. Derecha: foto con la vista lateral derecha. Se observa también el equipo de medición utilizado.

Para el diseño del CPC se confeccionó un programa en el lenguaje Mathemática siguiendo las indicaciones de la bibliografía (Rabal, 1985). El concentrador CPC consiste en dos parábolas con distintos focos. La parábola izquierda tiene foco en el extremo derecho del absorbedor mientras que la parábola derecha en el extremo izquierdo. Ambas parábolas se unen por debajo del absorbedor mediante una involuta de longitud igual al perímetro del absorbedor y tienen un único punto de contacto con éste. Un CPC de profundidad infinita no dejará escapar la radiación que ingresa por su abertura. Debido a que en la práctica es imposible tener un concentrador muy profundo, esta longitud se trunca de acuerdo al índice de concentración deseado. El programa genera un archivo DXF que es leído con AUTOCAD para realizar la impresión final del molde con las dimensiones reales. Con este molde se cortan los tres bastidores de madera. En la figura 2 se muestra el gráfico de salida del AUTOCAD, con las dimensiones del diseño finalmente adoptado.

Las partes de arriba, abajo y el frente del concentrador se cubren con policarbonato alveolar transparente de 6 mm de espesor a fin de disminuir las pérdidas térmicas principalmente por radiación y convección hacia el ambiente. Todas las uniones son selladas con adhesivo siliconado. El ala delta es un triángulo isósceles que se construye en chapa delgada y tiene un sistema de rulemanes doble para permitir su rotación estable. Este termina en una veleta sencilla que se encarga de mantener el ala delta a sotavento de la chimenea. El ala se coloca con una inclinación de 45 grados con respecto a la horizontal con una de sus puntas hacia abajo coincidiendo con el eje de simetría de la chimenea. Las dimensiones del ala delta permiten cubrir completamente el diámetro de la misma.

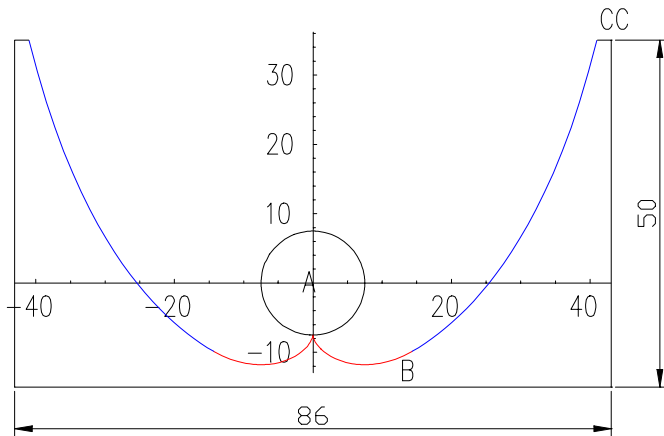


Figura 2: Gráfico con el diseño y dimensiones del concentrador CPC con absorbedor cilíndrico tubular de 15 cm de diámetro. El ángulo de aceptación es de 25°.

RESULTADO DE LAS MEDICIONES

La toma de datos se realizó con un sistema compuesto por una fuente regulada de 13 V, un módulo de adquisición Adam 4018, una interfase de comunicación seriada Adam 4520 y un organizador Palm Vx que se encarga de correr el programa de toma de datos y guardar los registros en un archivo. El programa de toma de datos utilizados fue confeccionado por otros autores utilizando el software yBasic (Gea, 2001). Se midió la temperatura del caño, temperatura del flujo de aire y temperatura del policarbonato en las mismas posiciones correspondientes a la entrada y la salida del flujo.

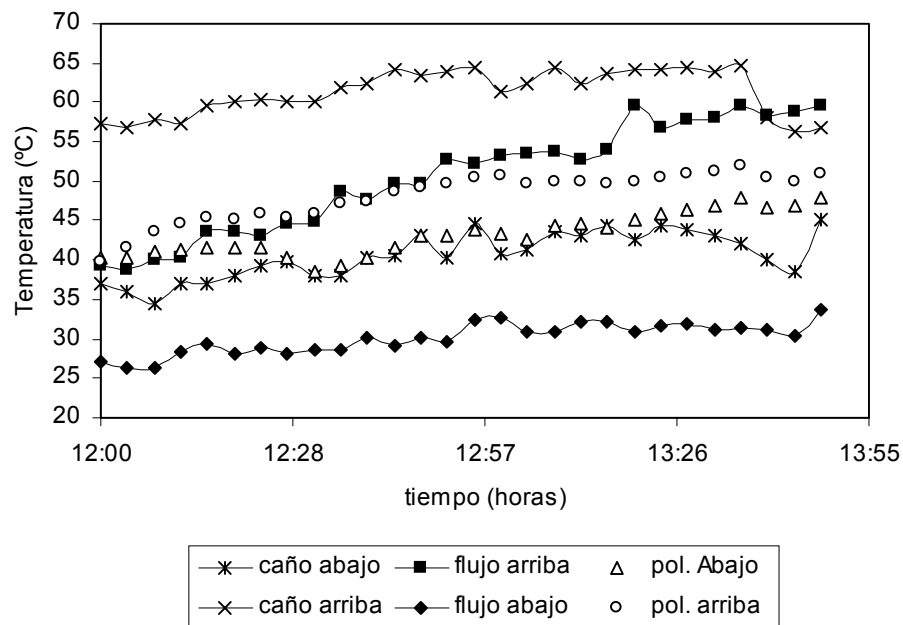


Figura 3: Mediciones de temperatura en distintos lugares de la chimenea con el concentrador CPC.

En la figura 3 se muestran los resultados experimentales obtenidos con la chimenea para un día diáfano de agosto en Salta. Se observa que en condiciones de máxima radiación al medio día solar, se producen diferencias superiores a los 25 °C entre la temperatura de salida y la temperatura de entrada. También se han registrado temperaturas del caño a la salida del aire superiores a los 60 °C. La temperatura de caño se ha tomado en un solo punto de la cara interna del conducto de chapa galvanizada. El comportamiento de esta temperatura hacia el final de los registros se debe a que esa zona de la chapa no está recibiendo radiación solar directa ni reflejada debido a que necesita ser reorientada respecto a la posición del sol es inadecuada. Es decir que la chimenea necesitaría ser orientada cada dos horas. En la figura 4 se muestra la temperatura ambiente y la temperatura del flujo de aire a la entrada y a la salida de la chimenea. Al comienzo de las medidas se observa una diferencia de temperatura de 15 °C mientras que al final esta diferencia supera los 25 °C. Esta diferencia de temperatura es la que controla la convección natural.

La chimenea también se cuenta con el auxilio del extractor eólico por lo que se superpone al efecto chimenea propiamente dicho un flujo forzado que varía con el tiempo y que depende de la intensidad de las ráfagas de viento. La velocidad de flujo final del sistema combinado, y en consecuencia el coeficiente de convección, es mayor al que se esperaría si sólo se considera la diferencia de densidad obtenida por el aumento de temperatura del aire en el interior de la chimenea.

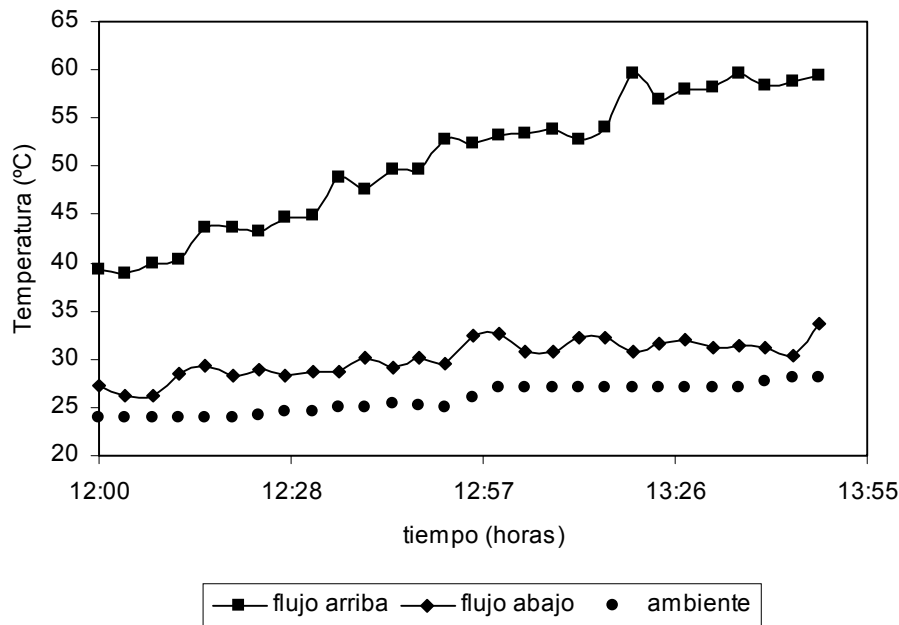


Figura 4: Registros de temperatura ambiente y de entrada y salida del flujo de aire en la chimenea.

Se han medido velocidades de flujo de aire a la salida de la chimenea entre $0,5$ y $0,8 \text{ ms}^{-1}$, siendo la medida fuertemente dependiente de la velocidad de viento externo. Con estas velocidades se obtiene un caudal medio de $40 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, del orden del que se obtuvo con la versión anterior de chimenea pero que tiene altura doble.

CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido una chimenea solar que incrementa la temperatura del aire a la salida de la misma, mejorando la ganancia de radiación solar mediante el uso de un concentrador parabólico compuesto de geometría tubular. El concentrador se ha diseñado con un ángulo de aceptación de 25° y se lo ha truncado para tener una eficiencia de concentración del 40% , lo que permite que trabaje en una posición fija con respecto a la trayectoria del sol por aproximadamente 2 horas. La chimenea trabajará asociada a un secador de uso doméstico por lo que todo el sistema necesita ser orientado respecto a la posición del sol unas tres o cuatro veces al día. Dado las dimensiones y el peso del secador que se considera, esto no introduce mayores complicaciones al manejo del sistema completo.

Se han medido diferencias en el orden de los 25°C entre la temperatura del aire a la salida de la chimenea y la temperatura ambiente. Si bien son resultados preliminares en condiciones particulares de velocidad de viento, mejoran a los obtenidos por el primer autor con una chimenea sin concentración. Cabe destacar que la altura de la chimenea propuesta es de un metro, es decir la mitad de la versión sin concentración. El comportamiento térmico puede mejorar todavía si se coloca aislamiento térmico por detrás de la chapa reflectora o si se aumenta la eficiencia de concentración a costa de requerir un mayor seguimiento del sol o aumentar la profundidad de las parábolas.

Debido a que la chimenea trabaja en posición vertical, el concentradores CPC permite captar tanto la radiación directa del sol como la difusa de suelo. Como es de esperar, se ha observado un aumento de todas las temperaturas involucradas inclinando la chimenea hacia una posición normal al haz directo. En contraste, se observa una disminución del flujo de aire producido para los puntos más alejados de la posición vertical. Es decir que existe una inclinación próxima a la vertical que mejora la velocidad del flujo. Se realizarán otros ensayos a fin de determinar la inclinación de trabajo óptima de la chimenea. También se necesita determinar las dimensiones óptimas de la chimenea considerando los aspectos constructivos y del manejo. Por ejemplo, se puede disminuir el ancho de la chimenea pero a costa de un mayor seguimiento de la posición del sol.

Actualmente se trabaja en la simulación del sistema con el programa SIMUSOL. El programa considera la eficiencia de concentración de la chimenea y diferencia los aportes al coeficiente de convección debidos a la convección natural por efecto chimenea y a la convección forzada por el extractor eólico, el que dependerá del régimen y frecuencia de vientos. Este programa permitirá la optimización final del sistema buscando reducir las dimensiones del concentrador, con el menor costo posible en cuanto al seguimiento de la posición del sol.

REFERENCIAS

- Condori M., Saravia L. (1997). *Diseño y construcción de un secador directo de uso doméstico*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 1, Nro. 1, Pág. 17-20.
- Condori M., Mealla L., Saravia L. (2001). *Estudio y modelización de un nuevo modelo de chimenea solar*. Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, Vol. 5, N° 2, pp. 02.19-02.24.
- Gea M., Saravia L. (2001). *Utilización de PDAs para toma de datos con módulos de conexión seriada*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 5, Nro. 1, Pág. 147-152.
- Rabl, A. (1985). *Active Solar Collectors and their applications*. Oxford: Oxford University Press.
- Schubert R., Kennedy B. (1980). *A comparative analysis of selected ventilator types tested within a low velocity wind tunnel*. Proceeding of the 5th National Passive Solar Conference, American section of the International Solar Energy Society. Amhers, Massachusetts, pp. 742-746.
- Schubert R., Hahn P. (1983). The design and testing of a high performance ventilator cowl: An element in passive ventilation. Proceeding of the 8th National Passive Solar Conference, American section of the International Solar Energy Society. Santa Fe, New Mexico, N° 2, pp. 867-872.

ABSTRACT:

In this work, the design and construction of a solar chimney-concentrator is presented. In it, the solar collection is improved to produce the adequate free convection in a domestic solar dryer. The solar chimney uses a CPC concentrator with tubular absorber to increase the output temperature in the airflow. Moreover, a wind fan is placed on the chimney exit to make sure a continuous airflow. This wind fan has the inverted delta wing form. The experimental results with a 1 m high prototype are presented.

Keywords: Solar chimney, CPC collector, wind fan.