

## **SISTEMA DE CALENTAMIENTO AUXILIAR PARA SECADERO SOLAR DE PRODUCTOS AGRICOLAS<sup>#</sup>**

V. García, A. Iriarte<sup>1</sup>, S. Justinovich<sup>2</sup>  
Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET  
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca  
M. Quiroga N° 93, 4700 – Catamarca, Argentina. victorgarcia958@gmail.com

*Recibido 09/08/16, aceptado 07/10/16*

**RESUMEN:** Se propone un sistema auxiliar para el calentamiento de un secadero solar de productos agrícolas. Para la construcción del quemador se utiliza dos cilindros del tipo tanques para aceites colocados uno dentro del y separados entre sí 0,15m. Ambos recipientes determinan dos cámaras: de almacenamiento y de combustión. La cámara de almacenamiento cumple la función de intercambio de calor. El sistema, está conectado a un gabinete de secado a través de un tubo por donde se impulsa el aire caliente por un ventilador de 100 Watt y se distribuye en el interior a través de ductos metálicos de 0,07 m de diámetro perforados. El aire es direccionado hacia el producto por dos ventiladores de 450 Watt, colocados debajo de las bandejas. En el trabajo se muestran los resultados experimentales para dos días de ensayos uno sin el sistema auxiliar y el otro con el aporte de calor del quemador, obteniendo valores de temperaturas óptimas para el proceso de secado.

**Palabras Clave:** Secadero solar, Colector solar, Calentamiento auxiliar, Productos agrícolas,

### **INTRODUCCIÓN**

El secado al sol, en el suelo o canchones, es el método tradicional más común utilizado para preservar los productos agrícolas en las regiones productivas de la Provincia de Catamarca. Con este tipo de secado, se puede obtener ahorros considerables ya que la fuente de energía es libre y renovable.

Con este método, el producto final es contaminado por polvo del ambiente, tierra, arena y sufre de ataque de microbios, con pérdidas de producto de alrededor del 50%. Además, al ser extremadamente dependiente del tiempo, el tiempo de secado requerido para un producto dado puede ser demasiado largo (por ejemplo, para el secado de uvas para pasas se requiere más de un mes).

En general, la ganancia obtenida de estos productos deshidratados no es la esperada, debido a que la deshidratación, la calidad y la conservación son deficientes siendo difícil la obtención de precios aceptables en la comercialización. La mejora en la tecnología de secado podría resolver una parte importante de estos problemas, más aun si se emplea tecnología solar de bajo costo, lo que permitiría obtener mayor rentabilidad y mejorar la calidad.

Durante los últimos años se propusieron distintos sistemas solares mejorados para optimizar la calidad del producto final y reducir el tiempo de secado que se incorporaron paulatinamente al sistema productivo. Se propusieron otros, con la colocación de cubiertas y elevados del piso constituyendo los conocidos tendaleros, que fueron incorporándose paulatinamente para evitar el brusco cambio de

---

<sup>#</sup> Parcialmente financiado por UNCa, INTA

<sup>1</sup> Investigador del CONICET

<sup>2</sup> Técnico de INTA

costumbre de los agricultores, (Carabajal, 2002, Iriarte A., et al. 2012, Iriarte A., et al. 2013, García V. 2015).

Bala y Woods (1989), Jairay et al. (2009) y Iriarte et al. (2010), propusieron distintos secaderos solares pasivos construidos a nivel local sin el empleo de energía eléctrica. Estos modelos si bien cumplen con el objetivo para el secado de productos agrícola, funcionan adecuadamente bajo ciertas condiciones climáticas, por cuanto dependen de ellas para utilizar un flujo adecuado de temperatura según este nublado o despejado. Estas situaciones hacen que el sistema se comporte de manera fluctuante lo que condiciona los días y calidad de secado, (Bala y Woods 1994, Duran y Condorí 2009, Iriarte et al 2011).

Hoy en día, los avances científicos y tecnológicos facilitan el secado de cantidades industriales o semi-industriales en un día con buenas características organolépticas (olor, sabor, textura y color) y la calidad nutricional. Tiris C., Tiris M., y Dincer I (1996), han realizado una comparación experimental de un secador solar a pequeña escala y un secador artificial. Para este último, el aire se calienta con un colector solar y a continuación un calentador eléctrico. Se encontró que el secado artificial es más exitoso que el secado al sol natural, reduciendo el tiempo de secado de manera significativa, siendo el producto final de mejor calidad. Otros investigadores (Karathanos y Belessiotis 1997), utilizaron para el secado un quemador que funciona con gas propano. Si bien la comparación entre el secado solar y el artificial demuestran la reducción considerable en el tiempo de secado en favor del último, presenta la desventaja de la importante cantidad de energía requerida.

Con el objetivo de tener un sistema que nos permita realizar experiencias de secado con diferentes productos bajo distintas condiciones, se propone utilizar una cámara conectada a un colector solar que calienta el aire ambiente del interior del recinto. Cuando las condiciones climáticas son desfavorables o cuando el sol desaparece, se puede utilizar un calentador que funciona con leña o desechos agrícolas. De esta manera, el sistema se puede utilizar durante todo el año, sin necesidad de tener un sistema de almacenamiento, teniendo así, un medio de secado práctico para evaluar el deshidratado de diferentes productos y además, de bajo costo para el productor.

El propósito del presente trabajo fue estudiar el comportamiento del sistema de calentamiento auxiliar cuando las condiciones climáticas son desfavorable. Se describe su construcción, materiales utilizados y los resultados experimentales.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### *Descripción del secadero solar*

En un trabajo presentado el año anterior se propuso un prototipo de secadero cuyo esquema se muestra en la figura 1, consiste en: a) Un colector solar, y b) una cámara de secado. El mismo ha sido diseñado, construido y ensayado en el predio de la Estación Experimental de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicado en Sumalao, Valle Viejo Catamarca, (latitud -28,48, longitud -65,63), (V. García et al. 2015)

El colector utilizado es una estructura de 7,5 m<sup>2</sup>(2,5m x 3,00 m) de 0,25 m de alto, sus laterales y base están construidas con placas Superboard, de 0,006 m de espesor y una conductividad térmica de 0,6 W/m. K aislada con fibra de vidrio. El aire del exterior entra por el extremo inferior abierto del colector y se calienta mientras pasa por encima de la chapa colectora.

La cámara de secado de 7 m<sup>3</sup>, se encuentra elevada 0,80 m del piso, sus paredes están construidas en su totalidad con Superboard, en el techo inclinado se colocó policarbonato alveolar transparente de 0,006 m de espesor, a través de él, el producto recibe radiación solar. En la pared sur, se encuentra la puerta de ingreso de 1,70 m x 0,60 m y una chimenea en la parte superior de 0,10 m x 2,90 m para evacuar el aire húmedo.

En el interior de la cámara, se encuentran las bandejas de red alambres con marcos de hierro, insertadas una sobre otra de 1 m<sup>2</sup>x 0,10 m de alto colocadas en dos estructuras de madera de 0,60 m de

alto. En cada estructura se colocan tres bandejas. El aire caliente que proviene del colector es impulsado a través del producto por dos ventiladores tipo extractores de 0,45 kW colocados debajo de cada columna de bandejas. La carga y descarga de los productos se realiza en el interior del recinto.

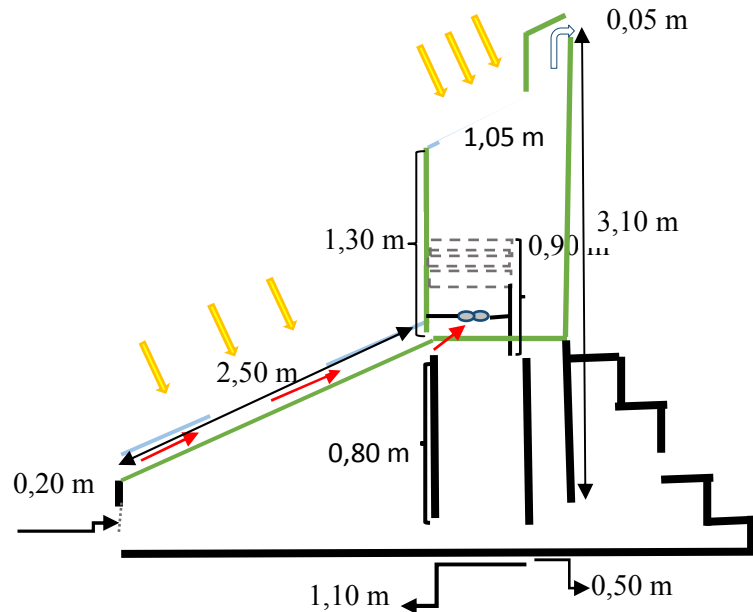


Figura 1: Corte del sistema colector – Cámara de secado

#### Descripción del sistema auxiliar

Para utilizar el sistema bajo condiciones ambientales no favorables o aumentar las horas de secado, se utiliza un sistema de calentamiento auxiliar. Este equipo, está constituido por dos cilindros concéntricos, separados por 0,15 m entre cada uno. El cilindro exterior tiene 1,35 m de alto y 0,60 m de ancho, construido en chapa de acero, del tipo de los tanques de aceite, mientras que el cilindro interior es más chico de 1,20 m de largo y 0,45 m. Ambos cilindros determinan dos cámaras, una de almacenamiento y otra de combustión. La cámara de almacenamiento cumple la función de intercambio de calor, Figura 2.

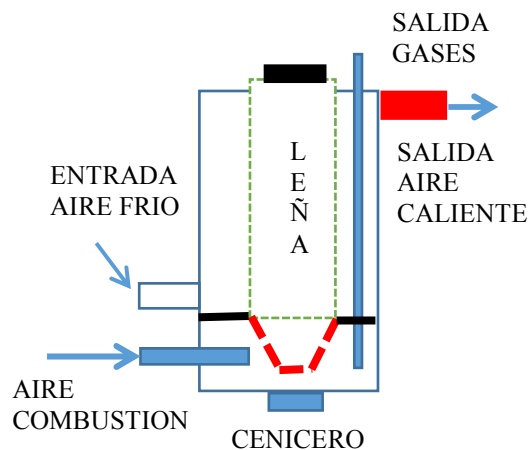


Figura 2: Esquema del calentador auxiliar

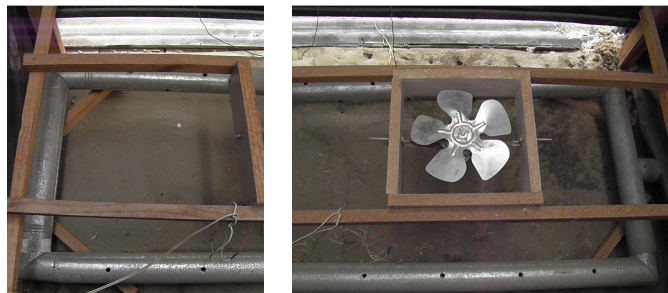
El cilindro exterior tiene una abertura de 0,15 m x 0,15 m en la parte superior, con una tapa de cierre hermético, mientras que en la parte inferior lleva un sistema para la descarga de cenizas, cenicero. La cámara de combustión evacua los gases a través de una chimenea de 0,10 m de diámetro y que recorre el espacio entre ambos cilindros.

Los gases producidos en esta zona pasan a la cámara de intercambio y son expulsados al exterior por la chimenea. El aire a calentar ingresa a temperatura ambiente, a la zona interna de la doble pared, por un conducto ubicado en el lado lateral derecho de la cámara de almacenamiento. El mismo, circula entre los dos cilindros y a través del exterior de la chimenea hasta llegar a la parte superior de este recinto, para finalmente salir por una abertura ubicada en la parte lateral opuesta a la entrada. Para forzar la circulación del aire se lo impulsa mediante un ventilador de 100 Watt colocado en el conducto de salida, (foto 1).



*Foto 1.- Calentador auxiliar conectado a la cámara de secado.*

En el interior del gabinete se instaló la tubería por donde circula el aire desde el sistema auxiliar. La misma consiste en una serie de tubos de 0,07 m de diámetro conectados entre sí y que forman un circuito. Cada 0,20 m se realizaron perforaciones que permite salir el aire caliente hacia las bandejas que contienen el producto impulsado por el ventilador. Foto 2.-



*Foto 2.- Cañería interior de circulación de aire caliente en el gabinete.*

En la foto3, se muestra el sistema de calentamiento auxiliar conectado al gabinete de secado.



Foto3: Cámara de secado con colector solar, y sistema auxiliar de calentamiento

#### *Sistema de medición*

Las mediciones de temperatura y humedad se realizaron con Data Logger tipo HOBOS tipo U12 individuales que permiten medir temperaturas en el rango de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  (precisión de  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , resolución de  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Estos sensores, se ubicaron a la salida del aire del colector, a la altura de bandeja, y en la salida del aire de la chimenea, protegidos de la radiación solar directa. Los registros fueron cada 15 minutos durante el ensayo.

La radiación solar se midió con un piranómetro horizontal Kipp&Zonen ( $\pm 5\%$ ). Las variables meteorológicas se determinaron con la estación meteorológica instalada en el lugar de la experiencia.

La velocidad del aire se midió con un anemómetro de hilo caliente, marca TSI 1650 ( $\pm 0,05\text{ m s}^{-1}$ ), en diferentes puntos en dirección transversal a la salida del aire del interior de la tubería en el gabinete de secado. El flujo másico del aire que circula por el circuito de intercambio de calor fue  $9,8 \times 10^{-2}\text{ kg s}^{-1}$ .

Las temperaturas del aire desde la salida del calentador auxiliar fueron medidas manualmente con un termómetro digital marca FLUKE 53/54 con termocuplas Cromel - Alumen, apreciación  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las mediciones fueron realizadas en la zona de circulación del aire desde la salida del calentador y el interior de la gabinete de secado, el material combustible, se midió con una balanza digital de 0 - 500 g, apreciación  $\pm 0,1\text{ g}$ .

Aunque el equipo fue diseñado para el aprovechamiento de residuos agrícolas, en los ensayos se utilizó leña de la zona con una capacidad calorífica de  $19,8 \times 10^6\text{ J kg}^{-1}$ . El flujo másico del mismo se calculó como la relación entre carga y el tiempo transcurrido hasta que se consume totalmente, como para este ensayo se utilizó 40 kg durante 8h de trabajo el flujo fue de  $1,4 \times 10^{-3}\text{ kg s}^{-1}$ .

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los ensayos experimentales se planificaron para cotejar el aporte de aire caliente del quemador al sistema de secado. Para ello se realizaron mediciones durante un día en que la radiación disminuye. Se trabajó durante dos días del mes de julio, en la fig. 4, se muestra los datos climáticos de temperatura, y la radiación sobre superficie horizontal. Se observa que ambos días fueron climáticamente diferentes. El primer día, fue claro con una radiación próxima a los  $650\text{ Watt/m}^2$ , con una temperatura ambiente exterior ( $T_{\text{amb.ext.}}$ ) máxima de  $23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a las 15 hs. Mientras que el segundo día seminublado, la radiación disminuyó hasta un valor máximo de  $447\text{ W/m}^2$  la temperatura tuvo una máxima de  $16,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

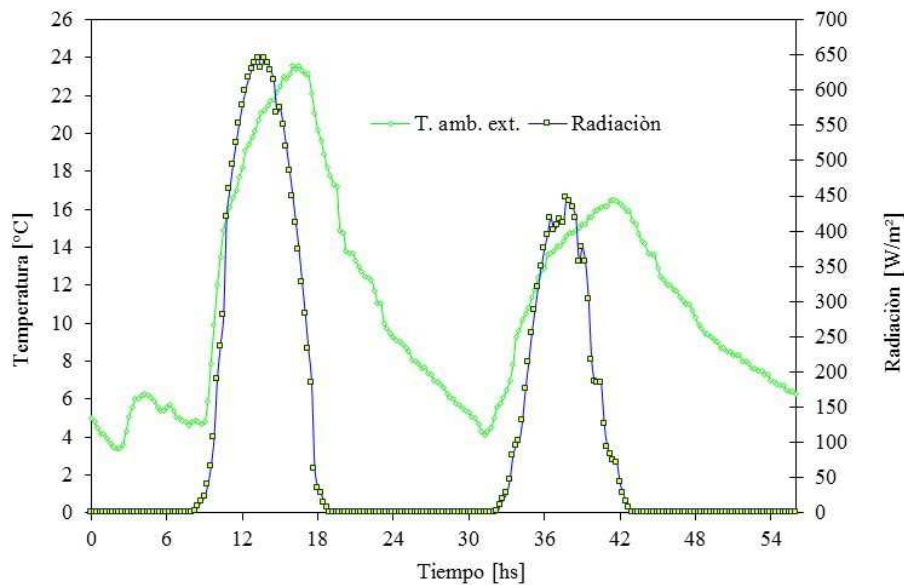


Figura3. Temperatura, y radiación horizontal en función del tiempo.

### Colector y sistema de calentamiento auxiliar

En la figura4 se muestra las mediciones de temperatura en el interior del gabinete de secado, para este caso se toma como entrada del aire del colector la temperatura ambiente exterior (T. amb.ext), salida del colector (T.s.del colector), las temperaturas de la zona de bandeja donde se colocan los productos para secado identificadas como T.B. Oeste y T. B. Este, de acuerdo a la ubicación en el interior del secadero.

La temperatura del aire a la entrada al colector, coincidente con la temperatura del aire ambiente exterior, el primer día de experiencia las temperaturas desde las 11 hs hasta las 20 hs estuvieron por arriba de los 17 °C, alcanzando un valor máximo de 23,6 °C, estas temperaturas son aceptables para no usar el sistema auxiliar. Mientras que el segundo día se necesita aporte auxiliar pues disminuyó aproximadamente 7 °C. En la salida del colector, las temperaturas en el primer día estuvieron por arriba de los 20 °C entre las 10:00 hs y las 18:00 hs, alcanzando una máxima de 41°C. Para el segundo día, dentro del mismo intervalo de tiempo, las temperaturas medidas fueron, de 18 °C con una máxima de 32,6 °C.

Entonces, se decide poner en funcionamiento el sistema auxiliar para evaluar su aporte de calor en el segundo día, las mediciones de temperatura del flujo de aire en el interior del gabinete desde el encendido de la leña (9,00 hs), se observa en la gráfica (T. aire caliente) estuvieron comprendidas entre 50 y 73 °C, con un promedio de 65,4 °C hasta las 18 hs, también se aprecia cuando se realizaron las recarga de combustible. Por otro lado, se midió la temperatura del aire en las dos bandejas donde se coloca el producto, el primer día desde las 11,00 hs hasta las 17,00 la temperatura estuvieron por arriba de los 20 °C en concordancia con la temperatura de la salida del colector con un valor máximo de 41 °C, en ambas bandejas. El segundo día las temperatura medidas estuvieron por sobre los 20 °C a partir de las 10,00 hs hasta las 18,30 hs, se observa que la bandeja del sector de entrada del aire está por encima de la otra un par de grados. Se destaca en este día que la temperatura alcanzada en el gabinete es la aportada por el aire caliente del quemador, que estuvo 10 °C por arriba de la temperatura a la salida del colector. Con un aporte de 7852,656 J/s durante el ensayo.

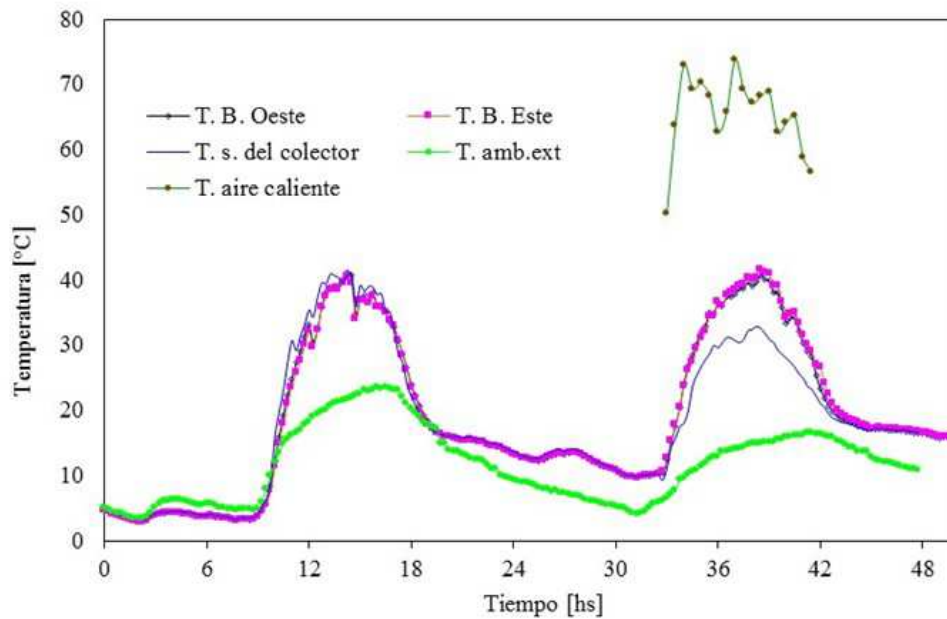


Figura4. Temperatura entrada y salida del colector y bandejas con productos

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en estos estudios preliminares han demostrado la viabilidad del uso del sistema de calentamiento auxiliar propuesto en este trabajo para el secadero solar para productos agrícolas. El equipo, si bien fue concebido para el trabajo en convección forzada, se estima que con simples modificaciones se puede mejorar el aporte de calor, y funcionar con convección natural, por lo que se está estudiando esta alternativa, sin dejar de lado las premisas de diseño en cuanto a sencillez, facilidad de construcción y operación.

La simplicidad en las formas, la escasa cantidad de elementos constituyentes, los materiales utilizados en su ejecución, y los bajos costos de operación y mantenimiento, hacen a este equipo viable para ser utilizado cuando sea necesario aportar aire caliente al secadero.

Los niveles de temperatura alcanzados por el calentador permiten obtener la temperatura de aire en el interior de la cámara óptima para compensar al colector solar y aportar calor durante días con poca o nula radiación.

Como trabajos futuros se prevé el uso del calentador auxiliaren el secado de productos para determinar el rendimiento del sistema bajo distintas situaciones de carga.

## REFERENCIAS

- Bala B. y Woods J. (1989). Simulation and Optimization of natural convection solar drier. Journal of Agricultural Engineering.27, pp. 419-424.
- Bala, B.K., Woods, J.L.(1994). Simulation of the indirect natural convection solar drying of rough rice.Solar Energy 53 (3), pp. 259–266.
- Carabajal D. (2002). Secadero tendalero con cubierta plástica. Folletos de divulgación de INTA Catamarca.
- Duran G. y M. Condori (2009). Modelo y simulación de un secador solar pasivo de producción semi industrial. Avances en Energías, pág. 121 – 129. Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13.
- García V., A. Iriarte, S. Justinovich, L. Ángel, T. Heredia (2015). Secadero solar forzado para productos agrícolas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 19, pp. 02.21-02.28, 2015. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433

- Iriarte A. (2001). Calefacción de invernaderos utilizando energía solar y biomasa residual agrícola. Tesis doctoral. Libro publicado por Editorial Científica Universitaria, ISBN: 978-987-1341-43-6. 2009.
- Iriarte A., Bistoni S., García V. y Luque V. (2013) .Evaluación de un secadero solar tendalero túnel: estudio de secado de manzanas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 17, pág. 21-28.
- Iriarte A., Bistoni S., Luque V., García V., Rodríguez C. y Brizuela L. (2012). Caracterización del secado de pimiento para pimentón en un tendalero solar activo tipo túnel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 16, pág. 895-899.
- Iriarte A., Rodríguez C., Bistoni S., Hall M. (2014). Simulación de un secadero solar tendalero túnel. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.18, pág.825 – 834.
- Iriarte A., S. Bistoni, M. Watkins, V. Luque, H. Sánchez y L. Brizuela. (2011). Análisis de un secadero solar tendalero con torre central en convección natural. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol.15, pág. 225 - 232.
- Iriarte A., S. Bistoni, V. Luque, M. Laray L. Brizuela. (2010). Secadero tendalero con chimenea solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 14, pág. 2.01- 2.08.
- Iriarte A., S. Bistoni, V. Luque, M. Lara y L. Brizuela. (2010). Secadero tendalero con chimenea solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 14, pág. 2.01- 2.08
- Jairaj K., Singh S. and Srikant K. (2009). A review of solar dryers developed for grape drying, *Solar Energy* 83,pp. 1698-1712.
- Karathanos, V. T., & Belessiotis, V. G. (1997). Sun and artificial air drying kinetics of some agriculture products. *Journal of Food Engineering*, 31, 35–46.
- Tiris, C., Tiris, M., & Dincer, I. (1996). Experiments on a new small scale solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 16(2), 183–187

## **HEATING SYSTEM AID FOR SUN DRYING AGRICULTURAL PRODUCTS**

**ABSTRACT:** An aiding system for heating a solar dryer of agricultural products is proposed in this paper. To build the burner, two cylinders similar to oil tanks were used one into the other and separated 0,15m one from the other. Both containers delimit two chambers: storage and burning. The storage chamber has the purpose of heat interchanging. The system is connected to a drying cabinet through a tube by means of which hot air is propelled with a 100Watts fan and distributed inside the dryer through drilled 0.07m diameter metal ducts. Air is conducted to the product by two 450 Watts fans placed under the trays. Testing results of this work are shown for 2-days trials, one without the aiding system and the other with the contribution of the burner's heat, obtaining optimal temperature values for the drying process.

**Keywords:** solar dryer, solar collector, auxiliary heating, agricultural products