

SECADERO TENDALERO CON CHIMENEA SOLAR[#]

A. Iriarte¹, S. Bistoni, V. Luque, M. Lara¹ y L. Brizuela²

Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca
M. Quiroga N° 93, 4700 – Catamarca, Argentina. iriarteadolfo@gmail.com

RESUMEN: El secado solar de frutas y hortalizas está siendo utilizado en distintos lugares del mundo y particularmente en Argentina. Si bien existen numerosos diseños de distinta complejidad, se presentan algunos problemas que requieren atención y estudio, especialmente en lo que se refiere a la tecnología de secaderos en convección natural. En el presente trabajo se detallan los aspectos constructivos de un tendalero adaptado para funcionar como secadero solar pasivo con una chimenea solar incorporada. El sistema básicamente consiste de un colector solar, cámara de secado y chimenea. Para el modelo de simulación se utilizó el SIMUSOL. Se analiza el sistema térmicamente y los resultados del ajuste de la simulación. Se muestran los resultados de los ensayos realizados: secado de pimienta para pimentón y membrillos. La simulación permitió determinar el flujo másico de aire dentro del secadero y resultó ser una herramienta útil a la hora del diseño. Los productos obtenidos son de buena calidad y el tiempo de secado se considera razonable para este tipo de secadero.

Palabras Clave: chimenea solar, secadero solar pasivo, simulación secadero

INTRODUCCIÓN

El secado solar de frutas y hortalizas está siendo utilizado en distintos lugares del mundo y particularmente en Argentina. Si bien existen numerosos diseños de distinta complejidad, se presentan algunos problemas que requieren atención y estudio, especialmente en lo que se refiere a la tecnología de secaderos en convección natural y relativa a mejorar la eficiencia de secado, aspectos sanitarios y optimizar el uso de la energía solar.

Utilizar un secadero solar pasivo o en convección natural directo o indirecto resulta atractivo considerando que es factible que lo construyan los propios productores. Si a ello le agregamos que el secado es sin costo, la ecuación económica puede cerrar y desplazar la forma de secado en canchones.

Sin embargo este tipo de secaderos tienen grandes dificultades en los días de verano de alta radiación donde las altas temperaturas que alcanza el aire, cocinan el producto. Por lo que es importante aumentar la velocidad de circulación de aire caliente dentro de ellos.

Un modo eficiente de ventilar en convección natural es el agregado de una chimenea solar que, junto a la geometría del secadero, contribuya a mejorar la circulación del aire. Los diseños realizados para aprovechar el efecto chimenea, se basan principalmente en captar radiación solar para aumentar la diferencia de temperatura entre el aire que sale de la chimenea y el ambiente exterior.

Existen numerosos trabajos sobre las aplicaciones de las chimeneas solares. Bansal et al., (1993) analizan la función de una chimenea solar, acoplada a un colector solar de aire caliente y plantean una metodología para la determinación del flujo másico del aire. Condorí et al., (2005) desarrollan un modelo de simulación de una chimenea solar aplicando el Simusol y lo particulariza para el uso de presiones estáticas y dinámicas. Duran et al., (2009) utilizan la metodología planteada para edificios y la aplica a secaderos túneles en convección natural. En la mayoría de las aplicaciones con secaderos solares pasivos, para cargas pequeñas entre 10 a 30 kg, se incorpora una chimenea para mejorar la evacuación del aire (Rivera et al. 1986, Biagi et al. 1988, Bala et al. 1984, Hallak et al. 1996, Roger et al. 1984). Otros utilizan grandes chimeneas para generadores solares de potencia (Bernardez et al., 2003) y destiladores solares (Collares Pereira et al., 2007).

En un trabajo anterior (Iriarte et al., 2009) se propuso un diseño sencillo de secadero. Básicamente es un secadero tipo tendalero, de los que usan tradicionalmente los pequeños productores, cubierto con plástico. Los resultados obtenidos muestran que es necesario aumentar la circulación de aire en el interior del mismo.

En el presente trabajo se detalla un tendalero adaptado para funcionar como secadero solar pasivo con una chimenea solar incorporada. Se analiza térmicamente el sistema, los resultados de la simulación y se muestran los resultados de los ensayos realizados: secado de pimienta para pimentón y membrillos.

[#]Parcialmente financiado por: PFIP, INTA, UNCa

¹Investigador del CONICET

²INTA, Catamarca

DESCRIPCION DEL PROTOTIPO

El secadero estudiado es del tipo mixto de gabinete, es decir la colección de radiación se realiza tanto en un colector solar previo a la cámara como en la misma cámara. El aire circula por convección natural. Básicamente el sistema está constituido por dos partes principales: a) el colector – acumulador de calor y b) la cámara o gabinete de secado. El primero, está conformado por una platea de piedras graníticas seleccionadas (aproximadamente 0,06 m de diámetro), ubicada a nivel del suelo y acomodada de manera de conformar un espesor aproximadamente uniforme. Tiene 10 m de largo y se extiende 1,50 m hacia adelante de la cámara de secado. En su extremo frontal inferior, una abertura de 0,15 m de alto, por toda su longitud permite la entrada del aire desde el exterior, Fig. 1.

La cámara de secado, ubicada en la parte posterior del colector está sobreelevada 0,80 m del nivel del terreno natural y tiene 1,20 m de ancho por 10 m de longitud y posee cubierta de plástico transparente. La salida de aire se realiza a través de un ducto trapezoidal de 0,15 m de ancho, 0,50 m de altura y 10 m de largo, que hace las veces de una chimenea solar. Al terminar la chimenea, por su pared posterior tiene una abertura (0,12 mx10 m) por donde sale el aire caliente. Para regular el aire de salida se usan obturaciones que se instalan en el marco superior.

La base está construida con una malla de alambre galvanizado colocada dentro de un marco de madera, reforzado por planchuelas de hierro para conferirle mayor rigidez a la superficie de apoyo. Sobre esta malla, se colocan las bandejas de madera con malla plástica (tipo media sombra).

La estructura del secadero está construida con listones de madera con una forma cuasi-triangular. Los lados inclinados hacia el norte están cubiertos por plástico transparente LDT (150 micrones), mientras que en su pared posterior vertical está cubierta por plástico negro (200 micrones). De esta manera, también la chimenea recibe radiación directa que es colectada por la parte posterior interna, mejorando el efecto chimenea.



Fig. 1. Vista del secadero con colector, cámara de secado con salida tipo chimenea

ANÁLISIS DEL COLECTOR SOLAR, SECADERO Y CHIMENEA

El balance térmico se realizó considerando los distintos elementos que configuran el secadero solar: colector, cámara de secado y chimenea.

Para el colector se utiliza la expresión propuesta por Duffie y Beckman (1991)

$$q_u = F' [\tau \alpha I - U_L (T_f - T_{a,ext})] \quad (1)$$

F' : factor de eficiencia del colector; U_L : coeficiente de pérdida global del colector; $\tau \alpha$: coef. Absortancia- transmitancia; I irradiancia sobre plano de colección (W/m^2); T_f : temperatura fluido ($^{\circ}C$); $T_{a,ext}$: temperatura ambiente ($^{\circ}C$)

El balance térmico en el producto tiene en cuenta la transmisión de calor desde el aire de la cámara al producto, a través de una superficie saturada de agua del producto el calor necesario para cambio de fase durante la evaporación:

$$\rho_p (c_{p,p} + c_{p,w} M) \frac{dT}{dt} = A_p h_c (T_{a,ca} - T_p) + \rho_p h_{lv} \frac{dM}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_s); \quad k = k_d A_p \quad (3)$$

ρ_p es la densidad del producto, $c_{p,p}$ calor específico del producto, $c_{p,w}$ calor específico del agua, A_p área del producto,

h_c coef. convectivo, $T_{a,c}$ temperatura del aire en la cámara, T_p temperatura del producto, h_{lv} calor de vaporización. k es un coeficiente que depende de las condiciones de transferencia de calor y humedad sobre la superficie del producto y está relacionado al coeficiente de difusión y del área A del producto. El coeficiente k_d está relacionado con el coeficiente convectivo, el número de Lewis y el calor específico a presión constante del aire, $k_d = h_c / L_e c_{p,a}$. M_e es el contenido de humedad del producto en base húmeda (bh), M_e contenido de humedad en equilibrio.

La cinética de secado se siguió mediante muestras representativas del producto. Éstas se colocaron en distintos lugares de las bandejas y se pesaron dos veces por día. Para graficar las curvas de secado se tuvieron en cuenta el contenido de humedad en base húmeda (bh) definido (Saravia et al., 1992):

$$M = \frac{m - m_s}{m_h} \quad (4)$$

donde m es la masa del producto y m_s es la masa de producto seco.

Se determinó también la relación de humedad, R_s , definida como la relación entre la masa inicial del producto a secar y masa final del producto secado y la velocidad promedio de secado, expresada en kg de agua extraídos del producto durante el tiempo de secado, en función de la masa húmeda. Los subíndices i y f se refieren a las condiciones inicial y final.

$$V_s = \frac{m_i}{t_s} \left[\frac{M_i - M_f}{100 - M_f} \right]_{bh} \quad (5)$$

El flujo másico debido al efecto chimenea dependerá de varios factores, temperaturas del aire adentro y afuera, área de las aberturas y diferencia de altura entre ellas. El flujo de aire inducido por la fuerza térmica es proporcional a raíz cuadrada de la temperatura y del área de la abertura de entrada (Bureau of Indian Standards, 1987):

$$G = KA[H(T_1 - T_2)]^{1/2} \quad (6)$$

donde G es el flujo de aire volumétrico [m^3/s], A es el área de entrada [m^2], K es una constante que depende de la resistencia a la circulación del aire, H es la distancia entre la entrada y salida de la chimenea [m], T_1 es la temperatura promedio de entrada del aire ($^{\circ}C$) y T_2 es la temperatura a la salida del aire ($^{\circ}C$).

Para determinar las ecuaciones que regulan el comportamiento del flujo másico del aire en el secadero se considera la propuesta de Bansal(1993) y que Duran (2009) aplicó a secaderos. Con el propósito de aplicar las ecuaciones que regulan el comportamiento del flujo másico del aire se consideraron los siguientes esquemas. En la Fig.2, se muestra un esquema del secadero solar pasivo con una chimenea solar, con salida transversal orientada al sur y en la Fig. 3 un esquema de distribución de las presiones a lo largo del mismo secadero.

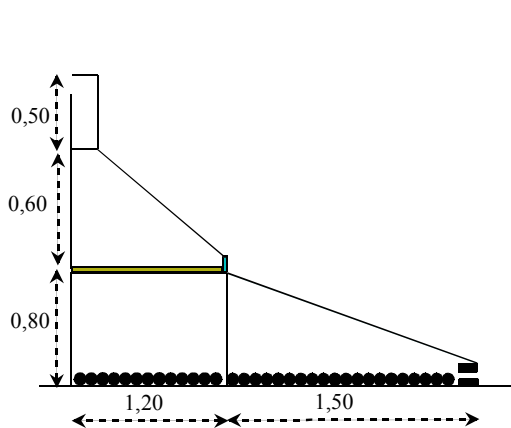


Fig. 2. Esquema del secadero

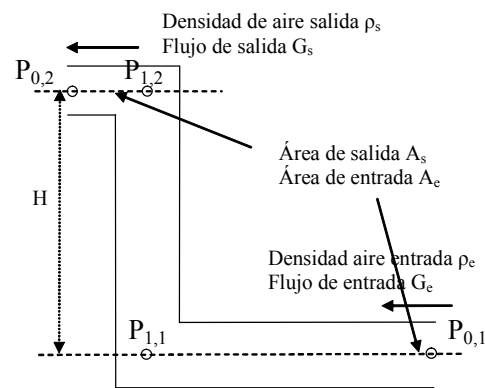


Fig. 3. Esquema de la distribución de presiones

El flujo motor de la convección natural que representa las contribuciones de gradiente de densidad del aire es:

$$\Delta P = (\rho_{ext} - \bar{\rho})gH \quad (7)$$

ρ_{ext} es la densidad del aire fuera del secadero, $\bar{\rho}$ densidad promedio dentro del secadero y H es la distancia entre la entrada y la salida; y $\Delta P = (P_{0,1} - P_{1,1}) + (P_{0,2} - P_{1,2})$; $P_{0,1} = P_{0,2} + \rho_{ext} g H$; $P_{1,1} = P_{1,2} + \bar{\rho} g H$, donde $P_{0,1}, P_{1,1}, P_{0,2}, P_{1,2}$ presiones en los puntos de la Fig.3.

Teniendo en cuenta la ecuación de Bernoulli en cada nivel y la ecuación de continuidad se obtiene:

$$\dot{m} = G_s \rho_s = C_D \rho_s A_s [2gH(\Delta T/T_s)]^{1/2} [(1 + A_r^2)]^{-1/2} \quad (8)$$

donde G_s [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] es el flujo volumétrico de aire a la salida del secadero; C_D es el coeficiente de descarga; ρ_s densidad del aire a la salida, $A_r = A_s/A_e$ relación entre las áreas de entrada A_e y de salida A_s

Para el cálculo de la densidad del aire en los puntos en cuestión se usó la ecuación:

$$\rho = \rho_{st} \left[\frac{1}{(1 + 1/273)} \right] (1 + W) \quad \text{donde } \rho_{st} = 1,293 \text{ kg/m}^3 \quad (9)$$

SISTEMA DE MEDICIÓN

Para medir la temperatura y humedad se utilizaron Data Logger tipo HOBOS inalámbricos con sensores externos “smart sensor” que permite medir temperatura en el rango de -40 °C a 75 °C, precisión de $\pm 0,2$ °C, con una resolución de $0,02$ °C y humedad relativa del aire entre 10 - 90 %, precisión de $\pm 2,5$ %, con una resolución de $0,1$ %. Los sensores son termistores para la temperatura y semiconductores HUM-RHPCB-2 para medición de humedades. Ambos están contenidos por una funda de PVC modificado con una membrana de polietersulfonahidrofóbicas (PES). Fueron distribuidos en diferentes puntos del colector, cámara de secado y chimenea. La humedad relativa y temperatura a la entrada, sobre bandejas, en el producto, la salida del secadero y puntos estratégicos también se midieron con Data Logger tipo HOBOS U12 con sensores internos y externos; temperatura ($\pm 0,5$ °C) y humedad (± 1 %). La radiación solar se midió con un piranómetro inclinado Kipp&Zonen (± 5 %). Las variables meteorológicas se determinaron con la estación meteorológica instalada en el lugar de la experiencia. Las muestras se pesaron con una balanza electrónica ($0,1$ g) y el producto con una balanza de plato (± 1 g).

MODELO DE SIMULACION

El modelo SIMUSOL (Saravia et al, 2000) considerado para la simulación del prototipo, está basado en analogía térmica-eléctrica y consta de tres circuitos térmicos que están relacionados entre sí. Uno de ellos tiene en cuenta el intercambio de calor en la estructura del colector, precámara y cámara de secado y chimenea, otro está referido al intercambio de calor en el entorno del producto y el tercero al intercambio de masa (contenido de agua) que tiene lugar en el entre el aire y el producto durante el proceso de secado.

En el circuito de la estructura se consideraron los siguientes nodos: “1c” representa el aire en el colector, “3s” el aire de la precámara (salida colector) y “1s” el de la cámara, como se muestra en la Fig. 4, esquema del circuito de SIMUSOL en DIA, software para realizar diagramas, en donde se detalla el diagrama de modelo térmico, intercambio de masa en el secadero y la descripción de los símbolos correspondientes. Los circuitos que corresponden al intercambio de calor en el producto y en la estructura están unidos por el nodo “1s”, mientras que el circuito de humedad se vincula con los otros a través del coeficiente de transferencia de masa que está incorporado en la “120”. El nodo 6 representa al ambiente. El nodo representativo del absorbedor – acumulador formado por una capa de piedra es el “3c”. Las piedras están unidas térmicamente a la tierra por la resistencia conductiva “3p1”.

El nodo “2c” representa a la cubierta transparente que cierra el ducto trapezoidal y que permite el ingreso de la radiación solar, representada por el elemento de flujo “Rc”. Se incluyen en el diagrama del colector las pérdidas convectivas y radiativas al ambiente exterior representadas por las resistencias “2c” y la “2cR” respectivamente. El aire interacciona térmicamente con el absorbedor y la cubierta, mediante elementos convectivos, resistencias “1c” y “3c”. Además, el absorbedor y la cubierta intercambian directamente radiación entre sí, resistencia “pc”. Como el plástico de la cubierta es del tipo Larga Duración Térmico (LDT) la pérdida de radiación entre el absorbedor y el cielo no se tuvo en cuenta. El flujo de aire en convección natural que ingresa por el nodo “1c” se representa por el elemento de flujo “E1”.

El nodo que representa el piso de la precámara es “3s”. La radiación ingresa por la cubierta de plástico de la cámara “1s” y es absorbida una parte por el producto, nodo “P” y otra por el absorbedor - acumulador de piedra de la base. Resistencias convectivas y radiativas intercambian calor con el ambiente exterior “3sa” y “Rp2” y el flujo “E3” es el responsable de sacar el aire al sector de la chimenea. El nodo “1s” es el que produce el intercambio de calor entre el producto y el aire que ingresa a la cámara. Por otro lado, en el circuito de vapor de agua los nodos representan humedades, allí se incluye la humedad transferida desde la superficie del producto al aire caliente y seco, que circula alrededor del producto.

El circuito térmico está representado por los nodos “P” (producto) y “1s” (aire caliente seco). Ambos están intercambiando calor mediante un flujo de calor “50” que representa el calor de vaporización del agua debido al agua evaporada y la resistencia convectiva asociada a la transferencia de calor por convección entre el aire y el producto es “50”. El condensador “P” representa la masa del producto a secar (Sogariet *al.*, 2005).

El nodo “108” está conectado a una fuente de tensión que representa el contenido de humedad del aire que ingresa a la cámara de secado. Mediante la fuente “108” transfiere humedad al nodo 120 que representa el aire húmedo de la cámara, mientras que la fuente “120” es la cantidad de humedad que arrastra el aire hacia el exterior del sistema.

El condensador “120” representa el contenido de humedad total existente en la cámara. El contenido de humedad del producto está representado por la fuente de tensión “150” en el nodo “150”, nodo que representa al aire sobre el producto. La resistencia convectiva “120” representa la transferencia de masa (vapor de agua) desde el producto a el aire que lo rodea (nodo 120).

El nodo “4s” representa el aire sobre el producto y está conectado, por un lado al ambiente mediante dos resistencias convectivas “csa” y “4cs” y por el otro con el plástico negro que constituye la parte posterior del secadero, resistencias “4fs” y “4fsa”. Entre el nodo “4cs” y el “4sf” hay una resistencia de intercambio radiativo, “f4”. Este esquema se repite en la entrada “1ch” y salida “2ch” de la chimenea. Las fuentes “E4” y “E5” son las encargadas de hacer circular el aire a través de la chimenea y la “Sal” es la responsable de evacuar el aire hacia afuera.

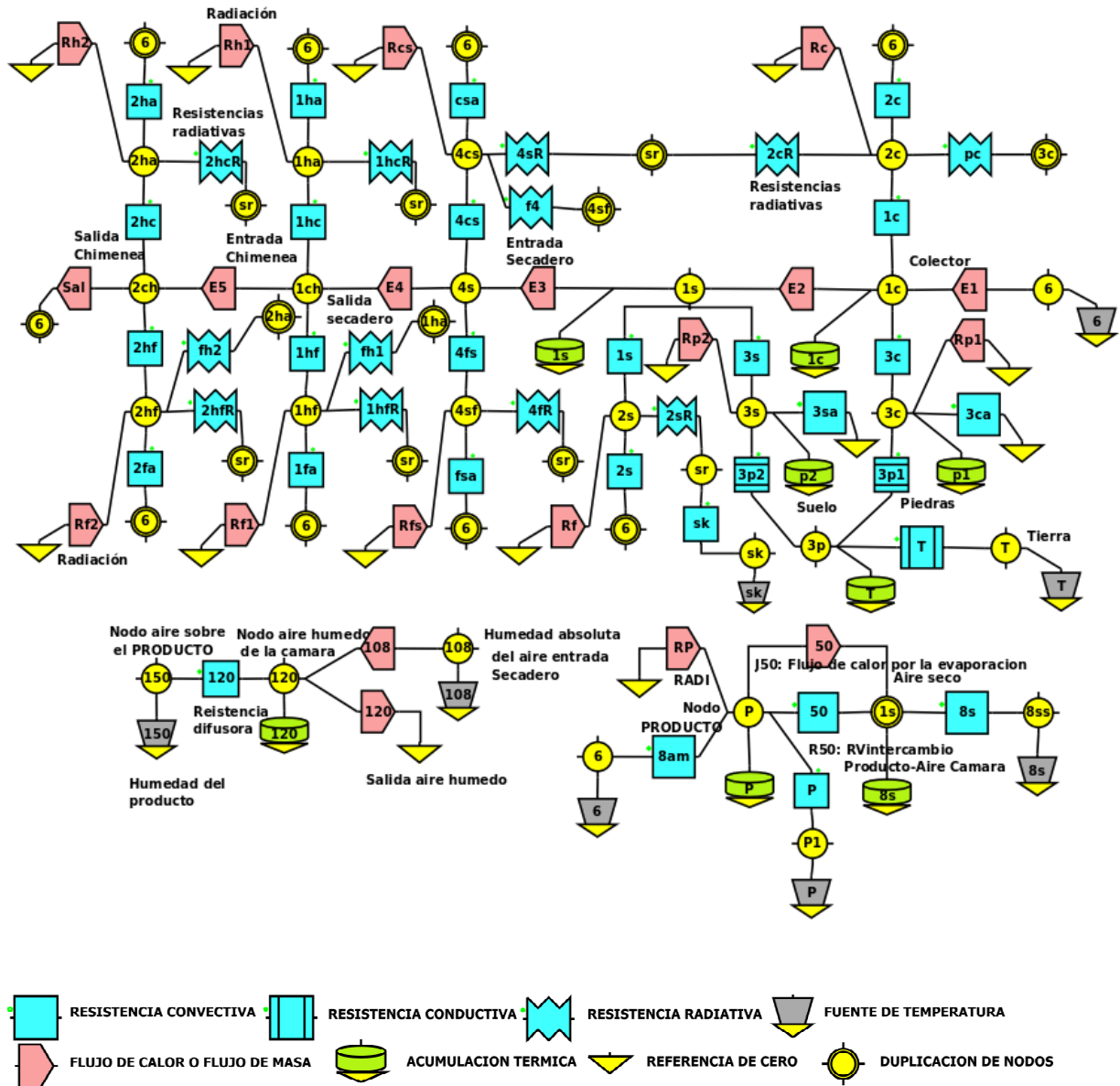


Fig. 4. Diagrama del modelo térmico y de intercambio de masa del secadero. Descripción de los símbolos que corresponden al diagrama

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Ensayos experimentales

El secadero fue sometido a una serie de ensayos en vacío y con producto, poniéndose énfasis en el funcionamiento de la convección natural y el aporte del efecto chimenea. Estos ensayos fueron realizados tanto en el período primavera verano, así como otoño y parte del invierno. Durante estos ensayos la relación entre el área de salida con respecto a la de entrada (A_2/A_1) fue de 0,85.

En la Fig. 5 se muestra la variación de la temperatura del aire a la salida de la chimenea en contraste con la temperatura ambiente exterior y la radiación solar sobre superficie inclinada en el plano de la cubierta del colector. La temperatura máxima de salida de la chimenea fue de 58 °C, con valores promedios de 38 °C aproximadamente. Estos valores, desde el

punto de vista teórico, producen un flujo de aire promedio dentro del secadero del orden de 0,5 kg/s en el periodo de mayor radiación (11 a 16 horas).

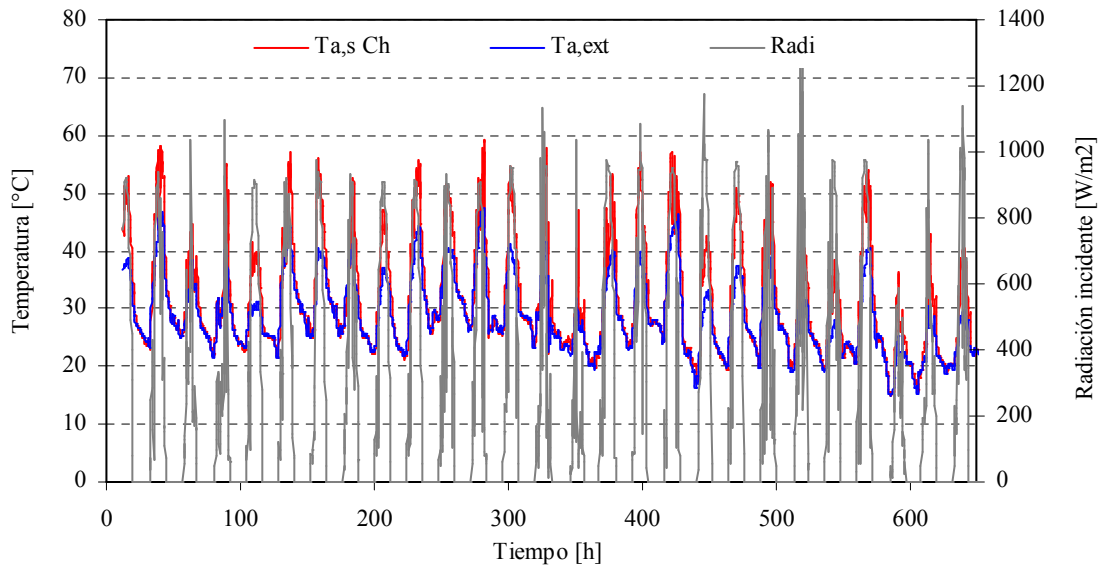


Fig. 5. Distribución de temperatura del aire a la salida de chimenea, temperatura ambiente exterior y radiación incidente sobre plano de colección

En la Fig. 6 se muestra la distribución de las temperaturas representativas de cada parte del secadero en función del tiempo. Los puntos que se tomaron para hacer este análisis corresponden: 1-entrada de aire al colector, 2-salida del colector, 3-aire de la precámara, 4-producto, 5-sobre bandeja, 6-base de la chimenea, 7- salida de la chimenea; estos puntos constituyen el eje (x), mientras el eje (y) es el tiempo y el eje (z) la temperatura.

Se observa que el incremento no es uniforme entre los distintos puntos y que existe una diferencia importante entre el punto 6 y el 7, que están dentro de la chimenea, en las horas en que hay radiación. Esto se debe a que la chimenea tiene una configuración equivalente a un colector solar, una cubierta de plástico y placa de plástico negro.

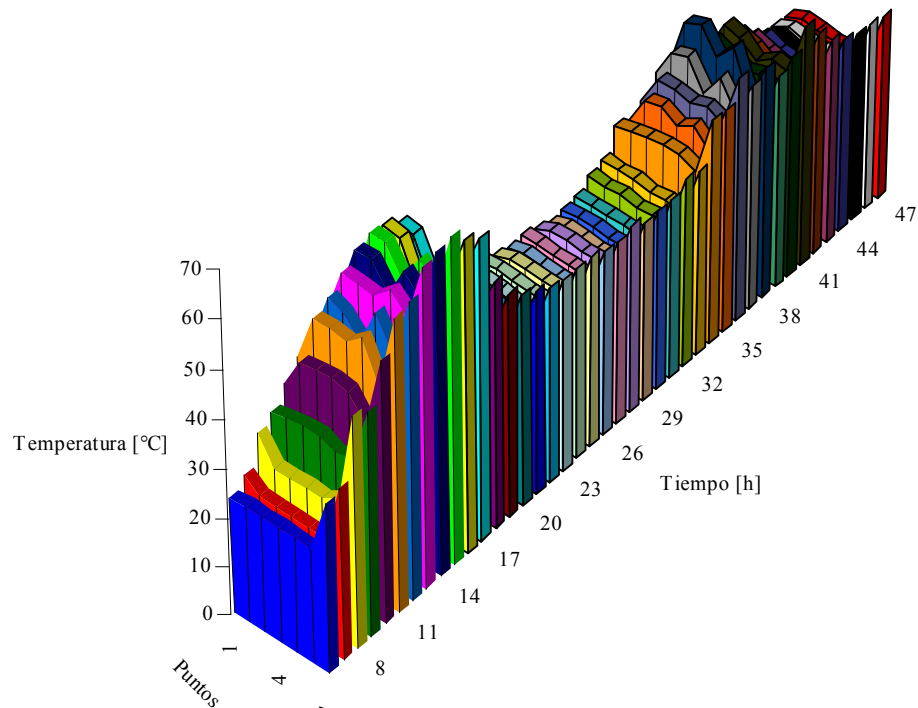


Fig. 6. Variación de la temperatura en distintos puntos del colector y secadero en función del tiempo

Resultados de la simulación

El modelo para la simulación del secadero tiene algunas aproximaciones ya que se planteó al solo efecto de disponer de una herramienta de diseño para distintas localizaciones en donde se ubicaran los secaderos. El modelo permite tener una

aproximación del flujo másico, variable difícil de medir por su pequeño valor, mediante el ajuste de temperaturas, particularmente la de entrada y salida de chimenea.

Los coeficientes convectivos y radiativos que se usaron en el modelo térmico se calcularon teniendo en cuenta las propiedades físicas y térmicas de cada uno de los materiales que se utilizaron para su construcción. Para realizar el ajuste del modelo a los resultados experimentales obtenidos en los ensayos, se tuvo en cuenta que las condiciones de una de las componentes del secadero están ligadas al resto del mismo y depende del aporte o reducción de calor de la otra. Los ajustes se realizaron principalmente en los procesos de transferencia de calor y masa y los coeficientes de absorción y transmitancia de los plásticos.

En la Fig.7 se muestra la curva de variación de la temperatura a la entrada y salida de la chimenea experimental y simulada en función del tiempo y el flujo másico que resulta del ajuste de las temperaturas.

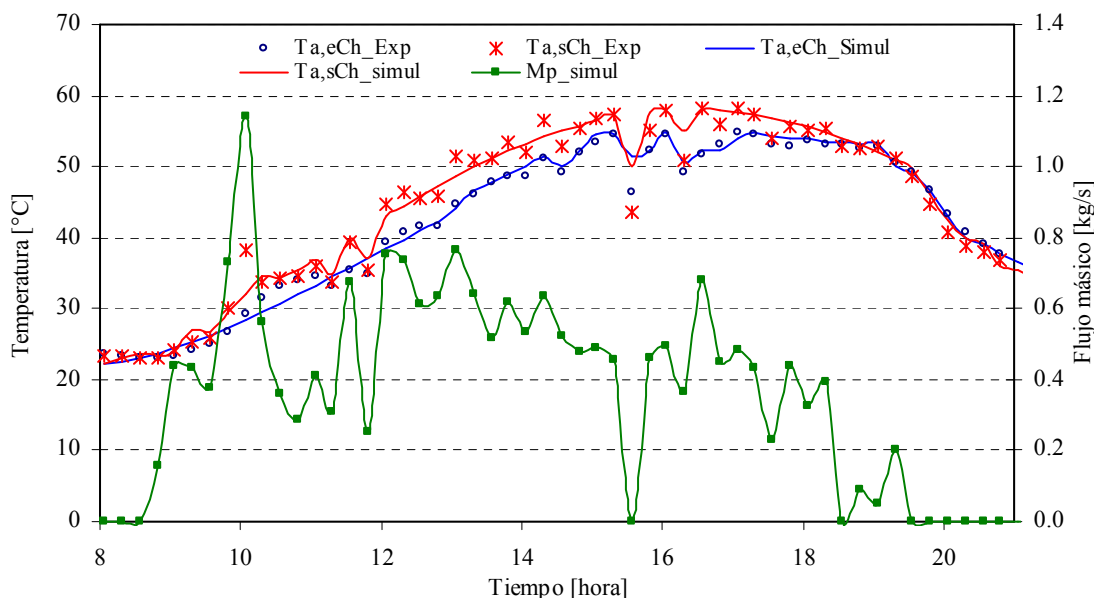


Fig. 7. Distribución de temperatura de entrada y salida de chimenea, experimental y simulada. Variación de flujo másico simulado

Se observa que la temperatura experimental del aire salida de la chimenea presenta fluctuaciones marcadas durante las horas de máxima radiación, mientras que la de entrada no varía de la misma forma. Esto se debe a que la chimenea, por su construcción, actúa también como colector solar vertical, siendo sensible a las variaciones de la radiación solar. Como era de esperar los valores simulados del flujo másico varían en función de las temperaturas mencionadas y de la temperatura ambiente exterior.

Resultados del secado

Se realizaron ensayos de secado de tomate, manzana, membrillo y pimienta. En la tabla 1 se detallan los resultados obtenidos para tres de ellos. Como era de esperar el tiempo de secado del ensayo del pimienta entero es casi el doble del tiempo en que se secó el pimienta cuando se lo puso en trozo aunque las condiciones climáticas durante los dos ensayos fueron similares. Este mismo hecho se comprueba si se tienen en cuenta las velocidades de secado.

Producto	Membrillo	Pimienta (1)	Pimienta (2)
Peso inicial (kg)	94,000	81,000	35,400
Peso final (kg)	17,500	21,500	16.600
Pretratamientos	c/rodajas	c/trozos	enteros
Tiempo de secado (días)	2 1/2	5	7
Relación de secado R_s	5	4	2
V_s promedio ($k_{agua}/día$)	2,5	0,7	0,3

Tabla 1. Detalle del secado del Membrillo y de los pimientos para pimentón

En la Fig. 8 se comprueba también que el membrillo presenta una velocidad de secado superior al pimienta. Además se aprecia que la curva del pimienta cortado en trozos durante el primer día presenta una pendiente más pronunciada que durante los días posteriores. Esto se debe a que al estar cortado evapora más fácilmente el agua libre superficial.

CONCLUSIONES

La simulación permitió determinar el flujo másico dentro del secadero, comprobándose que el efecto chimenea permite aumentar el flujo de aire dentro del mismo, con respecto al modelo anterior. Además es una herramienta útil a la hora del diseño. El ajuste del modelo está dentro de límites aceptables.

Los productos obtenidos son de buena calidad y el tiempo de secado se considera razonable para este tipo de secadero.

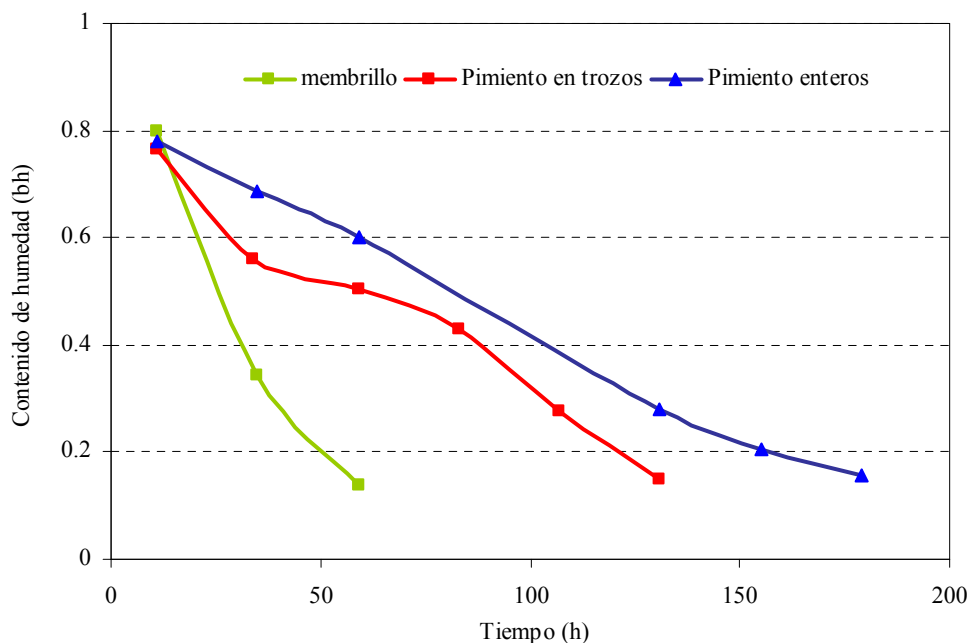


Fig. 8. Curvas de secado para membrillo y pimienta para pimentón en trozos y enteros

REFERENCIAS

- Sogari N., L. Saravia y D. Alia. Simulación del funcionamiento de un secadero solar con circulación de aire por convección natural. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta, 2005.
- Bansal N. K.; Marthur R. y Bhandari M. (1993). Solar Chimney for enhanced Stack ventilation, Building and Environment Vol. 28 N° 3 pp 373-377.
- Rivera D, J. Sequi, A. Iriarte y V. García. Secado solar pasivo para pequeñas unidades de producción ASADES. Acta 11va. Reunión de ASADES San Luis, pág. 47 - 52, 1986.
- Saravia L., R. Corvalán, M. Horn, R. Román. Ingeniería del secado solar. CYTED.. Ed. Impresos Universitarios. 1992.
- Biagi S., Iriarte A. Prototipo para secado solar pasivo. Acta 13va. Reunión de ASADES Salta, pág. 55 - 60, Tomo I, 1988.
- Bala B. and Woods J. Simulation and Optimization of natural convection solar drier. Journal of Agricultural Engineering. 27, pp. 419-424, 1989.
- Bermudez M.A., Vob A. y Weinrebe G. (2003). Thermal and technical analyses of solar chimneys. Solar Energy 75 pp 511 – 524.
- Duffie J. y Beckman W., Solar Engineering of Thermal Processes, 2do Ed., Wiley & Sons, 1991.
- Saravia L. y Saravia D. Simulación de sistemas solares térmicos con un programa de cálculo de circuitos eléctricos de libre disponibilidad. Avances Energías Renovables, Vol. 4, pp. 8.17 - 8.23. 2000.
- H. Hallak, J. Hilal and R. Rahhal (1996). The Staircase Solar Dryer: Design and Characteristics. Renewable Energy, Vol. 7, N° 2, pp. 177 – 183.
- Condori M. y G. Duran (2005). Resolución de un modelo de ventilación por mecanismos pasivos mediante el uso de simusol. Avances en energías renovables y medio ambiente. Volumen 9.
- Duran G. y M. Condori (2009) Modelo y simulación de un secador solar pasivo de producción semi industrial. Avances en Energías. pp. 121 – 129. Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, 2009.
- Iriarte A. C. Rodríguez V. García y V. Luque, (2009). Secadero de Productos Agrícolas tipo tendalero transformado en secadero solar pasivo. Avances Vol. 13.
- Collares Pereira M., J.F. Mendes, P. Horta, N. Korovessis. (2007). Final design of an advanced solar dryer for salt recovery from brine effluent of an MED desalination plant. Desalination 211 pp. 222–231.

ABSTRACT: Solar drying of fruits and vegetables is being used worldwide and particularly in Argentina. Although there are numerous designs of different complexity, they present some problems that require attention and study, especially when natural convection driers are used. This paper describes building aspects of a “tendalero” adapted for working as a passive solar drier with an incorporated solar chimney. The system essentially consists of a solar collector, a drying unit and a chimney. The simulation model used was SIMUSOL. A thermal analysis of the system is done and the results of adjustment simulation are considered. The results of the assays carried out, pepper for paprika and quince, are also shown. The simulation allowed to determine the mass flow rate of air inside the drier, and proved to be an important tool for design. The quality of dried products is good and the drying time is considered reasonable for this type of driers.

Keywords: solar chimney, passive solar drier, drier simulation