

## Rediseño de un horno de secado artesanal para mejorar su eficiencia energética

Iván Salgado Tránsito<sup>a\*</sup>, Sarah Ruth Messina Fernández<sup>b</sup>, Hada E. Tadeo Ceniceros<sup>b</sup>, Fabian A. González Ramírez<sup>b</sup>, Erick Vázquez Hernández<sup>c</sup>, Nicolas Velázquez Limón<sup>d</sup>.

<sup>a</sup>CONAHCYT-Centro de Investigaciones en Óptica AC. Prol. Constitución # 607, Fracc. Reserva de Loma Bonita. CP. 20200, Ags., Ags. México.

<sup>b</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura S/N CP 63000, Tepic, Nayarit, México.

<sup>c</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, Km. 9 Ctra. Colima-Coquimatlán, Coquimatlán 28400, Colima, México

<sup>d</sup>Centro de Estudios de las Energías Renovables, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali 21280, México

\*autor de correspondencia, [isalgadotr@cio.mx](mailto:isalgadotr@cio.mx)

### Resumen

En este trabajo se realizó el rediseño de un horno artesanal de secado alimentado con gas lp con el objetivo de mejorar su eficiencia energética. El horno se ubica en la comunidad de el Llano, Nayarit y se emplea para el secado de diferentes frutos agrícolas como plátano, piña, yaca, entre otros. Para reducir la quema de gas se propone incorporar un sistema de pre-calentamiento mediante resistencias eléctricas, el cual es alimentado por un sistema fotovoltaico. Para mejorar la circulación del aire al interior de la cámara de secado se implementó un sistema de ventilación forzada. Mediante un estudio de simulación CFD se compara la configuración de ventilación para optimizar el proceso de secado. Los resultados muestran las líneas de corriente y velocidad del aire, y la distribución de temperatura al interior de la cabina de secado.

**Palabras clave:** Simulación CFD; Secado solar; ANSYS Fluent.

### Introducción

El secado de frutas representa una práctica ancestral de gran relevancia en numerosas culturas, y en particular, en regiones con abundantes recursos frutícolas como El Llano, Nayarit. Esta técnica de conservación de alimentos ha permitido a las comunidades locales aprovechar los excedentes de producción, garantizando el suministro de alimentos durante todo el año y generando una fuente de ingresos adicional. En el caso específico de El Llano, la producción de frutas tropicales como el plátano, la piña y la yaca es una actividad económica fundamental. Sin embargo, la perecibilidad de estos productos plantea un desafío significativo para los productores, ya que una gran parte

de la cosecha se pierde debido a la falta de infraestructura adecuada para su almacenamiento y distribución. El secado de frutas emerge como una solución viable y sostenible a este problema, ya que permite prolongar la vida útil de los productos, reducir el volumen y el peso, facilitando su transporte y almacenamiento. Además, los productos secos poseen características organolépticas y nutricionales únicas, lo que los convierte en ingredientes valorados en la gastronomía local y en un atractivo producto para los mercados nacionales e internacionales. Tradicionalmente, el secado de frutas en El Llano se ha realizado en hornos alimentados con gas, los cuales presentan una serie de limitaciones en términos de eficiencia energética, costos operativos y emisiones contaminantes. Ante este panorama, surge la necesidad de desarrollar tecnologías más eficientes y sostenibles que permitan optimizar el proceso de secado y mejorar la calidad de vida de los productores locales. Este trabajo se enfoca al rediseño de un horno de secado artesanal con el objetivo de reducir el consumo de combustibles fósiles, complementando el sistema de calentamiento a gas por uno eléctrico alimentado por energía solar fotovoltaica. Con ello, se espera mejorar la eficiencia energética mediante la optimización de la distribución del aire caliente dentro de la cámara de secado y reduciendo las pérdidas de calor. A través de este estudio, se busca contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas apropiadas para las comunidades rurales, promoviendo la sostenibilidad y el aprovechamiento de los recursos locales.

## Metodología

En la Figura 1 se muestra un modelo 3D del sistema de secado original, el cual está integrado por una cámara de secado con 2 puertas de acceso, para la entrada y salida del producto. El sistema de calentamiento es mediante un quemador de gas. La extracción de aire húmedo es mediante un ventilador axial activado con un motor de 10 HP, y la entrada de aire es mediante 2 pequeñas ventilas en la parte superior del horno. La cámara de secado cuenta con un falso techo para evitar el contacto del producto con la flama del quemador. Las desventajas del sistema es su baja eficiencia energética, debido a que en su configuración actual la evacuación del aire húmedo es inadecuada y el consumo de combustible es alto.

Para mejorar el desempeño del sistema de deshidratado se proponen una serie de mejoras así como un rediseño del sistema. En las Figuras 2 y 3 se muestra el nuevo diseño propuesto, el cual consiste en incorporar un arreglo de resistencias eléctricas para el precalentamiento de aire con una potencia total de  $10\text{kW}_{\text{th}}$ . Se propone instalar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para suministrar parte del consumo eléctrico de las resistencias. En la cámara de combustión en la parte superior se propone crear dos canales de circulación de aire caliente. En la pared del horno de secado se propone colocar un sistema de recirculación de aire, con campanas de extracción para mejorar la extracción y difusión del aire [1][2]. La entrada del aire fresco es en la parte superior del ducto, mientras que la evacuación del aire húmedo es en la parte inferior, como se muestra en la Figura 3.

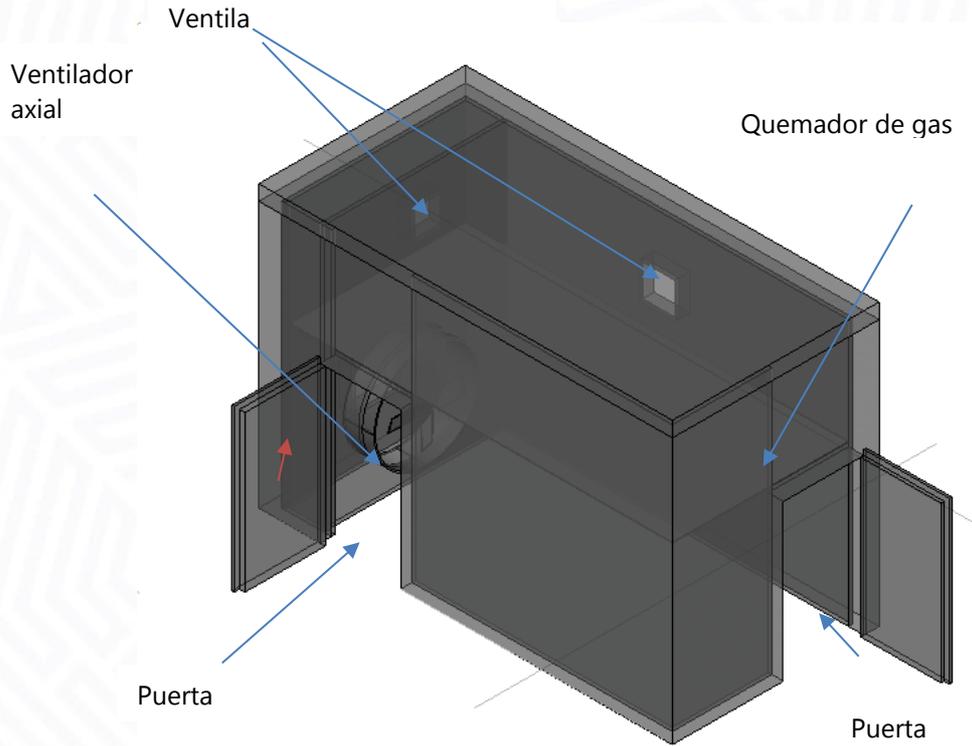


Figura 1. Esquema del sistema de secado original.

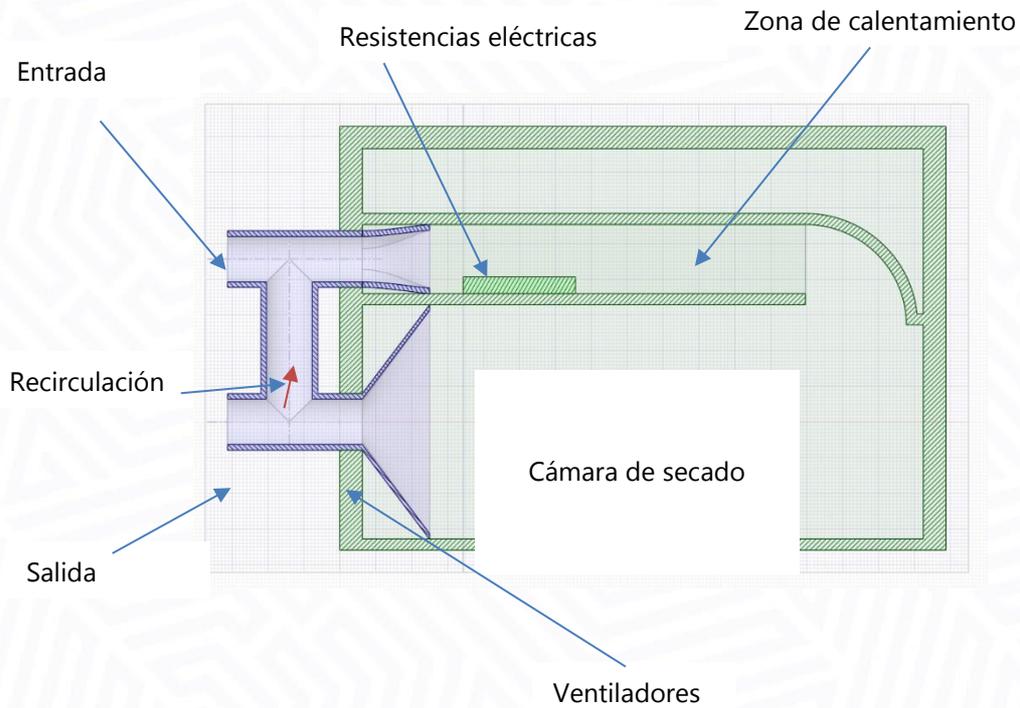
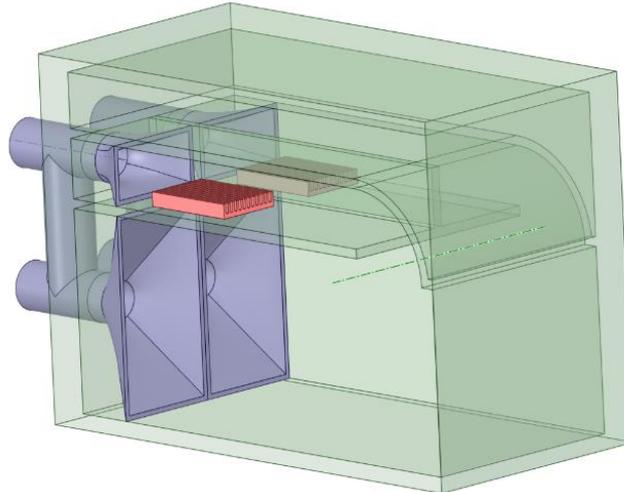


Figura 2. Esquema del sistema de secado propuesto a evaluar mediante simulación CFD.



**Figura 3.** Dibujo isométrico de la reconversión de la cámara de secado.

### *Modelo de Simulación CFD.*

Para el modelado CFD del horno de secado propuesto se utilizó el software ANSYS Fluent. Para ello la geometría del horno se creó utilizando el software de modelado CAD Spaceclaim. Para crear el dominio del fluido se utilizó la herramienta de extracción de volumen. Las propiedades termo físicas del aire se asumieron en base a las propiedades por default de la base de datos de Fluent [3]. La densidad se asumió como constante. Para la creación de la maya del dominio del fluido se utilizó una malla tetraédrica. Se utilizaron los modelos de energía y k-epsilon, con mejora en las paredes. Las condiciones de frontera fue paredes perfectamente aisladas, velocidad de entrada de aire de 1 m/s, una salida ventilada con presión 0. El material de las resistencias se asumió como aluminio y con una generación de calor de 5 kW<sub>th</sub> por cada resistencia. Los ventiladores colocados en el extremo de la campana de extracción se asumieron con un caudal de 2000 cfm (3398 m<sup>3</sup>/hr) con un alabe de 20°, un  $\Delta P = 472.7 Pa$  activado por un motor de 1 hp.

### *Resultados.*

Los resultados obtenidos a partir de las simulaciones numéricas CFD permiten analizar el comportamiento del flujo de aire y la distribución de temperatura al interior de la cámara de secado. La Figura 4a muestra las líneas de corriente del aire al interior de la cámara de secado. Se observa que el flujo de aire presenta un patrón de flujo turbulento en la cámara de secado con una velocidad entre 1-3 m/s.

La Figura 4b muestra los vectores de velocidad, evidenciando que la velocidad del aire es mayor en la zona de recirculación después de los ventiladores.

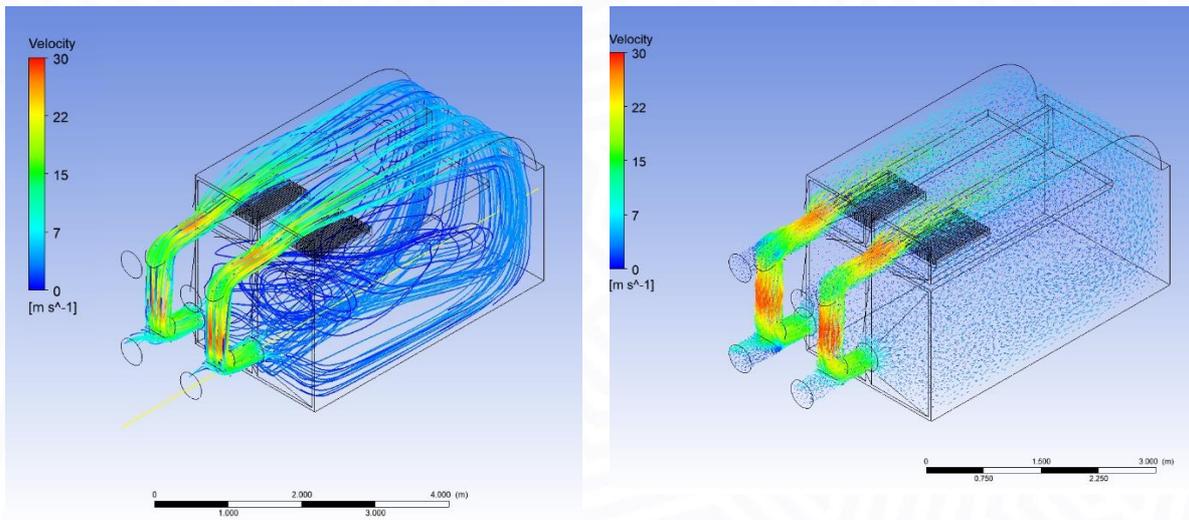


Figura 4. a) líneas de corriente del aire al interior de la cámara de secado. b) Vectores de velocidad de la cámara de secado.

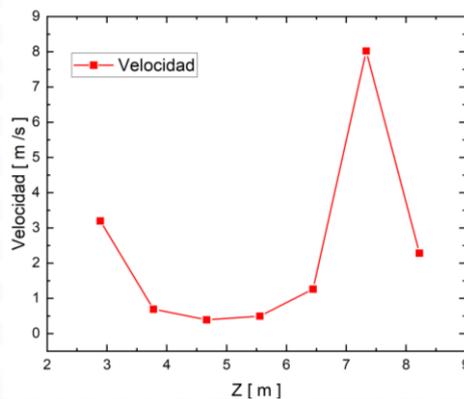


Figura 5. Perfil de velocidades en la cámara de secado en la línea trazada en la Fig. 4a.

Las Figuras 6 y 7 muestran la distribución de la temperatura en diferentes vistas de corte del horno de secado, Debido a que solo se presentan los resultados debido al precalentamiento de las resistencias eléctricas, se observa que la temperatura promedio en la cámara de secado es de 34 °C asumiendo una temperatura ambiente de 25 °C. Los resultados muestran que se crea una sección de estancamiento en lo alto de la cámara de secado, reduciendo la circulación del aire en esta región. Debido a que los cambios de densidad en el aire por efectos del calentamiento fueron descartados en este modelo, se observa una zona fría en lo alto de la cámara de secado. Sin embargo, en la realidad esto ocurre de manera diferente debido al cambio de densidad por el calentamiento del aire, el cual tiende a subir por convección natural.

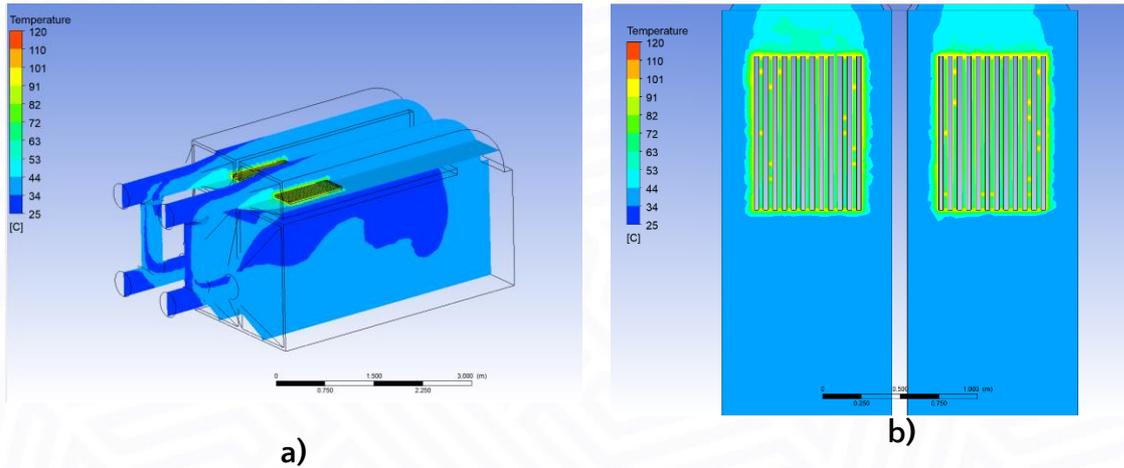


Figura 6. a) líneas de corriente del aire al interior de la cámara de secado. b) Vectores de velocidad de la cámara de secado.

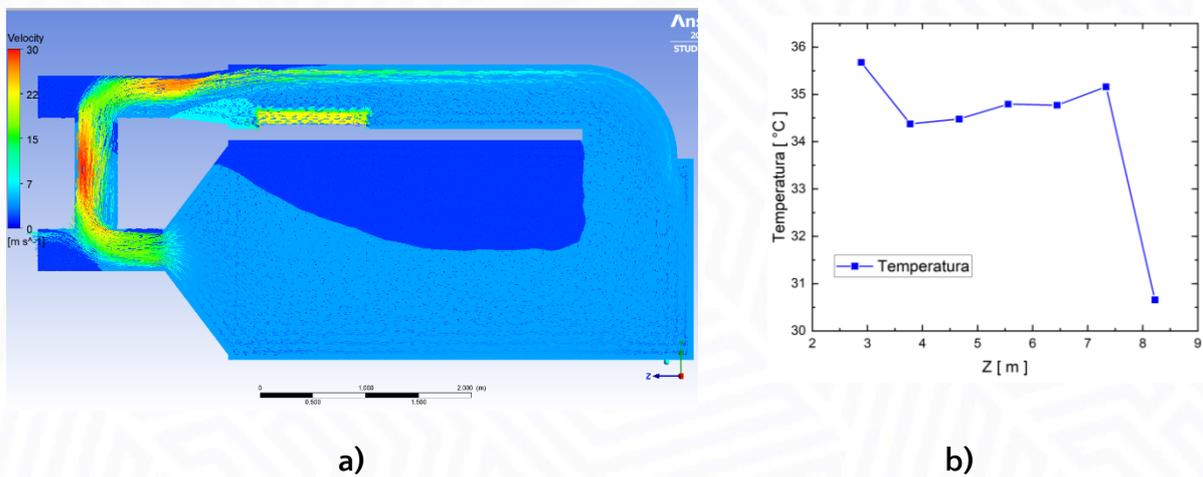


Figura 7. a) Vista de corte, distribución de temperatura en la cámara de secado y vectores de velocidad. b) curva de temperatura de una línea de corte en la cámara de secado para una  $T_{amb} = 25^{\circ}C$ .

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo recibido mediante el proyecto 319456 "Modelo transdisciplinar para el bienestar de las comunidades agrícolas y rurales de Nayarit a través de la incorporación de tecnologías solares, hacia la sostenibilidad" del fondo CONACYT PRONACES FOPO4.

### Referencias

Therdthai N, Zhou W, Adamczak T. Two-dimensional CFD modelling and simulation of an industrial continuous bread baking oven. *Journal of Food Engineering* (2003) 60 211-217

Wong S, Zhou W, Hua J. Improving the efficiency of food processing ovens by CFD techniques. *Food Manufacturing Efficiency* (2006) 1 35-44

Verboven P, Scheerlinck N, Nicolai B. Computational fluid dynamics modelling and validation of the temperature distribution in a forced convection oven. *Journal of Food Engineering* (2000) 43 61-73.