

6 al 10 de noviembre de 2023

Optimización de un deshidratador solar mixto tipo túnel, con pruebas de agua y simulación numérica

Daniel Hernández Tamayo^{a*}, Octavio García Valladares^b, Alfredo Domínguez Niño^b, Jean Fulbert Ituna Yudonago^c

^a Posgrado del Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, México, hetad@ier.unam.mx

^b Instituto de Energías Renovables, UNAM, Temixco, México

^c Ingeniería en Aeronáutica, Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo, Tolcayuca, México.

Resumen

El objetivo de este trabajo es la mejora del deshidratador solar mixto tipo túnel. El secador solar recibe calor a través de la radiación directa que incide sobre la superficie transparente de las paredes del túnel y por el aire que es calentado con radiación solar mediante un sistema de calentamiento de aire, que consta de cuatro colectores solares de placa plana conectados en serie a un ventilador accionado con paneles fotovoltaicos que direcciona el aire caliente al interior del túnel. Se llevaron a cabo pruebas en donde se secaron 12 kg de chilacayote, a 3 flujos máxicos del ventilador (0.09, 0.072 y 0.047 kg/s) y se obtuvieron cinéticas de secado en base húmeda para cada uno (una cinética al inicio, a la mitad y al final del túnel) obteniendo humedades finales del 10%, 12% y 13.2% en tiempos de secado de 7, 8, 10 h respectivamente. Se realizó una simulación numérica en estado estacionario en ANSYS fluent con los datos obtenidos en las pruebas experimentales, utilizándose los flujos de entrada y temperatura de entrada al túnel. Una vez realizadas las simulaciones se obtuvieron los perfiles de velocidad dentro y a la salida del túnel para observar el comportamiento del aire sobre las charolas de secado, y así poder hacer cambios para lograr la mejor distribución de este.

Palabras clave: energía solar; deshidratador solar mixto; secado solar; optimización; simulación numérica.

6 al 10 de noviembre de 2023

Abstract

The objective of this work is the improvement of the tunnel-type mixed solar dehydrator. The solar dryer is heated by direct radiation on the transparent surface of the tunnel walls and by air heated by solar radiation through an air heating system, which consists of four flat plate solar collectors connected in series to a fan driven by photovoltaic panels that directs the hot air into the tunnel. Tests were carried out where 12 kg of Chilacayote were dried, at 3 fan air mass flows (0.09, 0.072 and 0.047 kg/s), and drying kinetics were obtained for each one (one kinetic at the beginning, in the middle and at the end of the tunnel) obtaining final humidities of 10%, 12% and 13.2% in drying times of 7, 8 and 10 h respectively. A numerical simulation was carried out in steady state in ANSYS fluent with the data obtained in the experimental tests using the inlet flows and inlet temperature to the tunnel. Once the simulations had been carried out, the velocity profiles were obtained inside and at the outlet section of the tunnel to observe the behavior of the air on the drying trays, and thus be able to make changes to achieve the best air distribution.

Keywords: solar energy; mixed solar dehydrator; solar drying; optimization; numerical simulation.

Introducción

La demanda de productos secos ha ido aumentando no solo en productos agrícolas como lo es el maíz, arroz, garbanzo, etc., sino también en la industria, ya que el secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite que muchos materiales, biológicos o no, sean más adecuados para su manejo. En especial para los alimentos se usa como técnica de preservación ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua [1]. Los productos alimenticios, particularmente las frutas y verduras requieren aire caliente en el rango de temperatura de 45-60 °C para un secado efectivo, es decir, el secado de los productos para mantener con poca afectación sus propiedades comestibles y nutritivas, en particular las proteínas y algunos minerales [2]. En los países tropicales, el secado de productos agrícolas se ha llevado a cabo al aire libre. La desventaja del secado al aire libre es que la velocidad de secado lenta, así como pérdidas por ataques de insectos, animales y contaminaciones microbianas. Como resultado, la calidad de los productos es muy pobre y no pueden competir en el mercado internacional [3].

Metodología

Se realizaron pruebas secando chilacayote a diferentes flujos de aire y se obtuvieron las cinéticas de secado. Adicionalmente, se realizó la simulación

6 al 10 de noviembre de 2023

numérica en ANSYS fluent en la cámara de secado del deshidratador tipo túnel, para poder observar la distribución del flujo del aire dentro de la misma.

Instrumentación

Las mediciones de temperatura e irradiancia se realizaron cada minuto, al igual que las mediciones de flujo de aire a la entrada y de la humedad del ambiente dentro y fuera del secador; las mediciones a la salida del flujo de aire se hicieron cada 15 minutos, la ubicación de los sensores se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Ubicaciones de sensores de temperatura, humedad, flujo e irradiancia.

Descripción del equipo

El deshidratador solar tipo túnel consta de cuatro colectores de aire conectados en serie (cada uno con un área de 1.8 m²), acoplado a un ventilador de 500 W de corriente directa con un arreglo de sistemas fotovoltaicos, el cual manda el aire caliente de los colectores al interior del secador. La cámara de secado tipo túnel mide aproximadamente 5.50 m y tiene una capacidad para 40 charolas de aluminio .43 m x .63 m.

Pruebas en el secador tipo túnel con chilacayote

Se llevó a cabo el secado de chilacayote, para ello se llenó el secador con 300 gramos (± 20 gramos) en rebanadas de 5 mm en cada charola (Figura 2a), dando un total de 12 kg de chilacayote a secar. Posteriormente se probaron las velocidades del ventilador de 4000, 3000 y 2000 rpm, (0.09, 0.072 y 0.047 kg/s) y se sacaron tres cinéticas de secado para cada velocidad (una cinética al inicio, a la mitad y al final del túnel como se puede mostrar en la Figura 2b). Se obtuvieron eficiencias de secado del 10%, 9% y 5% y eficiencias en los colectores de aire del 45%, 35% y 42% respectivamente.

Se obtuvieron las cinéticas de secado y se compararon las dos con la mayor y menor velocidad del ventilador, ver Figura 3, en donde se puede observar que la cinética de secado con mayor flujo másico se secó 3 horas más rápido que las pruebas cuando se utilizó un flujo másico menor.

6 al 10 de noviembre de 2023



Figura 2: cinéticas de secado en el túnel

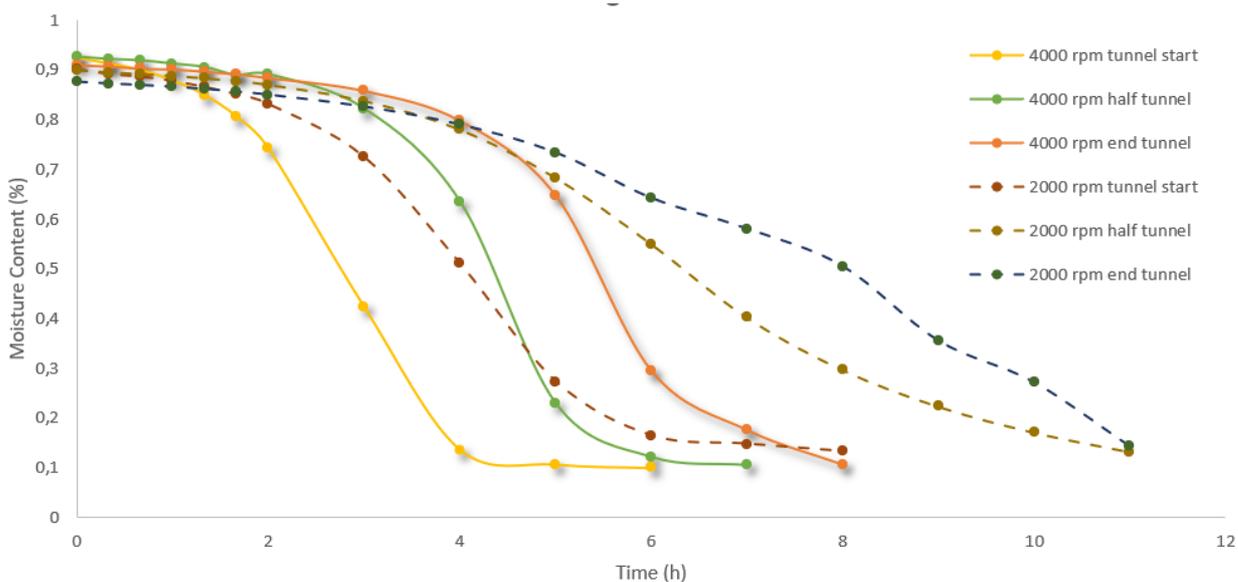


Figura 3 Comparación de cinéticas de secado en el túnel

Simulación ANSYS fluent del secador tipo túnel

Se realizó una simulación para validar el flujo a la salida del secador, con las pruebas realizadas con charolas. Para ello se inició dibujando y mallando el secador tipo túnel como se muestra en la Figura 4, se obtuvo un total de 408268 nodos y 2090056 de elementos.

6 al 10 de noviembre de 2023

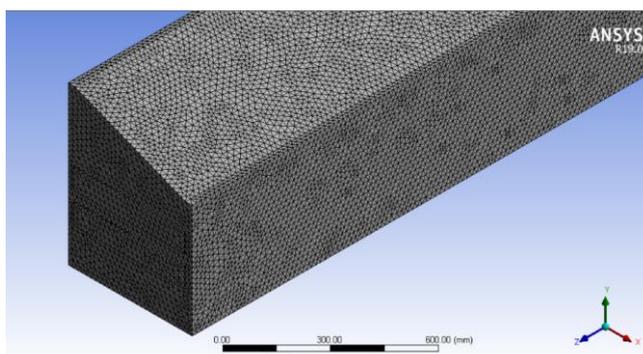


Figura 4. Malla del secador solar tipo túnel

Se obtuvieron las condiciones de frontera en la entrada, para las cuales se midió la velocidad en el difusor para la parte superior del difusor y para la parte inferior del mismo, usando un promedio de las velocidades de entrada. También se usó la temperatura promedio a la que el secador trabajó durante el día de la prueba. Se obtuvieron los perfiles de velocidades a la salida que se pueden observar en la Figura 5 en rangos de colores en donde el color amarillo va en el rango de 2.3 m/s hacia el color rojo en rango de velocidades de 3.08 m/s, los cuales son muy parecidos a los obtenidos en las pruebas reales con el secador (Tabla 1).

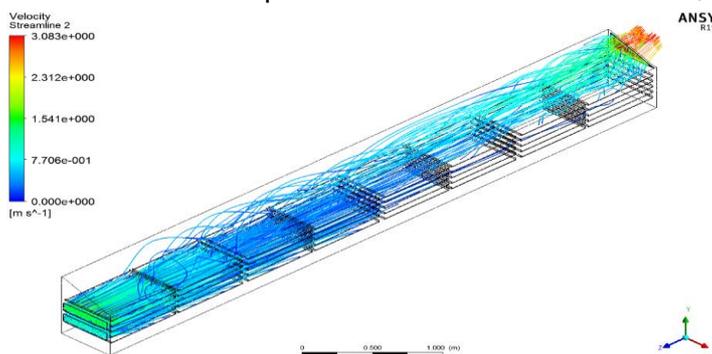


Figura 5. Perfil de velocidad vista isométrica

Tabla 1 Velocidades a la salida en la experimentación

14 de Febrero 4000 Revoluciones	
Hora	Velocidad a la salida del secador (m/s)
11:00:00 a. m.	2.57
11:20:00 a. m.	2.7
11:40:00 a. m.	2.55
12:00:00 p. m.	2.68
12:20:00 p. m.	2.61
12:40:00 p. m.	2.56
01:00:00 p. m.	2.54
01:20:00 p. m.	2.58
01:40:00 p. m.	2.71
02:00:00 p. m.	2.62
02:20:00 p. m.	2.58
02:40:00 p. m.	2.62
03:00:00 p. m.	2.52
Promedio	2.60

Se realizaron dos simulaciones más en las cuales se modificó la salida de aire del secador tipo túnel. En el primer caso se movió la salida del túnel a la mitad del túnel (Figura 6) donde se puede observar que el flujo pasa por las charolas y ya no sube hasta la parte superior del túnel de secado.

6 al 10 de noviembre de 2023

Se realizó otra simulación adicional en donde se movió la salida justo en la última charola del túnel como se muestra en Figura 8, en donde se puede observar que de la misma manera que a la mitad del túnel el flujo de aire cubre a la mayoría de las charolas manteniendo la velocidad de salida como en la primera simulación. Lo que se pretende con esta simulación es realizar la experimentación cambiando la salida al centro del secador en la cara xy para observar el comportamiento, el cual por lo visto en la simulación sería un secado más homogéneo.

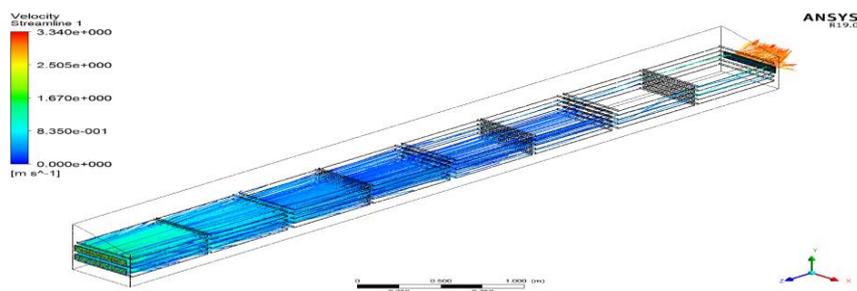


Figura 6. Perfil de velocidad vista isométrica

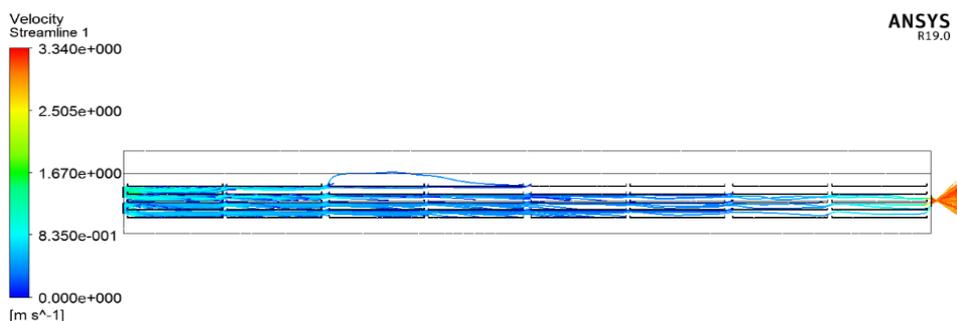


Figura 7. Perfil de velocidad vista eje x

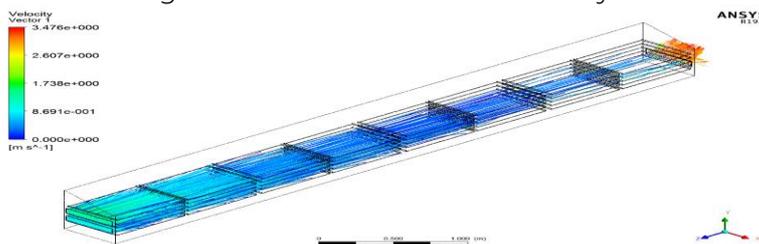


Figura 8. Perfil de velocidad vista isométrica

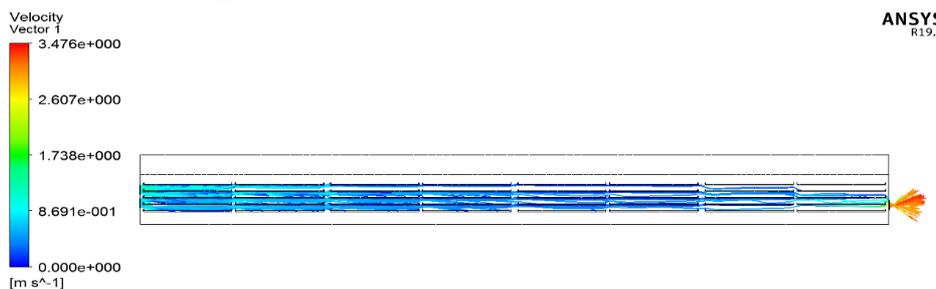


Figura 9. Perfil de velocidad vista eje x

6 al 10 de noviembre de 2023

Conclusiones

El contenido de humedad final del Chilacayote fue de 10.8 % con un flujo masico de aire 0.09 kg/s y 8 h de secado con una eficiencia de secado de 9.56 %. Para el flujo 0.047 kg/s se obtuvo un contenido de humedad final de 13.53 % con 11 h de secado y una eficiencia de secado de 5.04 %.

La simulación numérica nos mostró el comportamiento del flujo de aire al interior del deshidratador solar tipo túnel y con ello permite realizar cambios a la salida del túnel para mejorar la distribución del flujo de aire sobre las charolas.

Se diseñó, construyó y evaluó un deshidratador solar tipo túnel para la deshidratación de productos agrícolas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se pueden secar diferentes tipos de productos lo que resulta en ahorros sustanciales de combustible y beneficios ambientales.

Agradecimientos

Proyecto PAPIIT IN103021 (secado solar de productos agropecuarios) y proyecto CONACYT 319188 Centro comunitario para el deshidratado solar de productos agropecuarios de pequeños productores indígenas de Hueyapan, Morelos

Referencias

- [1] Abarca, A., & Aldaz, M. (24 de Enero de 2014). Diseño y construcción de un secador rotatorio para la obtención de escamas de pet. Riobamba, riobamba, Ecuador.
- [2] Kant, K., Shukla, A., Sharma, A., Kumar, A., & Jain, A. (2016). Thermal energy storage based solar drying systems: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86-99.
- [3] Lakshmi, D., Muthukumar, P., Layek, A., & Nayak, P. K. (2019). Performance analyses of mixed mode forced convection solar dryer for drying of stevia leaves. *Solar Energy*, 507-518.