



21 al 25 de noviembre de 2022

EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN DESHIDRATADOR SOLAR TIPO TÚNEL MIXTO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACIÓN

Daniel Hernández Tamayo² Rodolfo Pérez Espinosa³ Octavio García Valladares¹

¹Instituto de Energías Renovables, UNAM. Temixco, Morelos, C.P.62580, México.

² Posgrado de Instituto de Energías Renovables, UNAM. Temixco, Morelos, C.P.62580, México,

hetad@ier.unam.mx

³I+D+I Solar S.A. de C.V., Xochitepec, Morelos, C.P.62790, México,

Resumen

El objetivo de este trabajo es la evaluación térmica de un 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 directa mediante un sistema de calentamiento de aire, que consta de tres colectores solares de placa plana conectados en serie, conectados a un ventilador que direcciona el aire caliente al interior del túnel. El deshidratador solar se puede utilizar para el secado de diferentes productos agropecuarios y tiene 40 charolas con área total de 10.8 m² donde se colocan los productos a deshidratar.

El deshidratador solar tipo túnel mide 5.5 m de largo por 0.5 m de ancho con una altura promedio de 0.53 m. Para su evaluación fue instrumentado para tener un monitoreo dentro y fuera del túnel de las siguientes variables: radiación solar, temperatura, humedad relativa y flujo del aire. Las pruebas de evaluación en el deshidratador solar mixto tipo túnel obtuvieron temperaturas en su interior entre 50 °C y 75 °C con una irradiancia promedio de 914 W/m² y un flujo másico de aire de 0.053 kg/s. Se evaluará el desempeño térmico del sistema sin y con carga siendo para propósitos de evaluación experimental agua la carga a evaporar.

En este deshidratador es posible llevar a cabo el proceso de secado, ya que opera dentro del intervalo de temperaturas recomendado para realizar el secado de productos agropecuarios. Cabe mencionar que el acoplamiento de los calentadores



21 al 25 de noviembre de 2022

solares para el calentamiento de aire en convección forzada incrementa la energía que se tiene dentro del túnel mejorando su rendimiento y capacidad.

Palabras clave: energía solar; deshidratador solar mixto; secado solar; evaluación térmica.

Abstract

The objective of this work is the thermal evaluation of a tunnel-type mixed solar dehydrator. The solar dryer receives heat through direct radiation that falls on the transparent surface of the tunnel walls and through the air that is heated with direct solar radiation through an air heating system, which consists of three flat plate solar collectors connected in series to a fan that directs hot air into the tunnel. The solar dehydrator can dry different agricultural products and has 40 trays with a total area of 10.8 m² where the products to be dehydrated can be placed.

The tunnel-type solar dehydrator measures 5.5 m long by 0.5 m wide with an average height of 0.53 m. For its evaluation, it was instrumented to monitor the following variables inside and outside of the tunnel: solar radiation, temperature, relative humidity, and volumetric flow rate. The evaluation tests in the tunnel-type mixed solar dehydrator obtained internal temperatures between 50 °C and 75 °C with average radiation of 914 W/m² and a mass flow of air of 0.053 kg/s. In addition, the thermal performance without and with load will be evaluated, with water being the load to be evaporated for experimental purposes.

This dehydrator can carry out the drying process since it operates within the range of temperatures recommended for drying agricultural products. It is worth mentioning that the coupling of forced convection solar heaters for air heating increases the energy inside the tunnel, improving its performance and capacity.

Keywords: solar energy; mixed solar dehydrator; sun drying; thermal evaluation.

Introducción

El desarrollo económico y social de los países dependen de los recursos energéticos y en este sentido, México tiene un gran potencial en cuanto al uso de energías alternativas; como es el caso de la energía solar. A pesar de algunas barreras, se ha predicho que las tecnologías de energía renovable son una estrategia adecuada para el secado de alimentos que trae algunos beneficios tales como bajo costo, alta eficiencia, mayores oportunidades de empleo, etc. [1].



21 al 25 de noviembre de 2022

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 [2].

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 general se mantienen la mayor parte de los nutrientes, en particular las proteínas y algunos minerales [3]. En los países tropicales, convencionalmente, el secado de productos agrícolas se ha llevado a cabo al aire libre. La desventaja del secado al aire libre es la transferencia incontrolada de calor al producto y 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 [4].

Metodología

En este trabajo se realizó la evaluación térmica de un deshidratador solar tipo túnel mixto bajo diferentes condiciones de operación. Las pruebas se llevaron a cabo en el mes de Septiembre y Octubre con un horario de pruebas de 11:00 am hasta las 3:00 pm (cabe mencionar que se tiene dos horas antes y después del medio día solar que fue a la 1:09 pm). Las mediciones de temperatura e irradiancia se realizaron cada minuto; mientras que la de la humedad del ambiente, dentro y fuera del secador se realizó cada media hora.

Instrumentación

Los instrumentos de medición usados durante las pruebas fueron 4 sensores de temperatura pt1000 ($\pm 0.5^\circ\text{C}$), 2 piranómetros kipp & zonen ($\pm 2\% \mu\text{w}/\text{m}^2$), 1 medidor de flujo Sierra Quadra Therm ($\pm 0.5^\circ\text{C}$ y Nm^3/h), 1 medidor de velocidad de aire Extech ($\pm 5\%$) y un medidor de humedad Extech ($\pm 2\%$).

Descripción del equipo

El deshidratador solar tipo túnel consta de tres colectores de aire conectados en serie (cada uno con un área de 2.5m^2), conectado a un ventilador monofásico de $\frac{1}{2}$ Hp el cual manda el aire caliente de los colectores al interior del secador. La cámara de secado está hecha de perfiles de 1" de acero, y en las paredes tiene policarbonato de



21 al 25 de noviembre de 2022

6mm de grosor permitiendo el ingreso de radiación directa al interior de la cámara como se muestra en la Figura 1, así las ganancias de calor al interior son una combinación del calor ganado por el colector solar más el calor que ingresa directamente a través del policarbonato. La cámara de secado tipo túnel mide aproximadamente 5.50 m y tiene una capacidad para 40 charolas de plástico 41cmx50cmx3cm.



Figura 1: Deshidratador solar tipo túnel

Pruebas de secado

Se realizaron dos pruebas en el deshidratador solar; la primera consistió en encender el túnel a las 11:00 am y apagarlo hasta las 3:00 pm, midiendo la temperatura, la irradiancia, el flujo másico y la humedad. La segunda prueba se encendió y se midió lo mismo que la anterior prueba pero en esta se llenó el secador con charolas y con un volumen de 500 ml de agua en cada charola (Figura 2) teniendo un volumen inicial de 20 litros en total.

21 al 25 de noviembre de 2022



Figura 2 Charolas con agua

Resultados

Los resultados de la primera prueba del deshidratador sin producto se obtuvieron temperaturas entre 45 °C y 75°C, con una humedad ambiente de 61.3% con un flujo másico de aire de 0.054 kg/s (Figura 3).

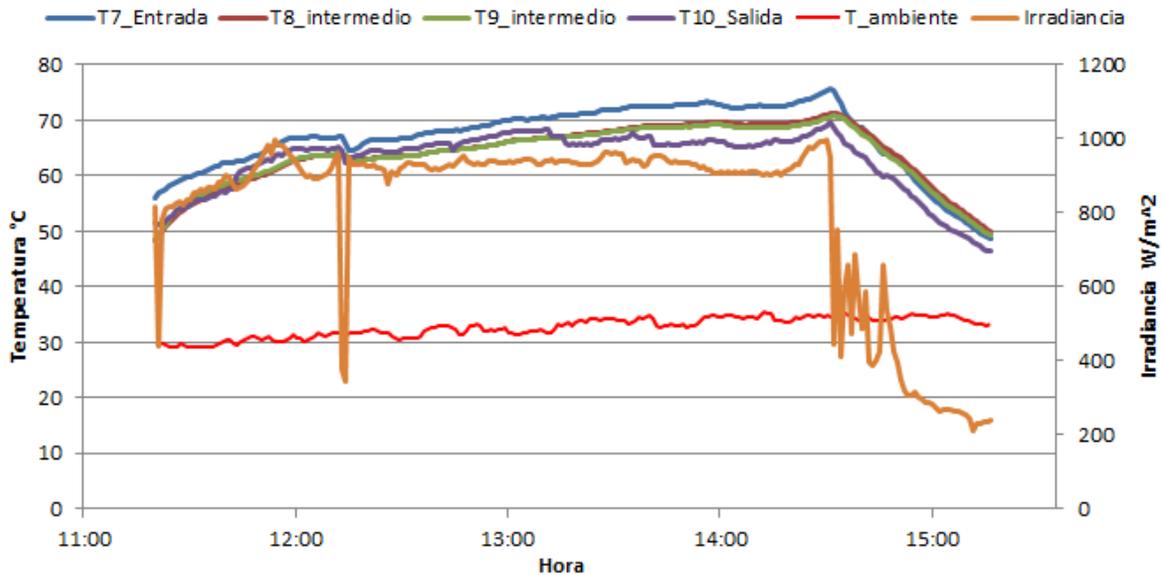


Figura 3 Curvas de temperatura e irradiancia

La eficiencia de los colectores se determinó mediante las ecuaciones (1), (2), (3) y el valor promedio obtenido es de 0.35 (35%).

$$\eta_{col} = \frac{\dot{Q}_{aire_cole}}{\dot{Q}_{colectores}} \quad (1)$$



21 al 25 de noviembre de 2022

$$\dot{Q}_{aire_cole} = \dot{m}Cp(T_{10} - T_7) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{colectores} = GA \quad (3)$$

Dónde: \dot{m} es el flujo másico de aire (kg/s), Cp es el calor específico a presión constante (J/kg°C), G es la irradiancia instantánea (W/m²) y A es el área bruta del colector (m²).

En la Figura 4 se puede apreciar la eficiencia instantánea en el transcurso de la prueba.

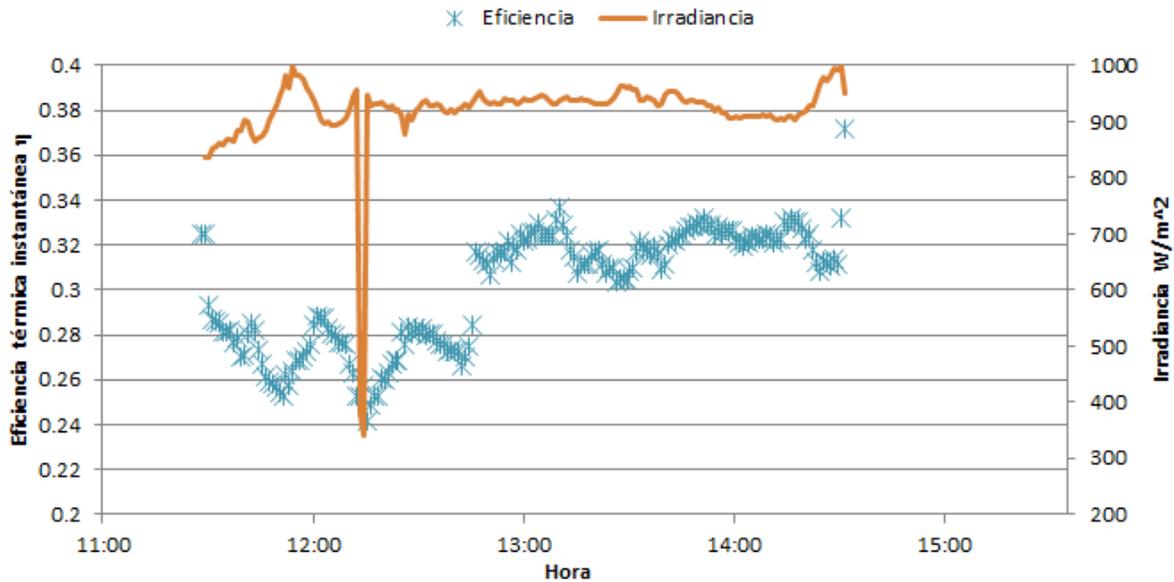


Figura 4 Eficiencia térmica instantánea de los colectores

Los resultados de la prueba 2, cargada con medio litro de agua cada charola se obtuvieron temperaturas entre 45 °C y 65°C como se puede mostrar en la Figura 5, con una humedad ambiente de 48.6% con un flujo másico de 0.053 kg/s, y con una eficiencia de secado calculada con las ecuaciones (3), (4), (5), (6) de 16.15%.

$$\eta_{col} = \frac{Q_{agua}}{Q_{colectores} + Q_{tunelPo1} + Q_{tunelPo2} + W_{vent}} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{agua} = m_T Cp(T_{eva} - T_{inicial}) + m_e L \quad (5)$$



3^{er} Congreso Nacional de Secado,
Cocción y Refrigeración Solar
de Alimentos

21 al 25 de noviembre de 2022

$$\dot{W}_{vent} = IVFt \quad (6)$$

Donde: m_T es la masa total de agua (kg), T_{eva} es la temperatura de evaporación (°C), $T_{inicial}$ es la temperatura del agua al inicio de la prueba (°C), m_e es la masa de agua evaporada (kg), L es el calor latente de evaporación del agua (J/kg), I es la corriente eléctrica (A), V es el voltaje (V) del ventilador y F es el factor de rendimiento del motor del ventilador, t (s) es el tiempo que duro la prueba.

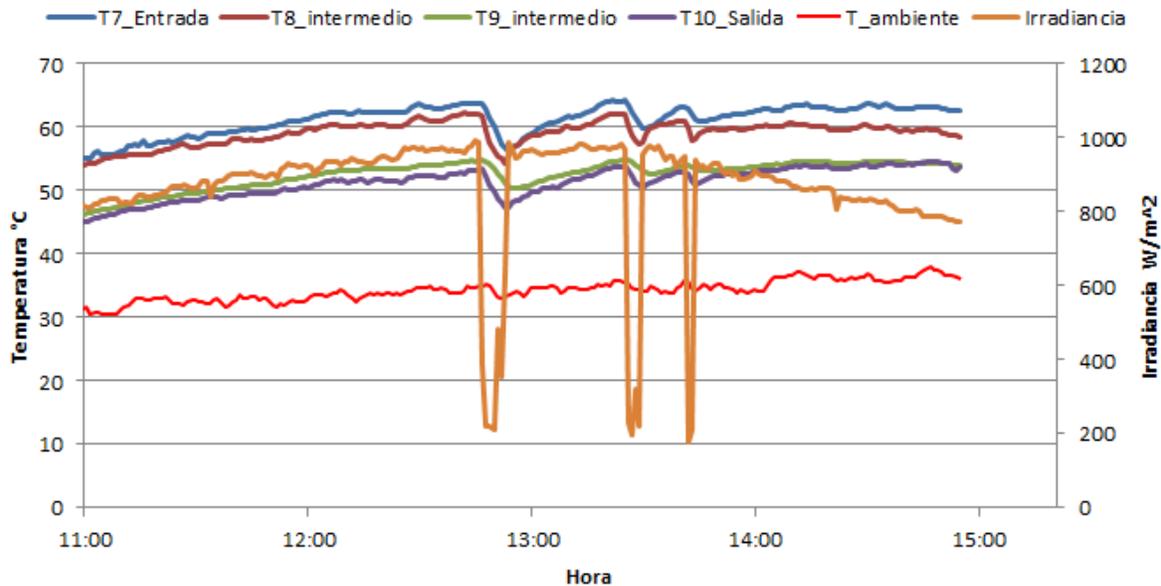


Figura 5 Curvas de temperatura e irradiancia prueba con agua

Al final de la prueba de secado con el agua, se midió el agua contenida en cada charola, para ver la cantidad de agua que se había evaporado durante el transcurso de la prueba. Los valores obtenidos en mililitros se pueden observar en la Tabla 1, en la cual se observa el comportamiento del secador mediante un mapa de colores, donde el color rojo representa en donde más agua se evaporó, (siendo estas como era de esperarse la primera posición de las charolas que reciben radiación directa) y el color verde con tono más profundo donde menos agua se evaporó. Al final los mililitros totales de agua evaporada fueron 9825 ml (9.82 l).

Tabla 1 Agua evaporada en mililitros con Insolación: 12.31 MJ Humedad relativa: 48.6% T_{amb} de 34.25°C

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	446	460	433	448	444	494	437	438
2	107	165	150	158	188	260	180	188
3	169	133	131	169	174	192	187	177



21 al 25 de noviembre de 2022

4	161	160	153	191	129	224	223	142
5	312	293	240	275	241	267	216	270

En la tabla anterior los números del 1 al 8 representan las puertas del túnel de secado, y la fila con los números del 1 al 5 representan la posición vertical de las charolas como se puede apreciar en la Figura 6.



Figura 6 Distribución de charolas en el túnel de secado

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se alcanzan temperaturas ideales para llevar a cabo el proceso de secado de diferentes productos. En las pruebas con agua, la cantidad de agua removida (9.82 l) es buena ya que se evaporó 49.12% del total del agua que se depositó al inicio. Se obtuvo una eficiencia de los colectores promedio de 35% y una eficiencia de secado de 16.15%.

Agradecimientos

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

Referencias

[1] Poggi, F., Firmino, A., & Amado, M. (2018). Planning renewable energy in rural areas: Impacts on occupation and land use. *Energy*, 630-640.

[2] 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.

[3] 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.



21 al 25 de noviembre de 2022

[4] 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.