



Título del artículo.

**Desarrollo de un calentador solar de aire continuo para frutas y verduras frescas**

Título del artículo en idioma Inglés.

**Development of a solar heater with continuous air for fresh fruits and vegetables**

Autores.

Dulce Alejandra Serrano Cruz  
Carlos Alberto Daza Merino  
José Ernesto Daza Merino  
José Luis Martínez Suarez

Referencia bibliográfica:

MLA

Dulce Alejandra Serrano Cruz, Carlos Alberto Daza Merino, José Ernesto Daza Merino, José Luis Martínez Suarez. "Desarrollo de un calentador solar de aire continuo para frutas y verduras frescas". *Tlamati* 6.3 (2015): 36-42. Print.

APA

Serrano Cruz, D. A., Daza Merino, C. A., Daza Merino, J. E. y Martínez Suarez, J. L. (2015). Desarrollo de un calentador solar de aire continuo para frutas y verduras frescas. *Tlamati*, 6(3), 36-42

---

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 30 de Septiembre del 2015

© 2015 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

*TLAMATI*, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAGro. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



## Desarrollo de un calentador solar de aire continuo para frutas y verduras frescas

Dulce Alejandra Serrano Cruz<sup>1\*</sup>  
Carlos Alberto Daza Merino<sup>1</sup>  
José Ernesto Daza Merino<sup>1</sup>  
José Luis Martínez Suarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Tehuacán. Prolongación 1 Sur No. 1101. San Pablo Tepetzingo, Tehuacán, Puebla. C.P. 75859. Tel: +52 238 1062271

\*Autor de correspondencia  
dulce\_151291@hotmail.com

### Resumen

En éste proyecto se desarrolló un calentador solar directo de aire continuo acoplado como fuente calórica para un secador de charolas rotatorias de frutas y verduras frescas, con este sistema se pretende obtener 100 gramos de producto deshidratado durante un tiempo de 2 hrs, equivalente a un total de 10 bolsas de 10 gramos de producto terminado. Los resultados de la eficiencia térmica del sistema se obtuvieron con la simulación en software del flujo de aire y el estudio de termografía que se le practicó al sistema, al mismo tiempo se realizó un comparativo costo-beneficio al utilizar como fuente calórica una resistencia de 1600 Watts y el calentador solar dentro del proceso de secado. Por ultimo con la automatización del sistema se brinda mayor seguridad al usuario y un proceso más fácil de operación, mejorando la productividad de la empresa y obteniendo mejor calidad del producto.

**Palabras Clave:** Calentador solar, dinámica de fluidos, termografía, secado de alimentos.

### Abstract

This project is about a development of a direct solar heater with a continuous air coupled as heat source, for a dryer with rotating trays for fresh fruit and vegetables. With this system it can be obtained 100 grams of dried product during a time of 2 hours, equivalent to a total 10 bags of 10 grams of finished product. Results of thermal efficiency of the system was obtained with the simulation software of air flow. A thermography study was performed to the system, while a comparative of costs- benefits was performed using as a heat source a resistor of 1600 Watts, and solar heater within the drying process. Finally, an automation system with greater security is provided to the user with an easier process operation, improving business productivity and product quality.

**Keywords:** solar heater, fluid dynamics, thermography, dried food

### Como citar el artículo:

Serrano Cruz, D. A., Daza Merino, C. A., Daza Merino, J. E. y Martínez Suarez, J. L. (2015). Desarrollo de un calentador solar de aire continuo para frutas y verduras frescas. México. *Tlamati*, 6(3), 36-42.

## Introducción

En la actualidad el estudio de las energías renovables son una alternativa para satisfacer algunas de las necesidades energéticas, principalmente en el cuidado del medio ambiente y generando ahorros por alto consumos de los mismos.

La energía solar es la más abundante en las distintas épocas del año y se fundamenta en el aprovechamiento de la radiación solar. La radiación solar en la superficie de la tierra/año es de  $152,424 \times 10^{13}$  KWh, donde el consumo mundial es de  $9.5 \times 10^{13}$  KWh. Cada hora llega a la tierra más energía solar que la utilizada por toda la población en un año.

En nuestro país se cuenta con un alto potencial de energía solar, el cual se aprovecha para la generación de energía aplicada a mecanismos que aceleren el uso de energías renovables, algunos son orientados al diseño de estufas solares, calentadores de agua, parques fotovoltaicos, secadores de alimentos solares etc.

El secado es el proceso más antiguo utilizado para la preservación de alimentos, siendo uno de los métodos más comunes vigentes de mayor importancia en todos los sectores para la producción de productos sólidos. El primer secador del que se tiene conocimiento apareció en el siglo XVIII y era utilizado para secar frutas y vegetales. De ahí en adelante los secadores se han estado modernizando. La deshidratación es una operación en la cual tienen lugar la transferencia de calor y la transferencia de masa. Las operaciones de deshidratación son importantes en la industria química y de los alimentos. El objetivo principal de deshidratar fruta es remover el agua del sólido hasta un nivel en donde el crecimiento microbiológico y la deterioración por reacciones químicas sean minimizadas. Para este proceso se usan muchos tipos de secadores, la selección de un tipo en particular es guiada por la naturaleza del producto que va a ser secado, la forma deseada del producto terminado, la economía y las condiciones de operación. Los tipos de

secadores más utilizados en la industria alimentaria son: Secador de tambor, secador rotatorio, secador de lechos fluidizados, secador de charolas, secador de túnel y secador por aspersión.

Cada uno de los secadores en general realiza su proceso de la siguiente manera:

Cámara de secado con charolas fijas o en su caso si es grande el secador utilizan vagones para soportar las mismas.

- Aire caliente que circula en la cámara de secado.
- En algunos casos el producto se mueve en banda transportadora opuesto al flujo de aire.
- Otro sistema es a base de vapor, el cual circula a través de un cilindro horizontal transportando en su interior el producto a secar.

Derivado de lo anterior en el presente trabajo se propone la automatización y el desarrollo de un calentador solar de aire continuo que será adaptado a un secador de charolas rotatorias de frutas y verduras frescas, que sea eficiente y de fácil operación para el usuario generando ahorro de energía, al minimizar el tiempo de secado.

## Materiales y métodos

### Bosquejo general del sistema.

El proyecto esta formado por dos etapas que son, el desarrollo del calentador de aire continuo y la automatización del sistema, la primera etapa esta estructurada bajo las siguientes actividades para su desarrollo:

- Realizar el bosquejo general que representen el sistema.
- Para conocer el comportamiento termico del calentador solar se desarrollo un estudio de dinamica de fluidos.

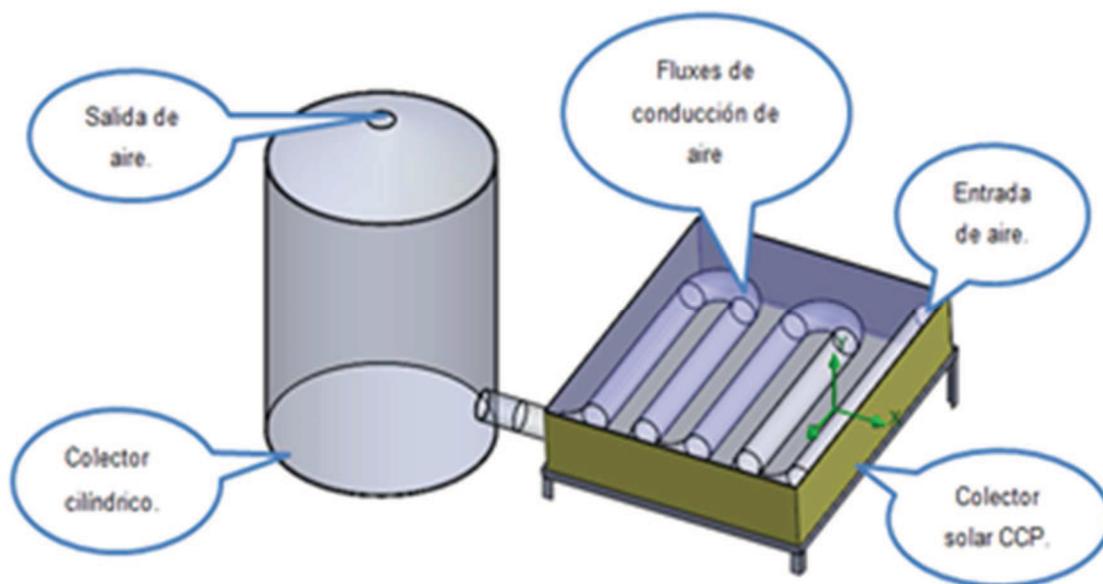


Figura 1. Isométrico del calentador solar de aire continuo

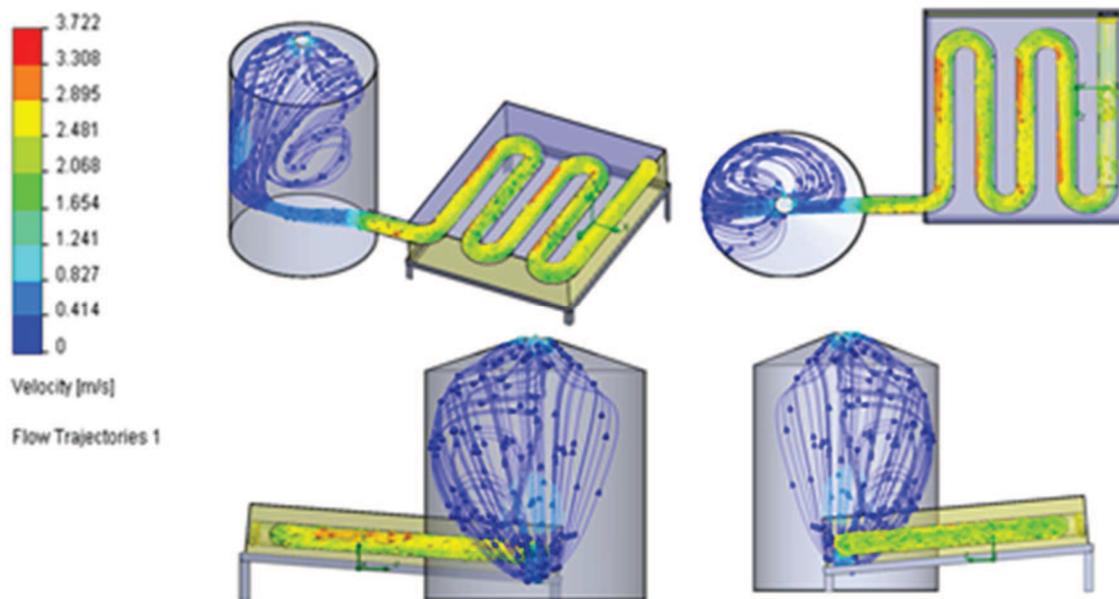


Figura 2. Vistas de la dinámica de fluidos aplicada.

- Realizar la construcción y puesta en marcha.

En la figura 1, se muestra la vista isométrica del calentador de aire el cual consta del colector (geometría rectangular) que será modificado por una geometría cilíndrica para generar mejor el efecto de incidencia solar sobre el absorbente donde circula el aire del exterior, por último esta es compuesta por un colector cilíndrico secundario con la finalidad de mantener de manera constante la temperatura del aire y no existan pérdidas de las mismas.

*Simulación en software del sistema aplicando CFD.*

Para poder obtener el diseño acercado a la realidad se

utilizó una herramienta computacional denominada dinámica computacional de fluidos (CFD) que nos ayuda a predecir las trayectorias vectoriales del flujo de aire al interior del calentador solar de aire continuo durante todo el proceso, asociando los resultados con la homogeneidad de temperatura. Los datos considerados para llevar a cabo la simulación son; velocidad de entrada a 2.5 m/s que es generada por medio de un ventilador axial a 12 volts de c.d., la cual estará circulando al interior de los fluxes, 60°C que es la temperatura máxima durante el proceso de secado, con un porcentaje de humedad relativa en el aire de entrada de 32% que es la que corresponde a la ciudad de Tehuacán. En la figura 2, se observa el resultado de la dinámica de fluidos aplicada al sistema.



Figura 3. Calentador solar de aire continuo

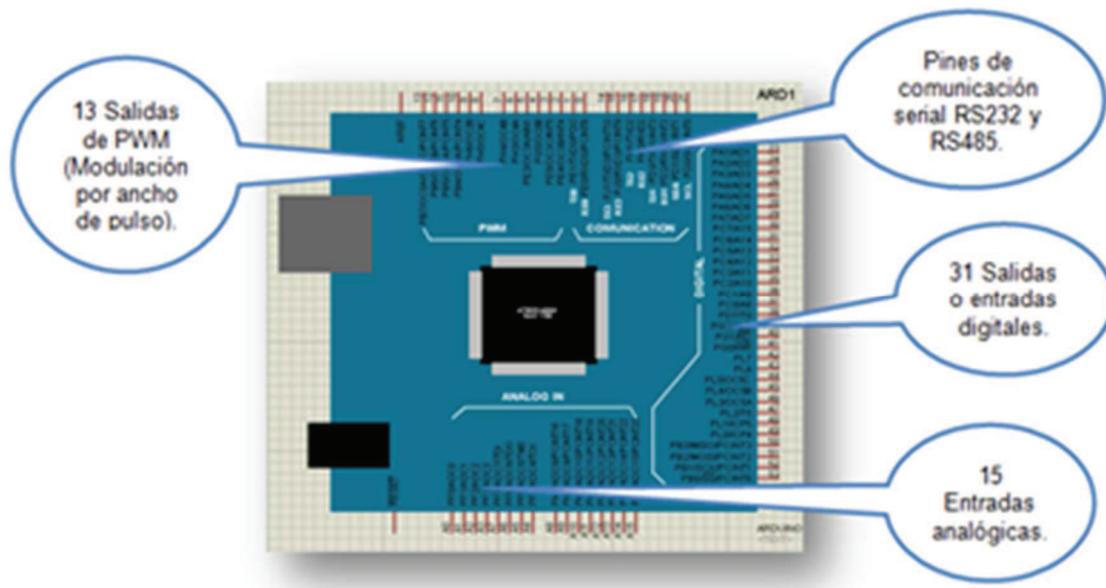


Figura 4. Tarjeta de microcontrolador arduino

**Desarrollo del calentador solar de aire continuo**

Con los resultados obtenidos en el desarrollo de la simulación en software en la figura 3, se observa la estructura final del sistema con todos sus componentes, cabe mencionar que este proyecto está fabricado con materiales reciclados. Los fluxes donde circula el aire de entrada son latas de refresco pintadas de color negro mate que actúan como absorbedor, el colector es de triplay forrado con fibra de vidrio con el objetivo de mantener la temperatura constante, cuenta con una capa de papel aluminio sobre el semicírculo que actúa como material incidente solar sobre el absorbedor, por último el colector cilindrico es de aluminio el cual está situado a la salida, con el objetivo de mantener

constante la temperatura y así alimentar al proceso de secado el volumen de aire necesario durante el proceso.

**Automatización del sistema**

Una vez concluida la primera etapa del proyecto se dio seguimiento a la segunda que corresponde a la automatización del sistema, donde se realizó bajo la plataforma arduino basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo integrado (IDE), diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, cuenta con 31 salidas/entradas digitales, 15 entradas analógicas, 13 salidas PWM y comunicación USB con la

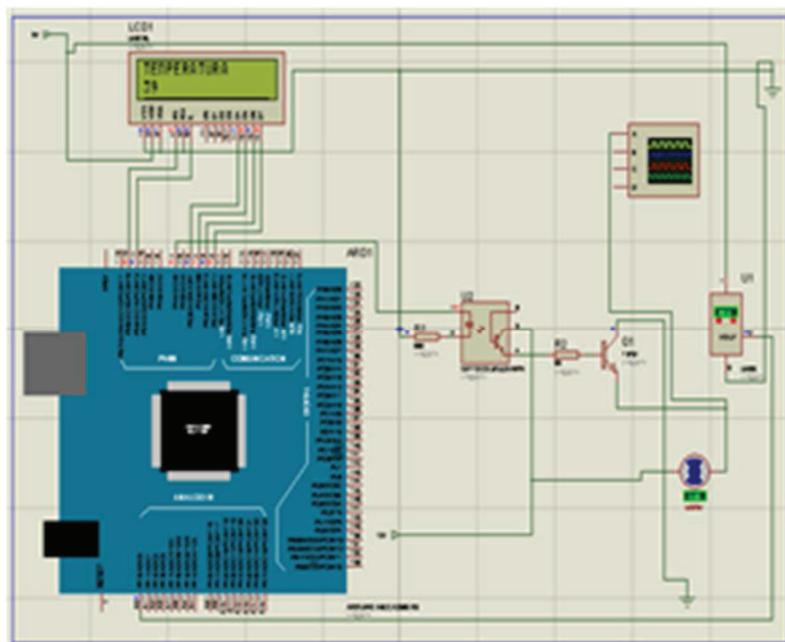
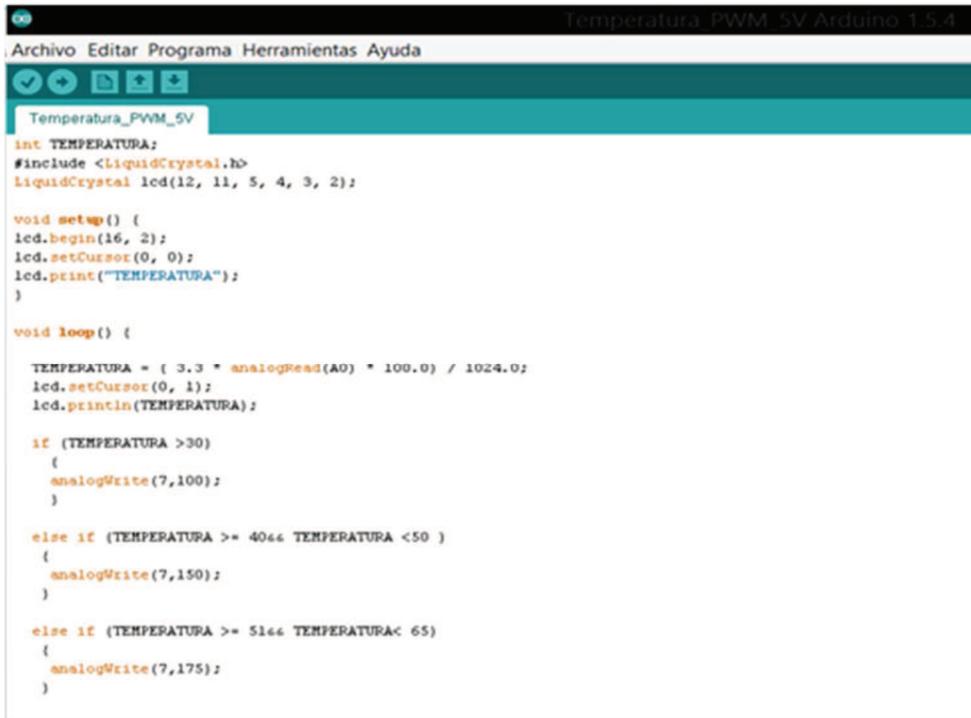


Figura 5. Circuito de automatización del calentador solar de aire continuo



```

Temperatura_PWM_5V
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Temperatura_PWM_5V
int TEMPERATURA;
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("TEMPERATURA");
}

void loop() {
  TEMPERATURA = ( 3.3 * analogRead(A0) * 100.0) / 1024.0;
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println(TEMPERATURA);

  if (TEMPERATURA >30)
  {
    analogWrite(7,100);
  }

  else if (TEMPERATURA >= 40&& TEMPERATURA <50 )
  {
    analogWrite(7,150);
  }

  else if (TEMPERATURA >= 51&& TEMPERATURA< 65)
  {
    analogWrite(7,175);
  }
}

```

Figura 6. Programa cargado a la tarjeta Arduino

computadora para cargar el programa realizado.

En la figura 4 se muestra la tarjeta de programación embebida utilizada para la automatización.

#### Simulación en software del circuito electrónico

Ya considerados los elementos para la implementación de la automatización se realizó la simulación en software del circuito electrónico figura 5, donde aparecen los componentes como; pantalla LCD de 16X2, donde se visualizarán los valores de la temperatura captada por el sistema, un optoacoplador LTV4N25, que tiene como función aislar y proteger la parte digital de sobre corrientes, un transistor TIP31C, como elemento de disparo y control del ventilador que funciona con 12 volts de c.d., un termopar tipo "J"

con rango de 0 a 180°C, que será el elemento que nos dará la temperatura deseada a la salida.

En la figura 6, se muestra el programa realizado que es cargado a la tarjeta Arduino ATMEGA2560, la manera de funcionamiento es por medio de la adquisición de datos de temperatura que tiene como rango de captación entre 40 a 60 °C, entre este parámetro se usan las salidas de PWM de la tarjeta (Técnica de modulación por ancho de pulso) para variar la velocidad r.p.m. del ventilador. Entre más temperatura de captación solar tenga el sistema, el ventilador aumentará la velocidad de flujo y cuando la temperatura descienda la velocidad de flujo disminuirá, esta acción es realizada para que el sistema tenga el tiempo necesario de compensación y no descarguemos toda la temperatura ya que debe ser aire caliente continuo.

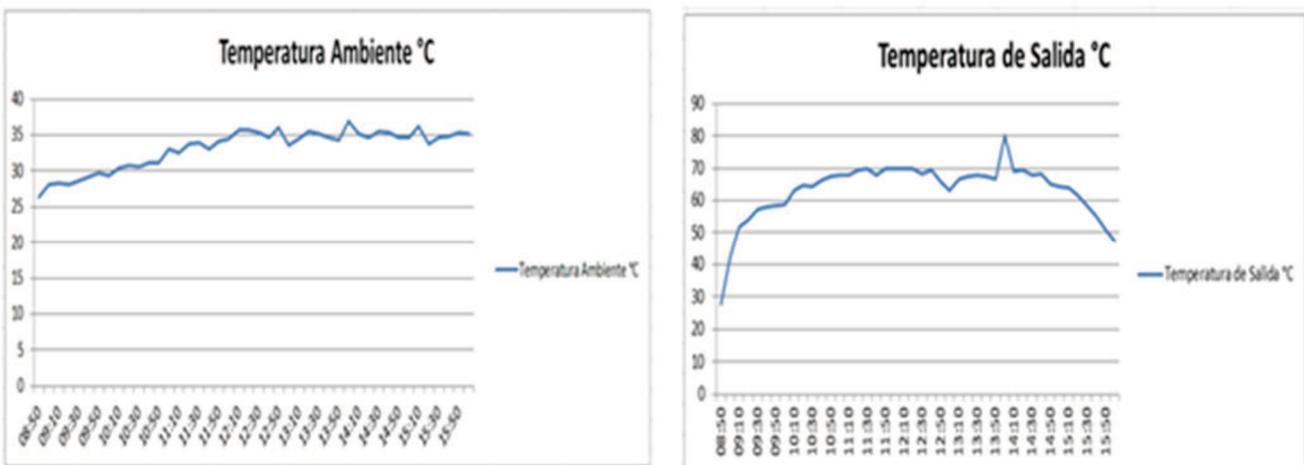


Figura 7. Grafica de temperaturas ambiente y de salida del calentador solar

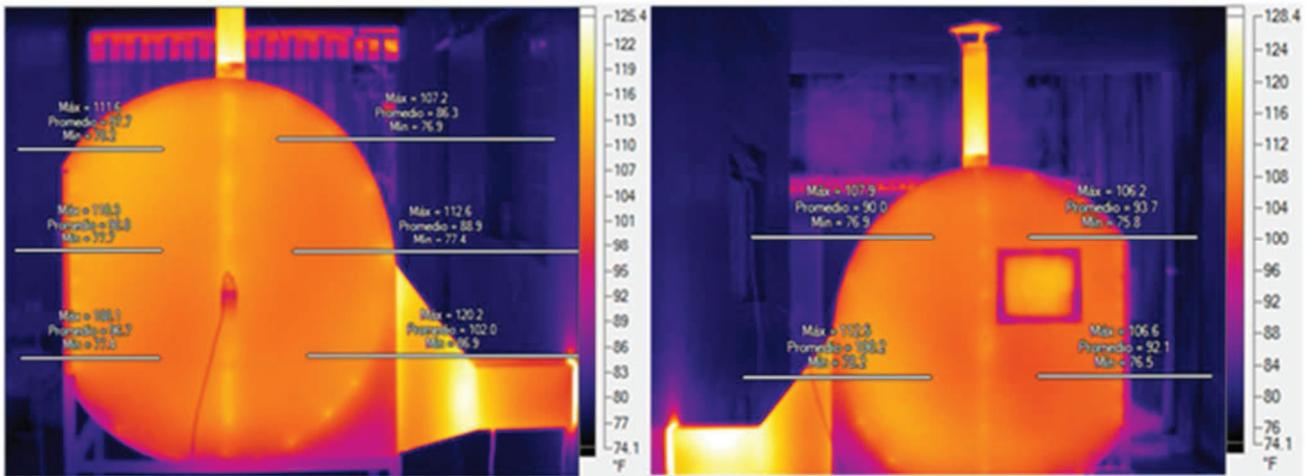


Figura 8. Termografía aplicada al secador de charolas rotatorias

## Resultados y discusión

### *Pruebas realizadas del calentador solar de aire continuo*

En la figura 7, se muestran los datos de las pruebas de captación solar con el sistema ya adaptado al secador de charolas rotatorias, al mismo tiempo se realizó la corrida de secado del producto, tomando como muestra 1 kg manzana fresca (Golden delicious), en rodajas de 2 mm de espesor.

Para validar la experimentación se le aplicó un estudio de termografía al secador de charolas rotatorias (véase figura 8), durante su funcionamiento ratificamos la homogeneidad de temperatura al interior de la cámara de secado, el tiempo del proceso duro 2:30 hrs. Lo que significa que generamos un ahorro considerable ya que con la resistencia de 1600 watts el proceso de secado es de un tiempo de 2:00 hrs. Podemos decir que aprovechando la irradiancia solar en la región de Tehuacán, se pueden realizar varias corridas de secado durante el día de las 9:00 a.m. a las 16:00 hrs.

Por ultimo en la se Figura 9, muestra el producto fresco (imagen a la izquierda) antes de iniciar el proceso tanto de secado como de captación solar, a un costado se observa el resultado final del proceso (imagen derecha), se nota que la fruta esta deshidratada en su totalidad y que el proceso de la temperatura al interior de la cámara de secado es de manera homogénea.

### Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló y automatizó un calentador solar de aire continuo adaptado a un secador de charolas rotatorias como fuente calórica con una capacidad de 1 kg de producto fresco (manzana Golden). Con la ayuda de herramientas de dibujo, termografía y dinámica de fluidos por computadora así como del diseño de circuitos, se logró obtener una temperatura máxima de 80 grados Celsius ideal para el proceso de secado de alimentos, al mismo con la automatización de todo el sistema se brindó mayor seguridad al usuario así como hizo más fácil el pro-



Figura 9. Proceso de secado de la manzana Golden Delicious

ceso de operación, mejorando la productividad de la empresa a la cual se le desarrolló el sistema y obteniendo mejor calidad del producto tiempo con la automatización garantizamos que el sistema mantenga controlada la velocidad de flujo de aire a la entrada. Por tanto es importante dirigir la atención que si se trata de implementar este sistema en otra localidad con diferentes condiciones ambientales (Temperatura ambiente, humedad relativa, presión atmosférica), se recomienda hacer un estudio completo de estas condiciones para volver a calibrar el equipo.

## Referencias

- Badui, D. S. (1983). *Química de los alimentos*. México: Pearson Educación.
- Bettison J. A. y Ress, J. (1991). *Procesado Térmico y Envasado de los Alimentos*. España: Acribia.
- Bonvecchio, A., Safdie, M., Monterrubio, E. A., Gust, T., Villalpando, S. y Rivera, J. A. (2009). Overweight and obesity trends in Mexican children 2 to 18 years of age from 1988 to 2006. *Salud Publica*, 51(4),586-594.
- Butters, J. R., Cowel, N. D. y Brennan, J. G. (1998). *Las operaciones de la Ingeniería de los Alimentos*. España: Acribia.
- Calva, M. A. (2007). *Comparación de Eficiencia Energética entre Sistemas de Secado Horizontal y Vertical*.: México: Instituto Politécnico Nacional.
- Copley, M. J. y Van Arsdell, W. B. (1963). *Food dehydration*.: The Avi Publishing Westport Company.
- De La Peña, V. (1994). *Secado directo e indirecto*. Barcelona, España: : Riera Nadeu S. A.
- Desrosier, N. (1984). *Elementos de Tecnologías de Alimentos*. (2da. Ed.). CECSA.
- Fellows, P. (1994). *Tecnología del Procesado de los Alimentos*. España: Acribia.
- Foust, A. S. (2012). *Principios de Operaciones Unitarias*. México: CECSA.
- Geankoplis, C. J. (2005). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (2da. Ed.). CECSA.
- Green, D. W., Maloney, J. O. y Perry, R. H. (1996)., *Manual del Ingeniero Químico. Tomo II*.: Mc-GRAW-HILL, 1996.
- Hernández-Barreram, L., Tolentino, M. L., Espinosa, J., Ng, S. W., Rivera, J., Popkin, B. M. y Barquera, S. (2008). Energy intake from beverages is increasing among mexican adolescents and adults. *Journal of Nutrition*, 138(12), 2454-2461
- Kasatkin, A. G. (1971). *Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química*. Ciudad de la Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.
- Knoule, F. (1968). *El secado*. Bilbao, España: Ediciones Urno.
- Lewicky, P. P. (1990). Process Engineering and Food Industry Equipments. *Processes of Heat and Mass Transfer*.
- Nava, F., Bonvecchio, A., Safdie, M. S., Gonzalez-Casanova, I., Gust, T., Rivera-Dommarco, J., Jennings-Aburto, N. (2007). Physical Activity During the School Day in Public Primary Schools in México. *Abstract 2nd International Congress on Physical Activity and Public Health*.
- Paredes, V. C. (2012). *Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay*. Paraguay: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.
- Pérez Herrera, A. (2006). *Construcción de un Secador de Charolas Giratorio y su Valoración con Ajo*. Tesis. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Perré, P., Sinclair, A. J., Halmos, A. L. y May, B. K. (2000). Does the First Drying Stage Exist Foodstuff. *Twelfth International Drying Symposium*. Netherlands: The Hague.
- Peter, M. S. (1968). *Plant desing and economics for chemical engineers*. (2da. Ed.).
- Puente, L. A., González, G. A. Camousseigt, I. B. y Saavedra, J. A. (2008). *Automatización de un Secador Convectivo de Aire Caliente para fines de Docencia en Ingeniería de Alimentos*. Valparaíso, Chile: Pontifica Universidad Católica de Valparaíso.
- Román, F. S. (2006). *Diseño de un secador con bomba de calor de doble cámara*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Sandoval, J., Martin, T. y Rafael, J. (2002). *Instrumentación y Control de un Secador de Fruta Tipo Túnel*. Monterrey, México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Secretaría de Salubridad y Asistencia. (1998). *NORMA Oficial Mexicana NOM-174-SSA1-1988, Para el manejo integral de la obesidad*. México: Secretaría de Salud.
- Shamah, T., Villalpando, S., González, T., Hernández, B., Sepúlveda, J. y Rivera-Dommarco, J., (1999). *Encuesta Nacional de Nutrición 1999. Estado nutricional de niños y mujeres en México*. Cuernavaca, Mexico: Instituto Nacional de Salud Pública,
- Trebay, R.E. (2001). *Operaciones de Transferencia de Masa*. (2da. Ed.). Mc Graw-Hill, 2001.
- Van Rhee, C. T. y Verrips, R. (1981). Heat inactivation of Staphylococcus epidermis at various water activities. *Applied Environmental Microbiology*, 41(5), 1128-1131
- Xue, K. (2004). *Optimización del Secado por Aire Caliente de Pera*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.