

SISTEMA DE CONTROL PARA TRES CALENTADORES SOLARES DE AIRE OPERADOS EN PARALELO

CONTROL SYSTEM FOR THREE SOLAR AIR HEATERS OPERATED IN PARALLEL

Felipe de Jesús Moreno García

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
m2203039@itcelaya.edu.mx

Roberto Carlos Salmorán Salgado

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
Roberto.salmoran@itcelaya.edu.mx

José Enrique Botello Álvarez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
enrique.botello@itcelaya.edu.mx

Marcelino Gutiérrez Villalobos

Universidad de Guanajuato Campus Celaya Salvatierra, México
jmgutierrez@ugto.mx

Recepción: 3/octubre/2023

Aceptación: 27/noviembre/2023

Resumen

En este proyecto se presenta el diseño, construcción de los sistemas eléctricos, electrónicos y control para la operación de un secador de alimentos tipo bandejas de convección forzada con aire caliente. El secador es un sistema híbrido que combina las energías solar y eléctrica para calentar aire. El calentamiento solar de este se realiza a través de un módulo de tres calentadores solares de aire conectados y operados en paralelo. El calentamiento eléctrico se logró con tres resistencias aleteadas. Se utilizó un microcontrolador para la adquisición de datos de sensores, control y potencia, así como la visualización de datos en tiempo real. Se realizó el ajuste automático de la temperatura por medio de un sistema de control difuso que gobierna la extracción de calor de los calentadores solares de aire de forma individual o simultánea de los tres calentadores solares y complementa la deficiencia energética con él encendido de las resistencias eléctricas necesarias.

Palabras Clave: bajo costo, control, deshidratación, secador híbrido, energía solar.

Abstract

This project presents the design, construction of the electrical, electronic and control systems for the operation of a forced convection tray-type food dryer with hot air. The dryer is a hybrid system that combines solar and electrical energy to heat air. The solar heating of this is carried out through a module of three solar air heaters connected and operated in parallel. Electrical heating was achieved with three finned resistors. A microcontroller was used for sensor, control, and power data acquisition, as well as real-time data visualization. The automatic temperature adjustment was carried out by means of a fuzzy control system that governs the heat extraction of the solar air heaters individually or simultaneously from the three solar heaters and complements the energy deficiency by turning on the necessary electrical resistances.

Keywords: *low cost, control, dehydration, hybrid dryer, solar energy.*

1. Introducción

La deshidratación de alimentos es operación costosa e industrialmente se implementa con fuentes de energía fósil. Uno de los retos para los tecnólogos es desarrollar equipos que utilicen la energía solar en operación de secado industriales. “El sector alimentario, incluida la agricultura, representa entre el 20 y 35 % (dependiendo de la fuente) del consumo total de energía en todo el mundo a lo largo de todo su ciclo de vida” [Neus Sanjuan, 2014].

Los diseños y operación de los calentadores solares de aire son rígidos y sujetos únicamente a una operación ligada a la oferta de energía solar y la capacidad de absorberla y transferirla de los corrientes de aire que atraviesan estos equipos. “Dado que no siempre es posible cuantificar todas las pérdidas, el uso de coeficientes de energía (Tablas S7-S9) es útil para calcular el consumo de energía real de las secadoras. Los más utilizados son el consumo de energía específico, la eficiencia de uso de energía y la eficiencia térmica” [Neus Sanjuan, 2014].

La contribución de este proyecto es hacer mas flexible y adaptable la operación de los calentadores solares. En el departamento de energías renovables de la Universidad Tecnológica de Ciudad. Juárez se desarrolló “el diseño, los detalles

constructivos y ensayos realizados de un prototipo de un deshidratador solar. El prototipo consta de un calentador de placa plana para el calentamiento de aire, un calentador de agua de tubos evacuados, un intercambiador de calor, un arreglo de conducción para flujo de aire y una cámara de deshidratación. Para obtener un producto deshidratado de buena calidad es necesario pasarle aire caliente a una temperatura entre 45 a 50 grados centígrados” [José Luis Peinado Martínez, 2013]. “De acuerdo con el Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE), el mayor potencial probado para generación de electricidad, es decir, aquel que cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad de su aprovechamiento, se encuentra en las energías eólica y solar” [Energía, 2016].

2. Métodos

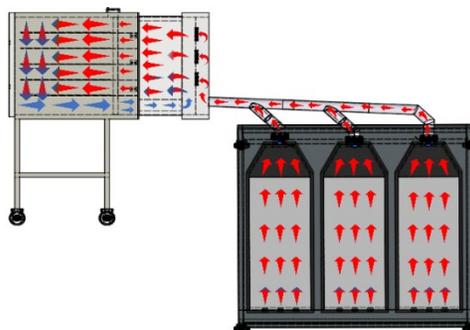
En la actualidad el uso de la energía solar en la industria alimentaria es limitada, debido a la complejidad para concentrarla, almacenarla y disponerla continuamente. Una de las tecnologías que está en desarrollo para utilizar la energía solar son los calentadores de aire. Un calentador solar de aire consiste en un prisma rectangular que en su cara inferior tiene una placa metálica mientras en la parte superior una cubierta de vidrio plano transparente. El sol incide sobre la placa metálica, denominada absorbedor ya que su función principal es absorber y almacenar la energía solar incidente. Una corriente de aire se hace pasar entre el absorbedor y la cubierta de vidrio, en la interfaz aire absorbedor ocurre un fenómeno de transferencia de calor mediado por los mecanismos de conducción y convección. La tasa de calentamiento del aire se estima a través de coeficientes convectivos de calor. En el diseño térmico de este secador se estimó que el calor ofertado por los calentadores solares fuera superior a la carga térmica demanda por la cámara de secado, esta característica permite que no sea necesario operar los tres calentadores simultáneamente. El o los calentadores que no estén operación podrán almacenar energía y aumentar su temperatura. Esta versatilidad en el diseño hace posible implementar esquemas de control sofisticados como la lógica difusa. La lógica clásica y la lógica difusa son usadas en sistemas de control, en la que la principal diferencia es los estados en los que se pueden tomar acciones de

control, respecto a la lógica clásica solo se puede realizar una acción en los 2 estados de pertenencia, mientras que la lógica difusa puede tomar dichas acciones dependiendo de la necesidad y el grado de pertenencia con el que se requiera actuar, teniendo más posibilidades de hacerlo.

En el proceso de secado realizado se administran diferentes fuentes de calor, en este caso proveniente de resistencias eléctricas y absorbedores solares, se tomaron como variables de respuesta el consumo eléctrico del equipo y la temperatura promedio del horno.

3. Resultados

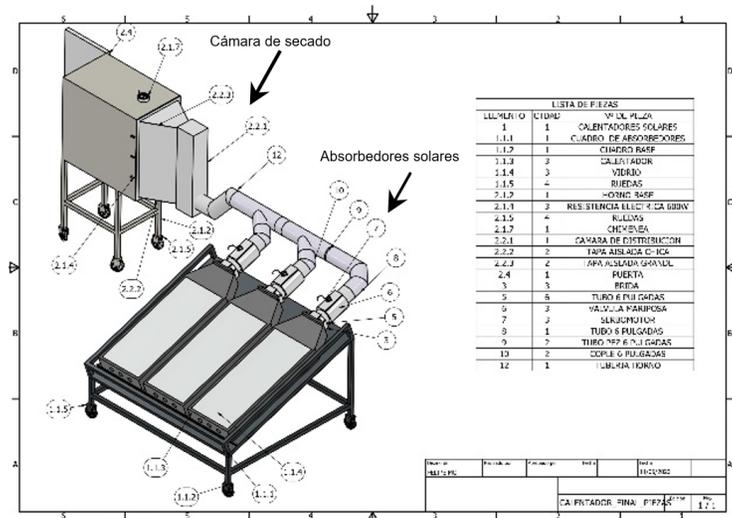
En el diseño de este prototipo se realizaron las etapas: Diseño conceptual, diseño y dimensionamiento geométrico, diseño y dimensionamiento de los sistemas dinámicos y funcionales del equipo, dibujos y diagramas técnicos de los sistemas que integran el equipo. En la figura 1 se muestra parte del diseño conceptual se puede observar en el lado derecho los calentadores solares del aire y en la parte izquierda la cámara de secado.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Diseño conceptual y representación del flujo térmico del aire del prototipo.

En la figura 2 se muestra un bosquejo del diseño geométrico del equipo y el listado de piezas y su colocación geométricas. Destaca la presencia de resistencias eléctrica tubulares aleteadas de 600 W con una tensión de 120 V, también ventiladores para la extracción del aire caliente de los calentadores solares y en la cámara de secado para forzar la recirculación del aire sobre la superficie de las bandejas que contendrá los alimentos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Ensamble y diseño del prototipo.

El cálculo de la red eléctrica se realizó en base a la corriente máxima que puede ser utilizada por el equipo, en la tabla 1 se puede observar la descripción de las necesidades del proyecto y los componentes seleccionados para subsidiar la demanda del fenómeno, en la tabla 2 se muestran las líneas eléctricas utilizadas para alimentar sensores y actuadores, además se calculó la protección eléctrica para cada línea y el calibre del conductor en base a la corriente de paso máxima.

Tabla 1 Caracterización de instrumentación necesaria para el equipo.

MODELO	FENÓMENO	DEMANDA	COMPONENTE	MODELO	RANGO DE TRABAJO
Horno	Flujo de aire	10m3/s	Ventilador	NF-A14-industrialppc-3000-pwm	0 a 6.5 m3/s
Horno	Humedad	10-95%	Sensor de humedad	AHT21	0 a 100%
Horno	Energía calorífica	1600 W	Resistencia	Tubular aletada tipo U	0 a 600 W
Calentadores	Flujo de aire	2-5m3/s	Ventilador	NF-F12-industrialppc-3000-pwm	0 a 4.5 m3/s
Calentadores y horno	Medición de temperatura	20-70 °C	Sensor de temperatura	DS18B20	-55 a (-10 a 85) a 125 °C

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2 Dimensionamiento de la red eléctrica.

LÍNEA	VOLTAJE	CORRIENTE	CONDUCTOR ELECTRICO	PROTECCIÓN ELÉCTRICA
Ventiladores	12 VCC	2.64 A	AWG 18 -10 A	Fusible 3 A
Servomotores	5 VCC	4.5 A	AWG 18 -10 A	Fusible 3 A
Resistencias	127 VCA	18 A	AWG 10 -30 A	ITM 20 A
Pantalla táctil	5 VCC	1 A	AWG 24 -2 A	Fusible 2 A
Sensores	5 VCC	9 mA	AWG 28 -0.5 A	//

Fuente: elaboración propia.

Se desarrolló una interfaz de control a través de una pantalla táctil en la que se establecen las fases de precalentamiento, actualización de la temperatura, arranque, paro y tiempo del proceso de secado, además de interfases de monitoreo donde se puede visualizar la temperatura registrada por los sensores y una animación de los actuadores dependiendo de su estado. Aún se está en la etapa de pruebas del sistema de control difuso, donde se evalúa y diseña una estrategia de control que permita disminuir costos por el uso de electricidad durante el proceso de secado asociada con el complemento de los absorbedores solares al sistema.

4. Discusión

Al usar la radiación solar como principal fuente de energía para calentar aire y deshidratar alimentos orgánicos, se evita el uso de combustibles directamente y se disminuye el consumo de energía eléctrica, lo que significa una baja producción de gases de efecto invernadero. El bajo costo de implementación y mantenimiento es una ventaja que tiene el deshidratar alimentos a través de una cámara de secado, la cual además protege el alimento de ser contaminado por no exponer directamente al sol y al ambiente el producto. En proyectos similares como el de [Hinojosa, 2020], se hace uso de un deshidratador híbrido de frutas para la región Andina, que utilizan tanto energía solar y energía eléctrica, sin embargo es demasiado pequeño para ser usado de forma industrial. Por otro lado, Cruz [2018] realizó el diseño y construcción de la cámara de deshidratación considerando el calor generado por un sistema híbrido fotovoltaico térmico (FV/T) en donde para la prueba a convección forzada, se generaron temperaturas en el interior de la cámara obteniendo un promedio de 48.8 °C, no se realizaron pruebas al deshidratador con carga.

Para demostrar los objetivos establecidos para este proyecto es necesario evaluar la robustez del equipo, se realizarán gráficas de curvas de secado del alimento en donde se documente el tiempo de secado y el porcentaje de humedad. Para el control, se maneja el error de la temperatura medida respecto a la temperatura deseada, visualmente por medio de gráficas además de una bitácora detallada del accionamiento de los actuadores en cada momento del secado para observar el comportamiento del sistema de control. La facilidad de manejo del equipo se va a

evaluar con un examen teórico y práctico sobre la manipulación del equipo. El consumo eléctrico también se va a realizar con el muestreo de la energía utilizada para cada secado dependiendo del sistema de control, en donde se va a graficar la energía utilizada por uso de electricidad y por uso de energía solar.

5. Conclusiones

De este proyecto se puede destacar el uso de un sistema de control para tener un secado de alimentos controlado, en donde se buscó aprovechar una fuente renovable de energía a partir de una idea que busca fomentar la economía circular desde el sector agrícola, el cual es el mas importante y del que dependen todos en el mundo, el desperdicio de alimentos es un problema, buscar la forma de aprovechar aquellos alimentos que solo por ser cultivados ya generaron un impacto ambiental en mayor o menor medida debe tomarse en cuenta en los planes para el desarrollo sustentable de México, desde el punto de vista de este proyecto en base a la rama de ingeniería mecatrónica, se presentó un prototipo funcional que cuenta con una cámara para deshidratar alimentos, un conjunto de 3 absorbedores solares y un sistema de control que gestiona la lógica de uso para las 2 fuentes de energía (solar y eléctrica) y el flujo de aire suministrado para conseguir el secado de alimentos de manera uniforme a un costo comercial competitivo, además de proyecciones en la investigación para el desarrollo de productos de calidad en base a la deshidratación como lo es el trabajo de [Castro, 2023] y [Rubio, 2011].

Los tiempos de secados son menores al usar un sistema de ventilación forzado y por la implementación de un sistema de recirculación de aire dentro la cámara de secado se podrán deshidratar frutas y vegetales en cualquier temporada del año al usar resistencias eléctricas como auxiliares en el proceso de secado.

La capacidad energética de los paneles solares actuales es baja en comparación con la energía requerida para deshidratar un alimento en tiempos relativamente cortos (6 a 8 horas), en la actualidad los paneles solares de alta eficiencia no superan el 23%, además se puede discutir la contaminación generada al medio ambiente después de su vida útil, la contaminación por su manufactura y la comparación entre usar un sistema de absorbedores solares en conjunto con una

fuerza eléctrica auxiliar proveniente esa energía del sistema eléctrico nacional, y su parte renovable fabricada con elementos simples que permiten la captación de la energía solar para convertirla en energía térmica además de comparar su eficiencia.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Castro, M. J. (2023). Evaluación de plantaciones de agave y nopal como productoras de biomasa para la producción de bioetanol y alimento para ganado. Celaya, Guanajuato, Mexico: Instituto Tecnológico de Celaya.
- [2] Cruz, G. J. (2018). Propuesta de cámara de deshidratación a partir de la energía entregada por un Sistema Solar Híbrido. APIZACO, TLAXCALA, Mexico. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/711>.
- [3] Energía, S. d. (2016). Prospectiva de energías renovables 2016-2030. Secretaria de Energía , Mexico. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf.
- [4] Hinojosa, R. F. (6 de mayo de 2020). Diseño de un prototipo de deshidratador híbrido de frutas para la Región Andina. Riobamba, Ecuador. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14091>.
- [5] José Luis Peinado Martínez, R. V. (2013). Deshidratación de alimentos utilizando energía solar térmica. *Culcyt//Tecnología*(50), 99-107. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj6-rzrvvSBAXV0MUQIHfuUAbUQFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F7070085.pdf&usq=AOvVaw1yF4NIUWrcHf9f0cRifQ-h&opi=89978449>.
- [6] Neus Sanjuan, F. S. (21 de enero de 2014). Closing Data Gaps for LCA of Food Products: Estimating the Energy Demand of Food Processing. *Environmental Science & Technology*, 48, 1132-1140. doi:10.1021/es4033716
- [7] Rubio, V. P. (2011). Elaboración de productos deshidratados de nopal verdura. Fundación Produce Sinaloa, AC, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), AC, Unidad Culiacán. <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/publicaciones/104-sustentabilidad/1133-elaboracion-de-productos-deshidratados-de-nopal-verdura>.