DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE AUTOMATIZACIÓN PARA UN PROTOTIPO DE SECADOR POR CAMBIOS CÍCLICOS DE PRESIÓN PARA PRODUCTOS AGRÍCOLAS

Design and implementation of automation for a prototype pressure-cycling dryer for agricultural products

Ana Julyeth Tejedor Díaz [83]
Diego Iván López Velásquez [84]
Juan David Palacios Chávez [85]
Jhonatan Paolo Tovar Soto [86]

RESUMEN

El presente documento detalla el diseño de un sistema de automatización para un secador para productos agrícolas que se basa en ciclos de presión. En el sector agrícola, el secado es una etapa importante en la poscosecha, especialmente para cultivos como el café. En Colombia, los métodos de secado tradicionales tienen limitaciones que dificultan asegurar la calidad necesaria en ciertos productos, lo que a su vez afecta su competitividad en mercados especializados. Frente a este desafío, el proyecto busca desarrollar el diseño de un sistema de control y automatización funcional de un secador por ciclos de presión que permita realizar el proceso de manera eficiente y con un mejor control sobre las variables involucradas. La automatización incluye la opción de manejar el sistema de forma remota y la recolección de datos en tiempo real, lo que facilita el monitoreo del proceso y datos para su posterior análisis. Como resultado, se obtuvieron los planos y el diseño preliminar del prototipo, que establecen las bases para su construcción y validación experimental. Este avance se dirige hacia la implementación de tecnologías de automatización en el sector agrícola, ayudando a optimizar los procesos de poscosecha.

PALABRAS CLAVE: automatización agrícola, postcosecha, presión cíclica, secado.

[83] Ingeniera Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. anjtejedordi@unal.edu.co. CVLAC, ORCID.

[84] Ingeniero Mecatrónico. Universidad Nacional de Colombia. dilopezv@unal.edu.co. CVLAC, ORCID.

[85] Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Nacional de Colombia. jpalaciosch@unal.edu.co. CVLAC, ORCID.

[86] Magíster en Ingeniería – Automatización Industrial. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica. Universidad Nacional de Colombia. jptovars@unal.edu.co. CVLAC, ORCID.

ABSTRACT

This document presents the design of an automation system for an agricultural product dryer based on cyclic pressure variations. In the agricultural sector, drying represents a critical stage in postharvest processing, particularly for crops such as coffee. In Colombia, traditional drying methods present several limitations that hinder the ability to consistently ensure the quality required for certain products, which in turn affects their competitiveness in specialized markets. In response to this challenge, this project aims to develop the design of a functional control and automation system for a cyclic pressure dryer that enables the drying process to be performed more efficiently while providing improved control over the key process variables. The proposed automation system includes capabilities for remote operation and real-time data acquisition, facilitating continuous process monitoring and enabling the collection of experimental data for subsequent analysis. As a result, detailed engineering drawings and a preliminary prototype design were developed, establishing the foundation for the construction and experimental validation of the system. This work contributes to the implementation of automation technologies in the agricultural sector, supporting the optimization of postharvest processing operations.

KEYWORDS: agricultural automation, cyclic pressure, postharvest, drying.

INTRODUCCIÓN

El café constituye uno de los principales productos de exportación en Colombia, por lo que su precio es una variable crítica para la economía nacional, estrechamente ligada a la calidad del grano y sus atributos sensoriales (Parra-Coronado et al., 2020). Dicha calidad depende de factores como el secado, que ocupa un lugar central, pues pequeñas variaciones en este proceso pueden tener efectos significativos sobre la calidad final. Por esto, la implementación de tecnologías innovadoras que optimicen el secado de productos agrícolas como el café resulta fundamental para aumentar la eficiencia y preservar las propiedades. Una de ellas es el secado por cambios cíclicos de presión (CCP), basada en la aplicación alternada de aire de secado sometido a diferentes fases de vacío y presión atmosférica dentro de una cámara. Esto permite acelerar la evaporación del agua y reducir el tiempo total de secado, sin la necesidad de someterlo a altas temperaturas que puedan degradar sus componentes bioactivos (Parra-Coronado et al., 2020).

Con el propósito de integrar estas tecnologías en el Laboratorio de Poscosecha de Granos y Semillas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, se desarrolló un prototipo inicial de secador por cambios cíclicos de presión (CCP) que integra el sistema hidráulico y operacional necesario para generar ciclos alternados de vacío y presión atmosférica dentro de una cámara de secado, con un sistema de control básico basado en Arduino que permitía accionar válvulas electroneumáticas responsables de modificar la presión del aire de secado (Parra-Coronado et al., 2020).

Evaluaciones posteriores evidenciaron la necesidad de fortalecer las capacidades de monitoreo, registro y gestión de la informatización y automatización que permita registrar en tiempo real variables relevantes del proceso. Adicionalmente, se plantea la implementación de una arquitectura para el almacenamiento y gestión de los datos experimentales, basada en una base de datos estructurada y en herramientas que faciliten su acceso e integración con otras aplicaciones. Esta infraestructura permite consolidar la información proveniente de los sensores y habilitar su consulta y procesamiento mediante interfaces de comunicación estandarizadas, contribuyendo así a una mejor caracterización del proceso de secado.

HALLAZGOS O RESULTADOS

Se evaluó inicialmente un refuerzo para la cámara de secado del ensayo de Parra-Coronado et al. (2020) mediante Autodesk Inventor. Aunque su implementación era viable, el factor de seguridad mínimo obtenido (~0.6) resultó insuficiente, por lo

que se descartó esta opción y se justificó el diseño de una cámara nueva. Se desarrolló entonces una cámara en acero inoxidable que, bajo la condición extrema de vacío (-0.01 MPa) aproximadamente 40% superior a la capacidad nominal de la unidad de vacío disponible, alcanzó un factor de seguridad de 15.

Con base en la arquitectura de automatización previamente definida, se seleccionó un gabinete plástico IP66 con retardante a la llama y placa metálica interna para el montaje del tablero de control. Los componentes se organizaron sobre riel DIN y se realizó el enrutamiento mediante canaleta plástica, siguiendo prácticas de ingeniería y seguridad propias de tableros industriales. Finalmente, se implementó un sistema de registro de datos mediante un repositorio Git, una base SQL y una API dedicada, permitiendo almacenar la información proveniente de sensores y habilitar su integración con otras aplicaciones mediante solicitudes HTTP.

CONCLUSIONES

La implementación del proceso de secado por CCP demanda un enfoque multidisciplinario que abarque áreas como control, electrónica, neumática, diseño mecánico (CAD), así como fundamentos de poscosecha y calidad. Para garantizar la integridad de dispositivos bajo presión externa, el factor de seguridad es un parámetro de diseño esencial.

La incorporación de tecnología sensórica y adquisición de datos en el proceso ofrece una mejora significativa en comparación con el diseño del prototipo preliminar, al permitir un análisis continuo de las variables clave del proceso de secado que facilita la monitorización y caracterización del proceso.

Este diseño incluye la funcionalidad de monitoreo y operación a distancia, lo que representa un avance significativo en la modernización del proceso de secado y en la adopción de herramientas tecnológicas accesibles. En particular, su aplicación en el área de poscosecha resulta relevante, ya que este es un campo en el que la incorporación de tecnologías de automatización, monitoreo y gestión de datos ha sido aún limitada en comparación con otras etapas de la cadena productiva agrícola. En este sentido, la poscosecha constituye un ámbito prometedor para la integración de soluciones tecnológicas que contribuyan a optimizar los procesos, mejorar el control de las variables operativas y fortalecer la calidad de los productos agrícolas.

REFERENCIAS

- Parra-Coronado, A., García-Navarrete, O., Vanegas-Izquierdo, F., Gamboa-Gamboa, J., González-Mora, A., & Ramírez-González, D. (2020). Preliminary study of drying of natural coffee by cyclical pressure changes. *DYNA, 87*(214). https://doi.org/10.15446/dyna.v87n214.83414

- Pazmiño-Arteaga, J. D., & Ruíz-Márquez, A. F. (2022). Evaluación sensorial y de compuestos volátiles aromáticos del café (*Coffea arabica var*. Caturra Chiroso) de tres orígenes geográficos de Antioquia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 24*(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2846

- Peñuela Martínez, A. E., Sanz Uribe, J. R., & Medina Rivera, R. D. (2023). Influence of drying air temperature on coffee quality during storage. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 76*(3), 10493–10503. https://doi.org/10.15446/rfnam.v76n3.104115