

DESARROLLO DE PASERA INTELIGENTE PARA EL SECADO DEL CAFÉ

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT PASSAGE FOR COFFEE DRYING

Bríñez Oscar(1), Yepes David(2), Urueña Juliana(3), Rodriguez Santiago(4).

1 Ing. Electrónico, Casas Automáticas SAS BIC. CEO. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia.
oscarbrinez@casasautomaticas.com

2 Ing. Electrónico, Casas Automáticas SAS BIC. Director de I+D+i. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia. davidyepes@casasautomaticas.com

3 Ing. Industrial, Casas Automáticas SAS BIC. Subdirector de I+D+i. Grupo de investigación Territorios Inteligentes, Ibagué, Colombia. mariajulianaup@casasautomaticas.com

4 MSc. Ingeniería de Control, GI Senagrotic Centro Agropecuario La Granja Sena Regional Tolima - Tecnoparque Tolima. Espinal - Tolima, Colombia. srodriguezc@sena.edu.co

RESUMEN

El secado del café es una etapa clave del proceso de postcosecha que impacta directamente la calidad del producto final. La humedad residual en granos mal secos favorece el crecimiento de hongos y moho, ocasionando pérdidas significativas. Ante esta problemática, se desarrolló y validó la "Pasera Inteligente" en el Tolima, un sistema avanzado para el secado eficiente de café. Este utiliza tecnología IoT y sensores que monitorean variables críticas del proceso en tiempo real. Durante las pruebas, la Pasera demostró ser superior a los métodos tradicionales, logrando un secado uniforme y controlado que asegura la calidad ideal del café. Además, sus mecanismos electromecánicos facilitan el volteo eficiente de los granos, mejorando la uniformidad del secado. La monitorización en tiempo real permite determinar el momento óptimo para finalizar el proceso, reduciendo riesgos de moho y maximizando la calidad del producto final.

Palabras Claves:

Secado del Café, Sensores, Tecnología IoT, Volteo

ABSTRACT

Coffee drying is a key stage of the post-harvest process that directly impacts the quality of the final product. Residual moisture in poorly dried grains favors the growth of fungi and mold, causing significant losses. Faced with this problem, the "Smart Passera" was developed and validated in Tolima, an advanced system for the efficient drying of coffee. This uses IoT technology and sensors that monitor critical process variables in real time. During tests, Pasera proved to be superior to traditional methods, achieving uniform and controlled drying that ensures ideal coffee quality. In addition, its electromechanical mechanisms facilitate the efficient turning of grains, improving drying uniformity. Real-time monitoring allows determining the optimal moment to end the process, reducing mold risks and maximizing the quality of the final product..

Keywords: Coffee Drying, Sensors, IoT Technology, Tumbling

INTRODUCCIÓN

El secado del grano de café, un paso crucial en la cadena de valor de este producto agrícola, presenta retos asociados a la variabilidad de las condiciones ambientales y la necesidad de optimizar los procesos para garantizar la calidad del producto final (Orjuela, 2020).

Figura 01. Marquesina Convencional



La tradicional práctica de secado de café mediante métodos manuales, predominante en numerosas zonas cafeteras del país, se caracteriza por un proceso sujeto a varios factores cambiantes que ponen en riesgo la calidad del grano. La exposición a condiciones climáticas adversas y la demanda física que requiere el proceso representan amenazas significativas para la salud de los caficultores. Ante esta problemática, la presente investigación propone un innovador sistema de secado automatizado que no solo garantiza un proceso más eficiente y uniforme, sino que también resguarda la integridad de los productores, contribuyendo a una cadena de valor más protegida y durable (Soeswanto, 2021).

Figura 02. Secado de Café Tradicional



En este contexto, se presenta el desarrollo de una "Secadora Inteligente", un sistema innovador que automatiza y supervisa el proceso de secado del café, ofreciendo un control preciso y eficiente de las variables críticas. La Secadora Inteligente incorpora

tecnología de Internet de las Cosas (IoT), lo que permite una recolección continua de datos sobre la humedad relativa, la temperatura ambiente y la humedad del grano en proceso de secado. Estos datos son procesados por un control central que, a su vez, activa mecanismos de control como el volteo periódico del grano, asegurando así un secado homogéneo y evitando la degradación del producto agrícola. El diseño y puesta en marcha de esta tecnología buscan abordar las limitaciones de los métodos tradicionales de secado, ofreciendo una solución más precisa, confiable y adaptable a las condiciones cambiantes del entorno productivo agrícola. A través de la automatización y el monitoreo en tiempo real, se espera mejorar la calidad del café, reducir pérdidas post-cosecha y optimizar el uso de los recursos disponibles.

ESTADO DEL ARTE

Para la construcción de la secadora de café inteligente, denominada "Pasera Inteligente", se emplearon diversos materiales y técnicas. Esta tecnología se desarrolló utilizando un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) diseñado específicamente para este proceso productivo. Este dispositivo está equipado con sensores que miden la humedad relativa, la temperatura ambiente y la humedad del grano, además de contar con un controlador principal y un sistema para voltear el grano. La utilización de estos sensores permitió una medición precisa de las condiciones ambientales y del grano. Los sensores fueron calibrados y configurados meticulosamente siguiendo las instrucciones del fabricante para asegurar su precisión y correcto funcionamiento. De igual manera, el controlador principal posibilita la lectura de las variables y el envío de diversas alertas en tiempo real al operador del proceso de secado del café.

1. Haciendo uso del análisis de Ingeniería asistida por computadora (CAE), e determinan las dimensiones y sistemas mecánicos de la pasera, teniendo en cuenta 2 características principales: Primero se determina que la capacidad volumétrica adecuada para el bastidor usualmente es de 0,07m³, típicamente en las fincas cafeteras colombianas se suele hacer paseras de 1m a 1,5m de ancho por longitudes de 2m hasta 6m, con esto se puede

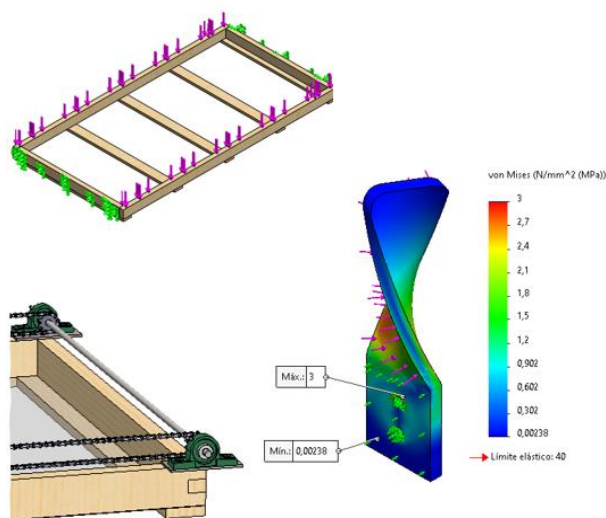
determinar un volumen cúbico e café en dimensiones de 1m x 2m x 3,5cm.

Con estas dimensiones y otras variables como densidad del café mojado (766.6Kgm³) y densidad del café seco (486.6Kgm³) es posible calcular la masa de café para diseñar un bastidor robusto para la pasera suponiendo una distribución de cargas homogénea.

2. Teniendo en cuenta el diseño de rastrillo de mezclado desarrollado por Cenicafe, se diseñó una estructura de madera en la cual se encuentran ensamblados unos dientes helicoidales, diseñados para reducir la posibilidad de dañar los granos (Oliveros, 2008). Los dientes helicoidales y los soportes de los extremos se fabrican en ácido poliláctico (PLA) mediante impresión 3D. Estos dientes helicoidales tienen un ángulo de ataque variable según la resistencia de la masa de café que se está secando. Cada diente helicoidal tiene una torsión de 120° a lo largo de una longitud de 50 mm y un ancho de 20mm y están dispuestos en el bastidor con una separación de 20 mm entre ellos (Oliveros, 2008).

3. Para el sistema de Tracción y Transmisión: Teniendo en cuenta que la longitud de la pasera es de 2 metros, el tiempo en que tarda el desplazamiento del rastrillo de extremo a extremo será: 6,2min, *Fuerza del sistema:* 6,97Kgf. *Velocidad de desplazamiento:* 5,37mm/s

Figura 03. Diseño de piezas mecánicas de pasera inteligente.



Continuando con la metodología del enfoque paso a paso, comenzamos a construir el modelo de rastrillo. La figura 4 muestra el sistema de tracción. El movimiento del rastrillo se transmite a través de

un sistema de engranajes y cadenas entre el eje del tractor y el eje motriz. Ambos ejes están fabricados en acero. Tienen dos camas, una en cada extremo. Los rodamientos están en el marco de la oruga y ambos ejes terminan en ruedas dentadas de 10 dientes impresas en 3D a partir de PLA. Estas ruedas dentadas están diseñadas para cadenas de paso de 1/2" y 1/8". Ancho del diente La rueda dentada consta de una cadena de 1/2" unida a cada lado de la barra guía a intervalos de 1/8".

Figura 04. Diseño de sistema de tracción de pasera inteligente.



El sistema electrónico tiene la responsabilidad de supervisar y controlar los mecanismos de la pasera a través del motorreductor eléctrico. Este control implica la generación de movimientos esenciales para el proceso de secado eficiente del café. El sistema en sí se compone de la tarjeta electrónica, una interfaz de usuario con tres pulsadores retroiluminados y varios componentes adicionales. Para medir con precisión el peso de la masa de café en la pasera, el sistema emplea cuatro celdas de carga en configuración de puente de Wheatstone (Parra, 2008), ubicadas en cada extremo de la estructura como las de la Figura 5. Asimismo, se utilizan sensores de final de carrera que detectan cuando el rastrillo alcanza el final de su recorrido, lo que resulta en la desactivación del motorreductor y el cambio de sentido de giro.

Para la interacción local con el sistema, se han integrado tres botones retroiluminados con LED. Estos botones permiten a los usuarios interactuar con el sistema sin necesidad de una aplicación móvil, lo que ofrece una opción de uso más sencilla.

Figura 05. Sistema Electrónico diseñado en implementado en pasera inteligente.



punto óptimo de secado, lo que contribuyó a la preservación de la calidad del café.

El sistema de comunicación entre la Pasera y la aplicación web y móvil desarrollada para este propósito funcionó de manera eficiente, asegurando una transmisión rápida y precisa de datos sobre el estado del proceso de secado. Esto permitió a los usuarios monitorear y controlar el proceso de secado desde cualquier ubicación, brindando flexibilidad y conveniencia.

Figura 06. Pasera Inteligente



Los resultados obtenidos en la investigación han sido el desarrollo y validación de la pasera inteligente para el secado eficiente de café reflejan un avance significativo en la mejora de la calidad de producción de los granos y la rentabilidad de la explotación agrícola en el Tolima. El sistema final consiste en una pasera portátil basada en tecnología IoT, diseñada para apoyar el proceso de secado del café mediante la asistencia al volteo del grano y la identificación precisa de los tiempos óptimos para la recogida de los granos. Como se observa en la Figura 6.

Durante las pruebas de validación, se observó que la Pasera inteligente facilitaba un secado más uniforme y controlado del café en comparación con los métodos tradicionales. Los mecanismos electromecánicos incorporados en la Pasera demostraron una alta eficiencia en el volteo del grano, asegurando una exposición uniforme a la temperatura y la humedad requeridas para un secado óptimo.

Además, los sensores integrados en la Pasera permitieron una monitorización en tiempo real de variables clave como la humedad relativa, la temperatura ambiente y la humedad del grano. Esto proporcionó información valiosa para determinar el momento exacto en que los granos alcanzaban el



CONCLUSIONES

El desarrollo y validación de la pasera inteligente para el secado eficiente de café, constituye un avance significativo en el proceso de modernización de la industria cafetalera en el departamento del Tolima. Esto ha demostrado que la aplicación de la tecnología IoT junto a mecanismos electromecánicos puede tener un impacto positivo en la calidad y la eficiencia del proceso de poscosecha del café.

Uno de los logros más destacados es la capacidad de la pasera inteligente para optimizar el proceso de secado del café, asegurando una exposición uniforme a la temperatura y la humedad requeridas para un secado óptimo. Así como, la integración de sensores que monitorean variables clave, lo que ha permitido una intervención precisa en el proceso de secado, y por ende una mejora significativa en la calidad del café producido.

Además, la implementación de una aplicación web y móvil para el monitoreo remoto y el control del proceso de secado ha proporcionado una mayor

flexibilidad y conveniencia para los productores de café. Esto no solo facilita la gestión operativa, sino que también abre la puerta a futuras aplicaciones y extensiones de esta tecnología en otros aspectos de la producción agrícola.

REFERENCIAS

1. Orjuela Garzón, W. A., Sandoval Aldana, A., Reyes-Parga, M. A., & Méndez Arteaga, J. J. (2020). Agenda Prospectiva De Investigación Y Desarrollo Tecnológico Para La Cadena Productiva De Café En El Departamento Del Tolima. December, 1–30.
2. Soeswanto, B., Wahyuni, N. L. E., & Prihandini, G. (2021). The Development of Coffee Bean Drying Process Technology – A Review. *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, 207(Issat), 164–170. <https://doi.org/10.2991/aer.k.211106.026>
3. Villalba Olmos, L. C., Duque Grisales, E. A., & Rodriguez, E. (2017). State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their development. *ESPACIOS*, 38, 27. <https://revistaespacios.com/a17v38n29/a17v38n29p27.pdf>
4. GONZÁLEZ S., C.A. (2008). Control de temperatura y caudal de aire para la optimización del secado mecánico del café. Cali: Universidad del Valle. Escuela de ingeniería mecánica. 86 p. Tesis: Ingeniero mecánico.
5. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; PEÑUELA M., A.E. (2008). Secador Parabólico Mejorado. Chinchiná: CENICAFÉ, (Avances Técnicos No. 376)
6. OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G.; LÓPEZ P., U. (2006). Nuevos rastrillos para revolver café en proceso de secado al sol. Chinchiná: CENICAFÉ, (Avances Técnicos No. 346).
7. MONTILLA P., J.; ARCILA P., J. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé* 59(2):120-142.
8. PARRA C., A.; ROA M., G. (2008). SECAFÉ: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental* 12(4):428-434.