

Avances *Técnicos*

NOVIEMBRE 2025

Sanz-Uribe J. R. | Rojas-Botina W. F.

Cenicafé®
Centro Nacional de Investigaciones de Café

582

Control simultáneo del caudal y la temperatura del aire para optimizar el secado mecánico de café



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

Durante los períodos de baja producción de café, que corresponden a la mayor parte del año, los caficultores suelen evitar el uso de secadores mecánicos debido a sus altos costos operativos. Para reducir estos sobrecostos, a menudo mezclan café de varios días, con el fin de completar la carga del secador, lo que pone en riesgo la calidad del producto.

Generalidades del secado

Los secadores mecánicos que se utilizan en las fincas cafeteras de Colombia generalmente se diseñan pensando en el día de mayor cosecha; sin embargo, como el flujo de café no es constante a lo largo del año, estos equipos suelen estar sobredimensionados durante la mayor parte del tiempo. Cuando se usan con cargas menores, el consumo de combustible por kilogramo de granos se incrementa, ya que debe calentarse un volumen de aire mayor al necesario. Además, aunque las capas de café sean más delgadas, el ventilador sigue operando a máxima capacidad, lo que también incrementa la demanda de energía eléctrica por unidad de masa.

Para reducir estos sobrecostos, muchos caficultores optan por almacenar café durante varios días, con el fin de reunir suficiente cantidad para llenar el secador. No obstante, esta práctica va en contra de las prácticas clave para producir café de buena calidad, que recomienda no mezclar café de diferentes días (Peñuela-Martínez et al., 2022; Peñuela-Martínez y Sanz-Uribe, 2021).

Para lograr la eficiencia en el secado mecánico es fundamental controlar el caudal y la temperatura del aire, ya que la interacción entre ambas variables determina la tasa de remoción de humedad. En este sentido, estudios realizados por Parra-Coronado et al. (2017) concluyeron que el caudal óptimo para

el secado de café es de $0,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ de café pergamino seco (cps). Por otro lado, la investigación de Oliveros-Tascón y Roa-Mejía (1986) permitió formular una ecuación que estima el caudal de aire que pasa a través de una cama de café, considerando la pérdida de presión, el área del secador, la altura de la capa y la humedad del grano; sin embargo, a pesar de estos conocimientos no existen en el mercado controladores de caudal para secadores de café.

Por su parte, la temperatura también debe ser controlada. Investigaciones reportadas por Roa-Mejía et al. (1999) mostraron que, al superar los 50°C , el grano de café puede sufrir cambios estructurales internos que afectan de manera irreversible su calidad. Aun así, muchos secadores comerciales permiten que la temperatura supere este límite, lo que representa un riesgo importante para el producto.

Con el fin de enfrentar estos desafíos, Cenicafé desarrolló un sistema que permite controlar simultáneamente la temperatura del aire y el caudal que atraviesa el café (González-Salazar et al., 2010). En este Avance Técnico se presentan los resultados del uso del sistema denominado Q&T, que controla de manera conjunta el caudal y la temperatura del aire. Esta innovación permite operar los secadores con cargas menores a la nominal, obteniendo costos prácticamente iguales a los alcanzados con carga completa y sin comprometer la calidad del café.

Descripción del sistema

El sistema está diseñado para secadores de café de varias capas, trabajando en serie y consiste en un circuito electrónico que integra dos controladores PID¹. Como datos de entrada se ingresan: el área del secador en metros cuadrados, la temperatura de secado deseada en $^\circ\text{C}$ y la sumatoria de los espesores de todas las capas. La sumatoria de los espesores de las capas varía a lo largo del proceso, ya

que constantemente entra y sale café. Según Parra-Coronado et al. (2017), para obtener una humedad uniforme al final del secado, el espesor máximo de las capas no debe superar 35 cm en secadores de dos capas, ni 25 cm en secadores de tres capas.

El circuito electrónico principal está conformado por un PLC², en el cual se almacenan los algoritmos de control. Los componentes eléctricos principales son dos variadores de frecuencia: uno para regular la velocidad del ventilador y otro para controlar la del alimentador de combustible sólido. La realimentación del control de caudal se realiza mediante un sensor de presión diferencial, mientras que la realimentación del control de temperatura se lleva a cabo con un termorresistor PT100. En

la Figura 1a se presenta el diagrama de entradas y salidas del sistema Q&T³, y en la Figura 1b una fotografía interna del sistema diseñado.

Las entradas del sistema se dividen en aquellas que requieren interacción con el operario, introducidas a través de una pantalla táctil, y las que provienen de la retroalimentación de los sensores de presión y temperatura de secado. Las salidas corresponden al control de la velocidad de giro del motor del ventilador y al control de la velocidad del motor del alimentador de combustible.

Adicionalmente, el sistema Q&T tiene la capacidad de adaptarse a la infraestructura eléctrica disponible en las zonas cafeteras, ya que en la mayoría de los casos

² Un PLC es un controlador lógico programable, por sus siglas en inglés, que tiene la posibilidad de recibir señales, procesarlas de acuerdo a la programación del usuario y enviar señales de salida a actuadores.
³ Sistema de control de caudal (Q) y temperatura(T).

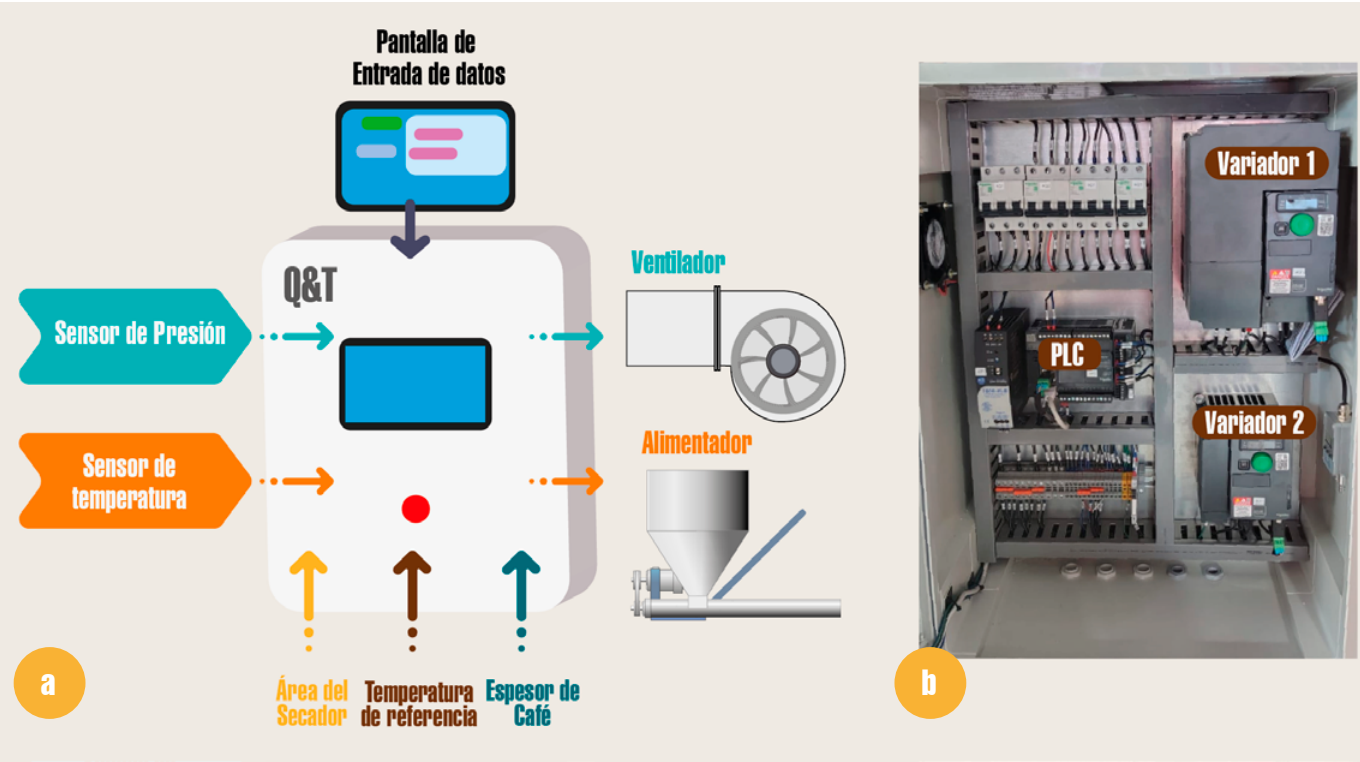


Figura 1. a. Diagrama de entradas y salidas; b. Fotografía interna del sistema Q&T.

¹ Un controlador PID es un sistema que utiliza una estrategia de control proporcional, integral y derivativa, para mantener la variable de interés alrededor del punto seleccionado.

puede obtenerse energía bifásica a 220 V. Mediante el uso de variadores de frecuencia, el controlador convierte esta señal en trifásica para alimentar los motores del ventilador y del alimentador de combustible.

Evaluación

Para la evaluación del sistema se seleccionaron cuatro fincas del departamento del Huila, ubicadas en los municipios de San Agustín, Gigante, El Pital y La Plata, respectivamente, con secadores mecánicos de diferentes capacidades, para las cuales se construyeron los controladores Q&T correspondientes. Los secadores evaluados tenían capacidades de 320, 750, 1.000 y 3.000 kg de café pergamino seco (cps). En todas las pruebas se utilizó cisco (cascarilla de café) como combustible.

Se realizaron pruebas con diferentes cargas de café, todas por debajo de la capacidad nominal de los secadores (Tabla 1). En cada ensayo se determinaron la temperatura del aire de secado, la demanda de energía eléctrica y el consumo de combustible. La demanda de energía eléctrica se midió mediante un vatímetro⁴. Todas las pruebas presentaron un comportamiento similar; por tal razón, en la Figura 2 se muestra la curva del secador con capacidad de 320 kg de cps, operando con la mitad de la carga. En

este caso particular se determinó que el control de temperatura presentó un período de estabilización de aproximadamente 1,5 horas al inicio, en el cual se alcanzaron en ocasiones temperaturas superiores a 50°C, pero menores de 60°C. Esta elevación de temperatura no es preocupante porque se hace en el momento menos crítico, ya que debido a la alta humedad del grano, su temperatura permanece en un valor seguro para su integridad, alrededor de la temperatura ambiente. Una vez estabilizada la temperatura por efecto del control, la variación menor a 3°C entre el valor máximo y mínimo, representa una ventaja frente a los sistemas de control termostáticos disponibles en el mercado.

También se observó que la demanda de energía eléctrica tiene un valor base asociado al ventilador operando a velocidad constante, con variaciones hacia arriba y hacia abajo que corresponden al ajuste de la velocidad del motor del alimentador de cisco.

Con los datos obtenidos en las pruebas, se calcularon los costos de operación de cada secador con el uso del controlador Q&T. Para asignar valor a estas variables, se consultó a los Extensionistas de la Federación de Cafeteros, quienes indicaron que un precio de \$250/kg de cisco y \$1.000/kWh son valores representativos de distintas zonas cafeteras para 2025. Como referencia comparativa, se recopilaron datos históricos de caficultores y parámetros de los secadores que permitieron estimar con buena

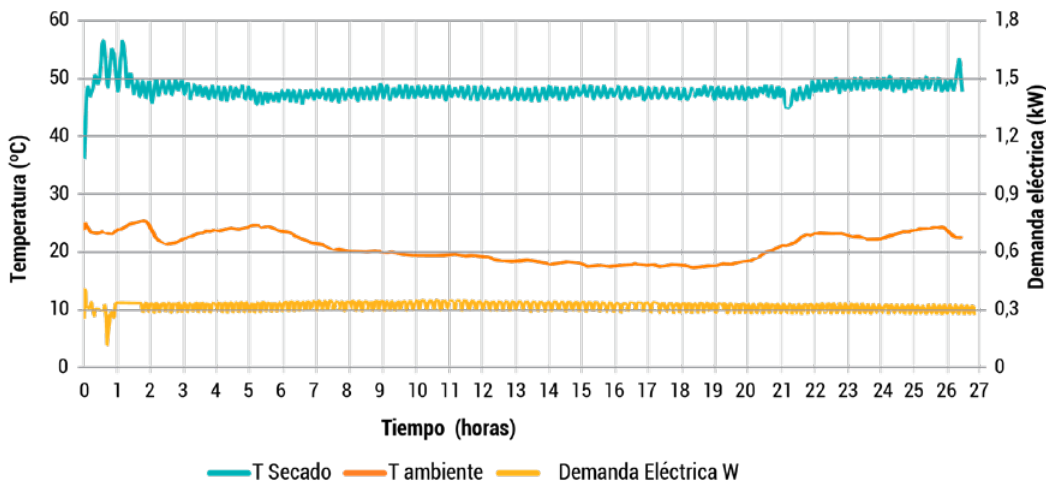


Figura 2. Controlador Q&T en un secador con capacidad de 320 kg de cps, trabajando a media carga.

exactitud el consumo de combustible y energía en condiciones similares, sin el uso del controlador Q&T. Con los valores de consumo de combustible y demanda de energía eléctrica obtenidos en seis pruebas, junto con los datos estimados para la operación sin controlador, se elaboró la Figura 3 que presenta los resultados con y sin control, además de dos líneas de referencia: la tendencia de los resultados sin control de temperatura y caudal (línea punteada) y la referencia del costo de combustible y energía eléctrica cuando el secador opera con carga nominal (línea continua). En esta gráfica no se incluye la mano de obra necesaria para la operación del secador.

Los resultados evidencian que el controlador Q&T cumplió con las expectativas, ya que las diferencias de los datos experimentales con control Q&T con respecto a la línea de referencia fueron menores de $\pm 523,5$, con excepción de la prueba con 30% de carga, en la cual la magnitud del ahorro con el control fue más pequeña. Como era previsible, el ahorro energético fue mayor a medida que disminuyó la carga del secador y tendió a ser nulo al operar a capacidad nominal. En las pruebas realizadas, se obtuvo un ahorro del 58,7% con el uso del controlador

al trabajar con el 25% de la carga, y del 49,2% con el 50% de la carga, en comparación con la operación sin control. En promedio, el combustible representó el 71,65% de los costos, mientras que la energía eléctrica correspondió al 28,35%, lo que resalta la importancia del combustible en los costos de secado.

El combustible y la energía eléctrica son los costos más críticos en el secado de café. El controlador Q&T es un dispositivo electrónico que optimiza estas dos fuentes de energía para reducir los costos de secado, especialmente cuando el proceso se realiza en momentos de bajo flujo de café. Al permitir operar de manera eficiente incluso con cargas pequeñas, el controlador Q&T contribuye a mejorar el aprovechamiento del secador.

⁴ Un vatímetro es un instrumento de medición que se utiliza para determinar la demanda de energía eléctrica.

Tabla 1. Cargas de los secadores utilizadas en las diferentes pruebas de secado, de acuerdo con su carga nominal.

Carga	Capacidad nominal secador en kilogramos de café pergamino seco			
	320	750	1.000	3.000
25%	X		X	
30%		X		
40%				X
50%	X		X	

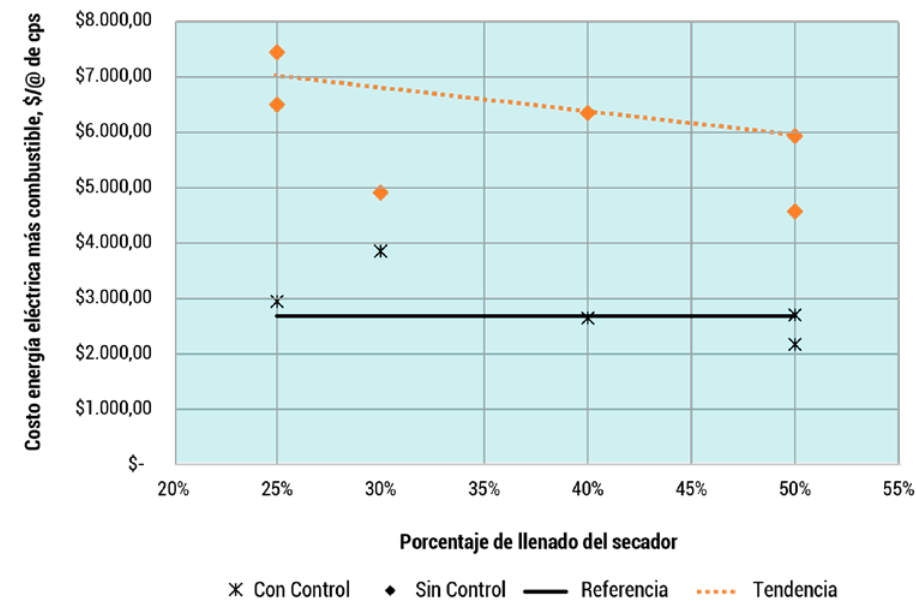


Figura 3. Costo de la energía eléctrica y el combustible de acuerdo a la carga del secador, con y sin controlador Q&T



Conclusiones

Con el uso del controlador Q&T es posible trabajar de manera eficiente con cargas menores a la nominal, manteniendo los requerimientos de combustible y energía cercanos a los de plena capacidad. Esto permite secar el café el mismo día del lavado, reduciendo el riesgo de pérdidas de calidad por mezcla de cafés de distintos días. Los ahorros cuando se usó el controlador Q&T alcanzaron hasta el 58,7% con cargas del 25% y 49,2% con cargas al 50%. El ahorro tiende a ser nulo cuando se trabaja a capacidad nominal con y sin controlador Q&T.

- El combustible representó en promedio el 71,65% de los costos de operación, confirmando que las estrategias de eficiencia energética deben priorizar la reducción en su consumo.
- La incorporación del controlador Q&T en secadores mecánicos de café permitió mantener la temperatura de secado dentro de un rango estrecho con amplitud de 3°C, lo que mejora la estabilidad frente a los sistemas de control tradicionales.
- Los resultados obtenidos demuestran la pertinencia de promover la adopción del controlador Q&T como una herramienta de ahorro, eficiencia y aseguramiento de calidad, con impactos positivos en la economía del productor.
- El hecho de que el sistema de control Q&T pueda conectarse a energía bifásica de 220 V, amplía notablemente sus opciones de adopción.



Familias caficultoras

El controlador Q&T ofrece la posibilidad de utilizar el secador mecánico durante períodos de menores flujos de cosecha, evitando acumular café de varios días. Esto reduce los costos de secado, garantiza la frescura del café y asegura la calidad final del producto

Literatura citada

- Peñuela-Martínez, A. E., Sanz-Urbe, J. R., Guerrero, A., & Ramírez, C. A. (2022). Siete prácticas en el beneficio para obtener café de buena calidad - Proceso 7P®. *Avances Técnicos Cenicafe*, 546, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0546>
- Peñuela, A. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2021). Obtenga café de calidad en el proceso de beneficio. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad (3a ed., pp. 189–218). Cenicafe. https://doi.org/10.38141/10791/0014_11
- González-Salazar, C. A., Sanz-Urbe, J. R., & Oliveros-Tascón, C. E. (2010). Control de caudal y temperatura de aire en el secado mecánico de café. *Revista Cenicafe*, 61(4), 281–296. <http://hdl.handle.net/10778/503>
- Oliveros-Tascón, C. E., & Roa-Mejía, G. (1986). Pérdidas de presión por el paso del aire a través del café pergamino, variedad Caturra, dispuesto a granel. *Revista Cenicafe*, 37(1), 23–37.
- Parra-Coronado, A., Roa-Mejía, G., Oliveros-Tascón, C. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2017). *Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino*. Cenicafe. <https://www.cenicafe.org/es/publications/librosecado.pdf>
- Roa-Mejía, G., Oliveros-Tascón, C. E., Álvarez, J., Ramírez, C. A., Sanz-Urbe, J. R., Álvarez, J. R., Dávila, M. T., Zambrano, D. A., Puerta, G. I., & Rodríguez, N. (1999). *Beneficio ecológico del café*. Cenicafe. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/882>

Autores

Juan Rodrigo Sanz Uribe 
Investigador Científico III
<https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>

Willy Fernando Rojas Botina 
Asistente de Investigación
<https://orcid.org/0009-0009-7135-6307>

Disciplina de Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafe
DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0582>



Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafe

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

Gerencia Técnica
Fondo Nacional del Café



ISSN-0120-0178
ISSN-2145-3691 (En línea)

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia - Tel. (606) 8500707
www.cenicafe.org



Licencia Creative Commons CC de Atribución - sin derivar - no comercial por la que este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si se muestra en los créditos. No se puede realizar obras derivadas y no se puede obtener ningún beneficio comercial.