



Scientia Et Technica

ISSN: 0122-1701

scientia@utp.edu.co

Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia

Guzmán-Mamíán, F. D.; Flórez -Marulanda, J. F.

Evaluación de desempeño térmico de silos de secado de flujo concurrente y capa estática

Scientia Et Technica, vol. 24, núm. 3, 2019, Junio-Septiembre, pp. 457-462

Universidad Tecnológica de Pereira
Colombia

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84961239013>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Evaluación de desempeño térmico de silos de secado de flujo concurrente y capa estática

Thermal performance evaluation of dryer silo of concurrent flow and static cape

F. D. Guzmán-Mamíán 

; J. F. Flórez -Marulanda 

Abstract— In different studies related to the drying of food raw materials, the relevance of this process in the quality of the final product is determined, but the equipment used is not analyzed. For this reason, a comparative study of thermal performance for the artificial drying stage of the primary sector is presented, implementing two designs of silo, fixed layer and concurrent flow, in real scale with a CAD simulation tool; evaluating the uniformity of drying with the heat dissipation factor, internal airflow and global thermal efficiency. Obtaining that the overall thermal efficiency of drying of the concurrent flow silo is 57.06% and the drying of the static layer silo is 56.36%. The second silo has an internal temperature gradient of 28.9 ° C together with 56.1% thermal dissipation per contact area against 4.53 ° C and 9.06% of the first, favoring the drying quality of the final product with the concurrent flow silo.

Index Terms — Dry temperature; Dryer silo; Global Thermal efficiency; Thermal performance.

Resumen— En diferentes estudios relacionados con el secado de materias primas alimenticias, se determina la relevancia de este proceso en la calidad del producto final, pero, no se analiza los equipos empleados en el mismo. Por esta razón, se presenta un estudio comparativo de desempeño térmico para la etapa de secado artificial del sector primario, implementando dos diseños de silo, de capa fija y flujo concurrente, a escala real en una herramienta de simulación CAD; evaluando la uniformidad del secado por medio del factor de disipación térmico, flujo de aire interno y eficiencia térmica global. Obteniendo que la eficiencia térmica global de secado del silo de flujo concurrente es de 57,06 % y el secado del silo de capa estática es de 56,36%. El segundo silo tiene un gradiente de temperatura interno de 28,9°C junto con 56,1% de disipación térmica por área de contacto contra 4,53°C y 9,06% del primero, favoreciendo la calidad de secado del producto final con el silo de flujo concurrente.

Palabras clave— Desempeño térmico; Eficiencia térmica global; Silo secador; Temperatura de secado.

Este manuscrito fue enviado el 21 de noviembre de 2018 y aceptado el 28 de septiembre de 2019. Es un artículo de investigación derivado del trabajo de grado titulado “Mejoramiento tecnológico de los silos secadores de café usados en las fincas cafeteras de la región del sur occidente Caucano” y avalado por la Universidad del Cauca.

I. INTRODUCCIÓN

LOS procesos de producción de alimentos, por su constante crecimiento son un mercado donde se presenta un nivel competitivo alto, lo que exige cada vez el uso de tecnologías que permitan obtener productos de excelente calidad y con costos bajos [1]. Estos procesos requieren el uso de maquinaria especializada que no siempre está al alcance de los pequeños productores [2]. La situación de Colombia en el área agrícola no escapa de esta realidad; las técnicas, máquinas y herramientas usadas por los pequeños y medianos productores nacionales son muchas veces rudimentarias lo que se traduce en una baja producción con costos finales altos que obliga a importar productos [1].

Los elevados costos de producción en el sector primario son generados por los estándares y requisitos de las empresas del sector secundario [3], demandando una producción homogénea de materia prima, sin embargo las condiciones de producción varían geográficamente [4], en consecuencia, se generan inconvenientes al obtener un producto de alta calidad.

El proceso de producción de mayor variación por condiciones geográficas y climáticas, es la etapa de secado la cual utiliza diferentes energías dependiendo la zona, desde energía solar hasta combustibles, lo que repercute en el costo de producción [5].

De los diversos estudios relacionados al secado de materiales orgánicos para etapas de agregación de valor o transformación de la materia prima se ha encontrado que: Un grado de 11 % de humedad en el café es un objetivo para la mayoría de cafés, y el no cumplir con este objetivo produce una pérdida posterior de calidad de la bebida y mohos, esto se contrarresta con un almacenaje y secado limpios, adecuados y eficientes del café, sin embargo el exceso de secado cuesta dinero y repercute en la calidad de la infusión del producto final, porque cuando la humedad baja más del 10 %, el aroma, la acidez y la frescura empiezan a evaporarse y con 8 % de humedad o menos, estas han desaparecido completamente [5]. En la transformación de

Fabián Dario Guzman Mamian, Departamento de Automática y Electrónica, Universidad Autónoma de Occidente, Popayán, Colombia (fdguzman@unicauca.edu.co).

Juan Fernando Florez Marulanda, Departamento de Electrónica Instrumentación y Control, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. (jflorez@unicauca.edu.co).

papa en harina para puré instantáneo, se evidencia un rendimiento mayor de producción de material final cuando la materia prima posee niveles de humedad baja o completamente seco, para este secado se han utilizado tratamientos térmicos y enzimáticos [6]. Para el proceso de secado de Yuca se ha analizado y modelado un secador híbrido junto con la respuesta termodinámica del material determinando de forma específica la temperatura y velocidad del aire de entrada, la carga de material máxima, tiempos de operación, eficiencia y comportamiento de la humedad en el tiempo dentro del ambiente controlado [7]. En la etapa de curado de tabaco se ha evidenciado el tipo de transferencia de calor necesario para la hoja de tabaco, posibles fallos y percances que tiene el secador utilizado, y la ineficiencia que se posee por el tipo de material que se está secando [8]. Para el cacao se ha identificado las causas de falta de homogeneidad en el producto final, ya que se presenta una etapa de fermentación-secado, variando el método de fermentación y usando de forma general el secado solar [9]. Para el secado del ají tabasco se ha estudiado las características y respuestas específicas del método de deshidratación por convección forzada, determinando una relación lineal entre la temperatura de secado y tiempo de secado con punto crítico de temperatura por aspectos de calidad [10]. Para el maíz se ha observado los inconvenientes que se presentan en la etapa de almacenamiento, los cuales son los hongos, insectos e impurezas; planteando un sistema automatizado de secado, como compensación, con banda transportadora generando una reducción total de 18% de humedad, identificando que la etapa de secado no influye en su valor nutritivo [11]. De estos múltiples estudios se evidencia un enfoque específico para cada una de las materias primas donde la etapa de secado genera un impacto en el producto final pero no se analiza las herramientas utilizadas en dicho proceso, razón por la cual en este artículo se propone la evaluación de dos tipos de silos secadores utilizados en diversos procesos con el fin de brindar un parámetro de selección pertinente en cada caso específico.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El método de secado solar se practica desde el inicio de la producción agrícola a gran escala en Colombia, el cual en la actualidad no ha cambiado, por la eficiencia energética y bajos costos. Dos de los métodos de secado solar más utilizados son: secado en patio, en este método de secado, el material se distribuye de forma homogénea en capas con grosor constante sobre patios de cemento o ladrillo [2]. Y secador solar parabólico: Brinda una alta eficacia física y bajos costos para utilizar la radiación y la energía del aire en el secado de la materia prima. Consiste de un techo plástico transparente y una estructura parabólica en madera, que permite aprovechar la radiación difusa, durante los días pocos soleados o lluviosos y la radiación directa durante las horas del sol [12].

Por otra parte, el secado en silo (secado artificial) es una alternativa apropiada cuando el flujo de material y las condiciones climáticas del lugar no permiten emplear

secadores solares en forma económica y segura, donde la transferencia de calor hacia el material, se produce cuando este choca con el aire caliente que entra al secador a través de un tubo perforado, coaxial al eje del cilindro y para facilitar la evacuación del aire húmedo las paredes externas del cilindro son perforadas [13]. Un secador mecánico consta de una a tres cámaras con piso perforado, donde se deposita el material, un calentador del aire indirecto, un ventilador que entrega el caudal de aire para el secado y un dispositivo para el suministro de combustible (Carbón, madera, petróleo). Adicionalmente, cuenta con dispositivos como termostato y termómetro para lograr que, en secadores de capa fija, la temperatura del aire de secado se mantenga en el rango adecuado [14]. Los secadores artificiales se dividen en: secadores Mecánicos intermitentes de Flujos Concurrentes: Mantienen el material en movimiento constante durante el proceso de secado; los cuales constan de un cilindro en forma horizontal, el cual gira alrededor de su eje continuamente manteniendo la materia prima en su interior, levantándola hasta dejarla caer por gravedad desde la parte superior, por medio de palas metálicas empotradas en la parte interna del cuerpo se inyecta aire caliente con un tubo perforado coaxial al eje del cilindro. Para facilitar la evacuación del aire húmedo se perforan las paredes externas del cilindro [1]. Y secadores mecánicos de capa estática (SSCF): En ellos el material se deposita en una cámara de secado, provisto de un piso construido en lámina metálica perforada, el aire es calentado por intercambiador de calor a temperaturas entre 40 y 50 °C, circula en la cámara de secado en una o dos direcciones, al ser impulsado por un ventilador centrifugo [15][16].

Un silo secador de forma general se compone de 3 estructuras (Fig. 1) que son: la cámara plenum, encargada de contener el material y mantener el aire caliente dentro de su estructura. el calentador de aire, compuesto por un elemento que genera una diferencia térmica, y alimentado por una masa (gas, acpm, carbón, cisco) que le permite realizar esta tarea, y el ventilador, que hace circular el aire caliente hacia la cámara plenum, este flujo másico de aire que mueve el ventilador, debe ser calculado para evitar un secado no uniforme en el material.

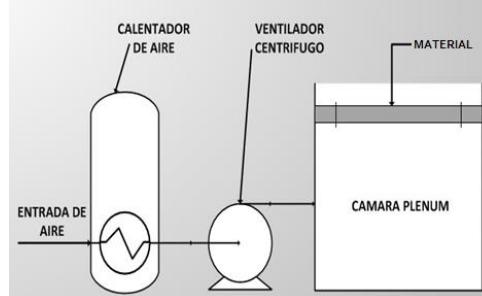


Fig. 1. Partes principales de un silo secador.

Uno de los análisis pertinentes sobre un silo secador, es el análisis termodinámico [17] en donde cada caso de estudio involucra ecuaciones y planteamiento diversos, para determinar el flujo energético y temperaturas finales, pero para cualquier caso se aplica la fórmula de eficiencia térmica o factor de disipación (FD):

$$Nt = \text{eficiencia termica de transferencia} \quad (1)$$

$$= \frac{T_{in} - T_{fijo}}{T_{in}}$$

III. METODOLOGÍA Y MATERIALES

Como objeto de estudio se tomarán dos silos, el silo secador de capa fija (SSCF) y el silo secador mecánico intermitente de flujos concurrentes tipo Guardiola (SSTG), donde el punto central de esta investigación es evaluar la uniformidad del secado, entre estos dos diseños. Para cumplir esto se construyen los modelos 3D de una unidad SSCF y otra SSTG en la herramienta CAD Solid Works a escala real, ver tabla I, implementada en un computador con 4 Gb de memoria RAM, y un procesador Intel i7 a 3,2 Ghz. Simulando el proceso de secado, y comparando la distribución térmica volumétrica, distribución del flujo de aire y la eficiencia térmica de los dos diseños.

Tabla I.

Características de los silos secadores para simulación.

Silo	Dimensiones	Capacidad	Materiales
SSCF	Ancho:1,25 m Largo:1,5 m Alto:2,3 m	80@ 907 kg	Acero, Láminas de Aluminio
SSTG	Radio:1,2 m Altura:3 m	80@ 907 kg	Acero, láminas de aluminio.

Para plantear las condiciones de evaluación termodinámica de los dos silos, se toma como caso de estudio el secado de café el cual se simula con condiciones iniciales de flujo de aire 0,7 kg/s, caudal de aire 0,583 m³/s y temperatura de entrada 50°C.

IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Diseño y Medidas de los Silos

El diseño de las unidades de secado, se hizo conforme a las medidas estándar de los mismos [18], obteniendo el diseño del SSCF (Fig. 2.a) y del SSTG (Fig. 2.b).

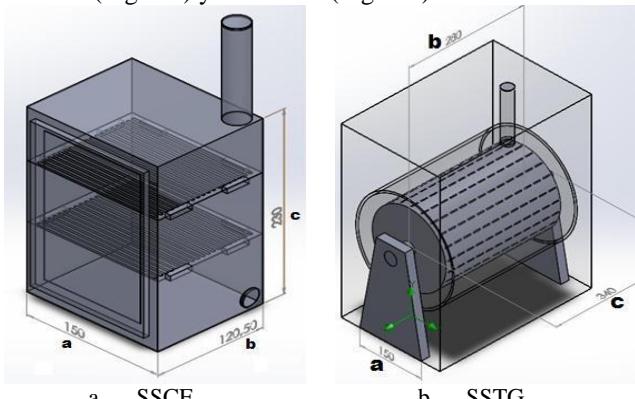


Fig. 2. Vista isométrica del diseño de los silos secadores

B. Evaluación Termodinámica de los Silos

La respuesta de la simulación termodinámica en las condiciones de trabajo establecidas da como resultado, gráficos de contorno de distribución de temperatura del SSCF (Fig. 3.a) y del SSTG (Fig. 3.b).

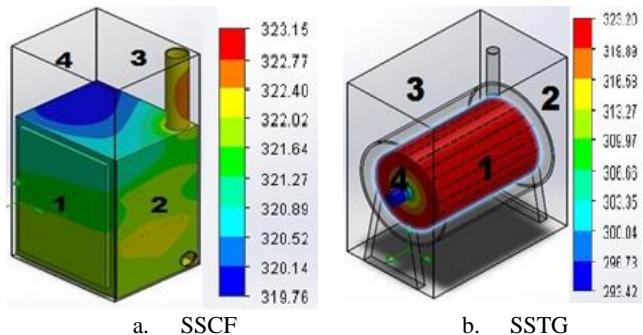


Fig. 3. Distribución térmica volumétrica de los silos secadores.

Los resultados del SSCF (Fig. 3.a), muestran que las caras laterales que reciben el aire caliente varían y disminuyen su temperatura conforme aumenta la distancia de la base de la unidad (desde 0 m a 2,3 m). Se observa que en la ubicación de las rejillas (0,86 m y 1,62 m) se presenta una caída de temperatura, esto se debe a que las rejillas se oponen al paso del aire caliente, absorben energía térmica y se disipa el calor presente en la unidad, esto afecta directamente la temperatura a la que se expone el material durante el secado. Se nota que la zona de menor temperatura es la pared superior; por lo que el comportamiento térmico de la unidad de secado no es uniforme con temperaturas entre 45 y 50°C.

La estructura del SSTG (Fig. 3.b) muestra dos cilindros, uno de ellos el interno que contiene el material y que está directamente expuesto al aire inyectado (50°C), el segundo cilindro funciona como una chaqueta térmica. Para analizar el comportamiento de la temperatura en el contorno del cilindro interno de la unidad de secado del SSTG se simula la unidad de calor en funcionamiento, con las condiciones iniciales de las variables (temperatura, rotación; flujo y masa de aire). Los resultados de la simulación de la unidad de calor (cilindro interno) del SSTG, muestran que todo su contorno tiene una temperatura uniforme entre 46,2 - 44,55°C, proporcionando al lote de material una superficie de contacto uniforme. La disipación de la temperatura en el cilindro interno es de 3,8°C. La herramienta CAD entrega los valores mínimos, máximos y promedio de la temperatura presente en las unidades durante el proceso de secado (Tabla II).

Tabla II.
Rangos de temperatura de respuesta de los Silos Secadores.

	Temperatura	Valor [K]	Promedio [K]	Mínimo [K]	Máximo [K]
SSCF (caras)	Mín.	319,76	319,65	319,46	319,84
	Prom	321,77	321,73	321,69	321,77
	Máx.	323,15	323,15	323,15	323,15
SSTG	Mín.	316,5	316,45	316,24	316,63

(contorno)	Prom	318,7	318,62	318,58	318,73
	Máx.	319,35	319,31	319,35	319,35

Con las temperaturas características obtenidas de la simulación (Tabla II) se hallan los valores del FD (Ec. 1) de los silos (Tabla III):

Tabla III.
Factor de disipación térmica de los Silos Secadores.

	Temperatura	Valor promediado [K]	FD [%]
SSCF (caras)	Mínima	319,65	7
	Promedio	321,73	2,84
	Máxima	323,15	0
SSTG (contorno)	Mínima	316,45	13,4
	Promedio	318,62	9,06
	Máxima	319,31	7,68

El FD promedio del SSCF en un valor de 2,84% (Tabla III), indica que la perdida de temperatura de las paredes es poca, y que la eficiencia térmica de las paredes es alta con un valor de 97,16%, solo se pierde un 2,84% de temperatura que equivale a 1,42°C durante el proceso de secado. Al observar el FD térmica promedio del SSTG (Tabla III), se concluye que la temperatura promedio del contorno del cilindro interno es de un 90,9% de la temperatura inyectada a la unidad de secado, 45,53°C (318,62°K) y hay una perdida aproximada de 4,53°C.

C. Trayectoria y Flujo de Aire de los Silos

Para comprobar la distribución térmica del flujo de aire y analizar las temperaturas presentes en la unidad de secado, se simula las condiciones de trabajo para el SSCF (Fig. 4.a) y el SSTG (Fig. 4.b).

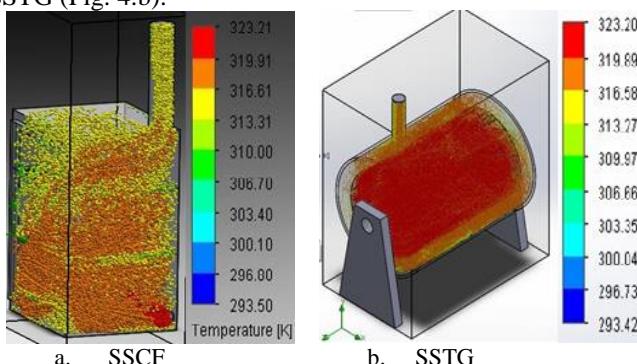


Fig. 4. Vista isométrica de la simulación de flujo de aire a 50 °C en los silos secadores

De acuerdo a la distribución térmica del flujo de aire durante el proceso de secado en el SSCF (Fig. 4.a), se aprecia disipación de calor al contacto con las paredes y rejillas de la unidad de secado, presentando un gradiente de temperatura a la altura de cada una de las rejillas. El flujo de aire cercano a la rejilla 1 alcanza una temperatura mayor a los 43,5°C. El flujo de aire presente para la rejilla 2 alcanza temperaturas entre 33 y 47°C.

Por lo que, el flujo de aire caliente no es homogéneo al interior del SSCF.

En la simulación del proceso de secado en el SSTG se obtiene igualmente la distribución más homogénea del flujo de aire caliente (Fig. 4.b), aunque hay un gradiente de temperatura entre los dos cilindros, el cilindro interno posee uniformidad de temperatura, aprovechando el aire caliente que es inyectado en la unidad de secado. El flujo de aire presente en el cilindro interno alcanza una temperatura mayor a 46,74°C. El flujo de aire presente en el cilindro externo ronda entre 47-37°C, sin generar impacto en el secado del material porque no habría contacto con este. Los resultados de la distribución térmica del flujo de aire, muestran que el aire contenido en la unidad de secado varía 3,2°C, ya que la energía calórica del flujo de aire entraría en contacto directo con el lote de producción y el contorno del cilindro interno, teniendo mayor eficiencia que el SSCF.

De la simulación se obtiene las temperaturas mínimas, máximas y promedio de las partículas de aire durante el secado (Tabla IV).

Tabla IV.
Comportamiento térmico del aire caliente dentro de los Silos Secadores.

Temperaturas partículas	Valor (K)	Promediado (K)	Mínimo (K)	Máximo (K)
SSCF	Mínima	293,6	293,59	293,58
	Promedio	294,25	294,25	294,29
	Máxima	296,60	296,56	296,48
SSTG	Mínima	316,42	316,41	316,39
	Promedio	319,55	319,53	319,49
	Máxima	323,20	323,20	323,20

Con la ecuación del FD térmico (Ec.1) y las temperaturas obtenidas en el flujo del aire (Tabla IV), se hallan los valores de eficiencia térmica del flujo de aire (Tabla V).

Tabla V.
Factor de disipación térmica del flujo de aire del SSTG.

Temperatura partículas	Valor promediado [K]	FD [%]
SSCF	Mínima	293,59
	Promedio	294,25
	Máxima	296,56
SSTG	Mínima	316,41
	Promedio	319,53
	Máxima	323,20

Se observa que el FD térmica (Tabla V) del flujo de aire dentro del SSCF es de 57,8%, indicando que 28,9°C del flujo de aire son desperdiciados por el sistema, por lo tanto 42,2% de la energía térmica está siendo utilizada (21,1°C) en las paredes y rejillas de la unidad. A su vez el FD térmica del flujo de aire dentro del SSTG (Tabla V) indica que el contorno del cilindro interno tiene una temperatura promedio del 90,9% (45,53°C) de la temperatura inyectada a la unidad de secado, con una perdida aproximada de 4,53°C.

D. Eficiencia global de los Silos

Con la eficiencia térmica global de los silos, se visualiza su comportamiento termodinámico general. Para hallar la eficiencia global se toma el silo como caja negra, con una temperatura de entrada inicial y una temperatura de salida en la chimenea, calculando la energía aprovechada dentro del mismo (Fig. 5). Del procesamiento en la herramienta CAD se obtiene la temperatura de salida de los silos en chimenea (Tabla VI).

Tabla VI.
Temperatura de salida de los Silos

	Temperatura salida chimenea	Valor [°C]
SSCF	Mínima	21,65
	Promedio	21,82
	Máxima	22
SSTG	Mínima	21,39
	Promedio	21,44
	Máxima	21,55

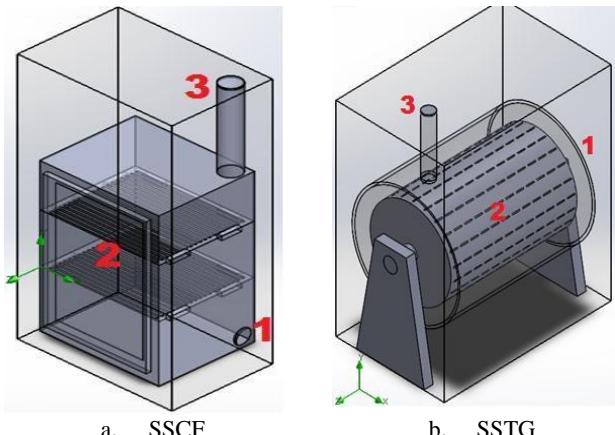


Fig. 5. Visualización tipo caja negra de los Silos Secadores

Se analizan las variables de temperatura de entrada (1) a 50°C, la salida (3) de la chimenea de 21,82°C y la temperatura aprovechada por el silo (2) (Fig. 5.a), con eficiencia térmica de 56,56%. Las variables de temperatura de entrada (1) a 50°C, la salida (3) de la chimenea de 21,47°C y la temperatura aprovechada por el silo (2) (Fig. 5.b), indican eficiencia térmica de 57,06%.

En el SSCF el 56,36% de la energía térmica es aprovechada (28,18°C), disipando 21,82°C, lo cual indica que no es el adecuado para realizar un proceso de secado uniforme. La eficiencia térmica aprovechada por el SSTG es de 57,06% (28,53°C) en su unidad de secado (cilindro interno), disipa 21,47°C, sin embargo, la ventaja del SSTG en su unidad de secado es que el aire entra en contacto directo con el lote de

material y luego hacia la pared del cilindro interno, lo cual mejora considerablemente la distribución térmica de la unidad. La eficiencia térmica de la unidad de secado, permite visualizar la temperatura presente en el área de contacto de la lámina de aluminio con el material, si el FD es pequeño indica que la eficiencia térmica es mayor, el FD del SSTG es de un 9,06% lo que indica que su eficiencia térmica es mucho mayor que el SSCF, el cual posee un FD alto de 56,1% y por lo tanto una eficiencia térmica baja (Tabla VII).

Tabla VII.
Indicadores térmicos de los Silos.

Silo	Área de contacto (FD)[%]	Transferencia flujo de aire (FD) [%]	Silo (FD) [%]	Eficiencia global [%]
SSCF	56,1	57,8	2,84	56,36
SSTG	9,06	7,24	7,6	57,06

El flujo de aire a una temperatura adecuada genera en el material una eliminación rápida de la humedad presente, como se observa en la tabla VII, el FD térmica de transferencia del flujo de aire en el SSTG es de 7,24% lo que indica que la eficiencia de transferencia del flujo de aire es alta y mejor en un 50,56% que el SSCF. El FD de un silo secador, permite observar las perdidas y el comportamiento de la temperatura durante el proceso de secado, para este caso el SSCF posee un FD térmica de 2,84% (1,42°C), para el SSTG el FD térmica es de 7,6% (3,8°C), la diferencia de temperatura entre las unidades de secado, se presenta por la rotación del cilindro interno del SSTG, esta rotación además de mezclar la materia prima y proporcionar uniformidad en el contorno del cilindro interno, evaca mejor el aire.

La eficiencia térmica global de las unidades de secado es similar, el SSTG es mejor que el SSCF en un 1%, la razón principal por que la diferencia entre estos dos equipos es pequeña, es porque el diseño de la estructura de los silos es diferente y la forma en como cada uno aprovecha y distribuye la temperatura es distinta, el flujo de aire caliente en el SSTG circula y está en contacto directo con el lote de material, mientras que el SSCF obstaculiza el flujo y hay más áreas de contacto que disipan el calor. La eficiencia global máxima que se alcanza con los dos silos secadores es de un 66%, ya que se toma a la temperatura ambiente en 19°C (como el cero) y la máxima temperatura en 50°C, 30°C más que la temperatura ambiente.

V. CONCLUSIONES

Se simuló el proceso de secado en dos silos secadores, capa fija y tipo Guardiola usando la herramienta computacional Solid Works, para ello las variables de flujo de aire y temperatura se fijaron en 50°C y 0,583 m³/s en la unidad de secado. De los resultados obtenidos se concluye que el FD del SSTG es mejor en un 47,04% que el SSCF. Se comprobó que el SSTG posee mejor distribución termodinámica que el silo secador de capa fija, mejorando la calidad y aumentando la uniformidad de humedad en el lote de material, esta conclusión se obtuvo de tres indicadores resultantes de la simulación; el primero, el FD

térmica de transferencia del flujo de aire en el SSTG, es de 7,24% lo que indica que la eficiencia de transferencia del flujo de aire es alta y mejor en un 50,56% que el SSCF, que está alrededor de 57,8%. El segundo indicador comprobó que el FD térmica en las paredes de las unidades de secado, el SSCP (2,84%) es mejor que el SSTG (7,6%), la diferencia de temperatura entre las unidades de secado, se puede explicar por la rotación del cilindro interno del SSTG, esta rotación además de mezclar la materia prima y proporcionar uniformidad en el contorno del cilindro interno, ayuda a evacuar más rápido el aire húmedo y a disipar el calor existente dentro de la unidad de secado. El tercer indicador comprobó la eficiencia térmica de las dos unidades de secado que son similares (SSTG un 57,06% y SSCF un 56,06%), aunque su diferencia es pequeña el diseño de la estructura de los silos es diferente y la manera en como cada unidad de secado aprovecha y distribuye la temperatura es distinta, el flujo de aire caliente en el silo tipo guardiola circula y está en contacto directo con el lote de producción, mientras que el silo de capa fija obstaculiza el flujo y hay más áreas de contacto disipando el calor.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad del Cauca por la colaboración prestada en la realización de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] L. Rosales and C. Patricia, "Efecto del proceso de secado en las características físico-químicas y sensoriales de café especial (var. Pacamara)," Escuela Agrícola Panamericana, 2016.
- [2] R. T. Gallo, P. J. M. Lugo, and K. A. M. Padilla, "Diseño y construcción de un sistema híbrido de calentamiento de aire por combustión de biomasa y radiación solar, utilizando PCM como fuente de almacenamiento térmico, para secado de Yuca," *TecnoLógicas*, vol. 20, no. 39, 2017.
- [3] Q. Yin, Q. Chen, W.-J. Du, X.-L. Ji, and L. Cheng, "Design requirements and performance optimization of waste heat recovery systems for rotary kilns," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 93, pp. 1–8, 2016. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.078
- [4] L. M. Estrada Velázquez, "Tipo De Secado Y Características En Algunos Alimentos.," Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2006.
- [5] Q. Olgui and R. Durán, "Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero," *Rev. Mex. Ciencias Agric.*, vol. 8, no. 2, 2017, pp. 321–331, 2017. DOI: 10.29312/remexca.v8i2.53
- [6] J. Alonso, K. Z. García-Jarquín, K. González-Lindo, and M. Benavente, "Flour for instant mashed potatoes," *Nexo Rev. Científica*, vol. 27, no. 2, pp. 99–114, 2014.
- [7] M. J. Sierra and O. A. Pérez, "Evaluación y Optimización de Secador Híbrido para Yuca," *Inf. Tecnol.*, vol. 27, no. 2, pp. 77–86, 2016. DOI: 10.4067/S0718-07642016000200010
- [8] N. Cerquera-Peña and E. Pastrana-Bonilla, "Evaluación de la eficiencia del uso de combustible en los hornos tradicionales de curado de Tabaco," *Ing. y Región*, pp. 107–116, 2014.
- [9] E. Cardona, L. Rodríguez, E; Cadena, "Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca," *Rev. lasallista Investig.*, vol. 13, no. 27, p. 37, 2016.
- [10] J. Álvaro, R. Ángulo, T. Margarita, R. Rocha, A. Ricardo, and A. Arrieta, "deshidratación por convección forzada Drying of tabasco pepper (*Capsicum frutescens*) using air-forced dehydration," *Prospect.* vol.14 no.1 Barranquilla Jan./June 2016. DOI: 10.15665/rp.v14i1.643
- [11] R. Antonio and P. Mayorga, "Design of an automated system for drying corn and storage, disposal fungal, insect and dirt," *Rev. BI.* pp. 35–56.
- [12] C. E. Oliveros Tascon, J. R. Sanz Uribe, C. a. Ramírez Gomez, and A. Peñuela Martínez, "Secador solar de túnel para café pergaminio," *Cenicafé*, vol. 353, pp. 1–8, 2006.
- [13] G. Inés Puerta-Quintero, "Riesgos Para La Calidad Por La Comercialización De Café Pergamino Húmedo," *Cenicafé*, vol. 241 p. 4, 2008.
- [14] C. A. González-Salazar, J. R. Sanz-Uribe, and C. E. Oliveros-Tascón, "Control De Caudal Y Temperatura De Aire En El Secado Mecánico De Café," *Cenicafé*, vol. 61, no. 4, pp. 281–296, 2010.
- [15] R. O. Hernandez, L. M. G. Garcia, I. de F. F. Tinoco, J. A. O. Saraz, and I. D. A. Torres, "Simulation of a thermal environment in two buildings for the wet processing of coffee," *Dyna*, vol. 82, no. 194, pp. 214–220, 2015. DOI:10.1544/dyna.v82n194.49526
- [16] H. J. Ciro, M. C. Rodríguez, and J. L. L. Castaño, "Secado de Café en Lecho Fijo con Intermisión Térmica y Flujo de Aire Pulsado," *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*, vol. 64, no. 2, pp. 6247–6255, 2011.
- [17] N.E. Cerquera, E; Pastrana, Eduardo. Evaluation of energy efficiency in traditional tobacco curing ovens. *Revista EIA*, 2014, no 22, p. 155-165. DOI: 10.14508/reia.2014.11.22.155-165.
- [18] G. A. Vargas-Elías, P. Correa, N. De Souza, F. Baptestini, and E. De C. Melo, "Kinetics of mass loss of Arabica coffee during roasting process," *J. Brazilian Assoc. Agric.*, vol. 36, no. 31, pp. 300–308, 2016. DOI:10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p300-308/2016



Juan Fernando Florez Marulanda, received the Engineering degree in Electronics and Telecommunications Engineering, specializing in Telematics Networks and Services, and in Industrial Computing, with a Master's Degree in Electronics Engineering from Universidad del Cauca. Practicing teaching at the Universidad

del Cauca since 1998, guiding subjects in the area of instrumentation, control, and automation; directing at the same time degree works related to ISA, ISO and IEEE standards, energy efficiency in the industry, and industrial process automation methodology.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1646-4419>



Fabián Darío Guzmán Mamíán, received the Engineering degree in industrial automatic Engineering from Universidad del Cauca in 2016, he is in the specialization in computer security of the Universidad Autónoma de Occidente. His areas of interest are Telecommunications, Automation and Control

Systems, Systems and Communications Engineering.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7272-7338>