

# Proyecto interdisciplinario en ingeniería para experiencia de laboratorio y simulación térmica de un horno experimental de secado de biomasa como medio de aprendizaje

## Interdisciplinary project in engineering for laboratory experience and thermal simulation of an experimental biomass drying oven as a learning medium

Jonathan FABREGAS Villegas [1](#); Henry SANTAMARÍA de la Cruz [2](#); Fabio BERMEJO Altamar [3](#); Wilman OROZCO Lozano [4](#)

Recibido: 21/03/2018 • Aprobado: 10/04/2018

### Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Metodología](#)
- [3. Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)

[Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

El presente trabajo muestra un proyecto de aula basado en Aprendizaje basado en problemas (ABP) para estudiantes de últimos semestre de programas de ingeniería mecánica, química, de alimentos y afines, este tiene como principal objetivo que los estudiantes tengan la posibilidad de comparar y evaluar los modelos de cantidad de movimiento y transferencia de calor en un sistema cerrado para un horno de secado de biomasa, comparando experimentalmente los resultados con un equipo construido.

**Palabras clave:** Aprendizaje basado en problemas (ABP), Secado de biomasa, Proyecto integrador de aula.

#### ABSTRACT:

This paper shows a classroom project based on problem-based learning (ABP) for students in the last semester of mechanical engineering, chemistry, food and related programs, the main objective of which is that students have the possibility to compare and evaluate the models of momentum and heat transfer in a closed system for a biomass drying oven, experimentally comparing the results with a built equipment.

**Keywords:** Problem-based learning (ABP), Biomass drying, Classroom integrator project.

## 1. Introducción

En los cursos disciplinares de ingeniería el principal desafío es que los estudiantes puedan contrastar el comportamiento de un fenómeno con sus ecuaciones de gobierno y que por otro lado los docentes no solamente sean transmisores de contenidos curriculares sino orientadores, expertos o guías de los estudiantes en la solución de problemas Torres José et al. (2016). La experimentación y el desarrollo de prácticas de laboratorio son fundamentales para lograr este objetivo. En este artículo se presenta el desarrollo y validación de un horno de secado como dispositivo base para que se comprueban la cantidad de calor y la cantidad de movimiento de aire caliente dentro de un horno de secado para biomasa, esto comparándolo con diferentes simulaciones computacionales por medio de elementos finitos. En el desarrollo de las prácticas se comparará un horno experimental de secado de calentamiento eléctrico de aproximadamente un 1 Ft<sup>3</sup> de forma cuadrada previamente construido, con tres simulaciones computacionales de modificaciones de la cámara secadora del horno, pero con diferentes formas. Con el fin de que los estudiantes observen, comprueben e infieran las razones de cada uno del comportamiento de las distintas configuraciones, y puedan seleccionar la que tenga una mejor distribución de flujo de aire caliente. Con el desarrollo de esta práctica se puede evaluar y complementar con los métodos tradicionales de educación con los no tradicionales como el ABP. Acosta Carlos (2017).

---

## 2. Metodología

En los programas universitarios de ingeniería mecánica y programas afines, en las áreas específicas de la profesión se encuentran relacionadas en el currículo asignaturas como Transferencia de calor, Dibujo mecánico, matemáticas aplicadas, termodinámica, ciclos térmicos entre otras asignaturas afines con el área de termo fluidos y mecánica de medios continuos. Que permiten al estudiantado aprender a identificar y seleccionar ecuaciones de gobierno que representen un fenómeno así como su método de solución y análisis.

Con el motivo de que el estudiantado pueda validar, experimentar y contrastar los conocimientos aprendidos en las áreas de termo fluidos y mecánica de medios continuos, se propone realizar prácticas de laboratorio donde de manera interdisciplinar los estudiantes que residan en las asignaturas de matemáticas aplicadas, mecánica de fluidos, termodinámica, ciclos térmicos, transferencia de calor y masa, electivas de simulación por computador y energías renovables. Desarrollen la experiencia de secado de biomasa que permite desde los ámbitos energéticos y ambientales aportar al uso de los residuos del sector agroindustrial como fuentes de energías no renovables o materiales para construcción .Sequeda L. et al. (2016). Así como también se proponen alternativas de rediseño de la cámara secadora del horno con el fin de evaluar los saberes aprendidos mediante análisis por elementos finitos, con el motivo de mejorar el proceso de secado para alimentos implementado en el horno diseñado para este fin. Fabregas Jonathan (2017), para ello se requiere realizar la optimización del proceso de secado para satisfacer la experiencia utilizando distintos alimentos y materiales biomásicos. Oikonomopoulou V. & Krokida M. (2013), modificando las características de diseño de la cámara secadora del horno. Proponiendo modificaciones para la cámara secadora, siendo analizadas por medio de software de dinámica de fluidos computacional (CFD). Naknaen P (2014). para obtener de manera precisa el comportamiento de los elementos en su interior, como lo son: las resistencias térmicas, sistema de ventilación, ubicación de la biomasa, geometría de la cámara secadora, entradas y salidas del agente secante.

Con motivo de reorientar los currículos de las asignaturas se propone incluir en el Syllabus de las materias antes mencionadas incluir como proyecto de aula el proceso de secado de material biomásico utilizando un horno de secado diseñado para este fin, en donde se valide por medio de experimentación los saberes teóricos aprendidos durante el programa académico de la asignatura presentando un documento y sustentación de la experiencia impartida. Ozgen F. (2015). Abordando las asignaturas y los núcleos temáticos que se observan en la siguiente figura 1.

**Figura 1**

Asignaturas interrelacionadas por contenido



El Horno utilizado para realizar las experiencias cuenta con sistemas de medición de presión, válvulas de vacío, controladores de energía y temperatura, sistema de ventilación interna, resistencias térmicas y una balanza externa para registrar el peso de la biomasa a estudiar y su pérdida de humedad, como se observa en la figura 2.

**Figura 2**  
Horno secador experimental de biomasa



## 2.1. Modelos numéricos

Para el desarrollo del proyecto integrador se relacionan los modelos presentes en las asignaturas de transferencia de calor, mecánica de medios continuos, transferencia de masa y mecánica de fluidos, que describen el comportamiento del proceso de secado de material biomásico. Los modelos matemáticos mediante software CFD que permiten analizar el comportamiento de la turbulencia de flujo de fluidos representados por el modelo de turbulencia K-epsilon ( $k-\epsilon$ ) son mostrados a en las ecuaciones (1-3) a continuación. Khan F. & Straatman A. (2016).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (1) \quad \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) +$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (2)$$

$$C_1 = \max \left[ 0.43, \frac{n}{n+5} \right], n = S^{\frac{k}{\varepsilon}}, S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (3)$$

Donde  $G_k$  Representa la generación de turbulencia energía cinética debido a los gradientes de velocidad media,  $G_b$  Es la generación de energía cinética turbulenta debido a la flotabilidad  $Y_M$  Representa la contribución de la dilatación fluctuante en la turbulencia compresible a la tasa global de disipación.

Para la conservación de masa y continuidad de las especies se representa a continuación en la ecuación 4 el modelo utilizado:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = S_m \quad (4)$$

Donde  $S_m$  es la masa que se añade a la fase continúa de la segunda fase dispersa,  $\rho$  es la densidad de la sustancia.

También se utilizan los modelos de conservación de energía que son representados por la ecuación (5).

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho E + \nabla \cdot (\rho \vec{v}_r H + p \vec{u}_r) = \nabla \cdot (k \nabla T + \vec{\tau} \cdot \vec{v}) + S_h \quad (5)$$

Donde  $\rho$  es la densidad,  $E$  es la energía total,  $H$  es la entalpía total,  $\vec{v}_r$ ,  $\vec{u}_r$ : son las velocidades radiales,  $\vec{\tau}$  es los esfuerzos cortantes.

Así como también son utilizados los modelos de conservación de especies mostrado en la ecuación (6)

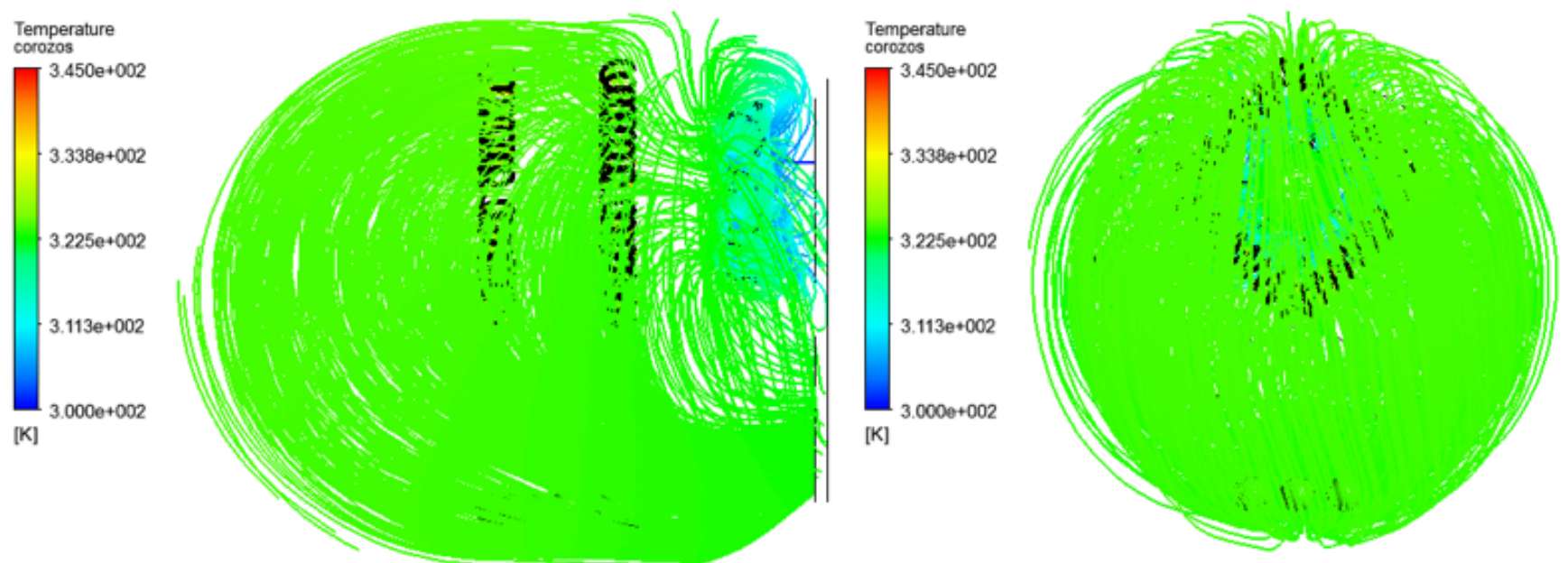
$$\frac{\partial}{\partial t} \rho Y_i + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (6)$$

Donde  $R_i$  es la tasa neta de producción de especies  $i$  por reacción química,  $S_i$  es la tasa de creación por adición de la fase dispersa más cualquier fuente definida por el usuario,  $\vec{J}_i$  es el flujo de difusión de especies  $i$  y  $Y_i$  es la fracción de masa por especies  $i$ .

### 3. Resultados

Como primeras muestras de los estudios realizados por el proyecto integrador el estudiantado identifico por medio de mecánica de medios continuos realizando análisis por medio de elementos finitos el comportamiento de tres modificaciones de la cámara secadora del horno y realizando un análisis de los resultados obtenidos.

**Figura 3**  
Perfil de temperatura con respecto a las líneas de flujo horno 1

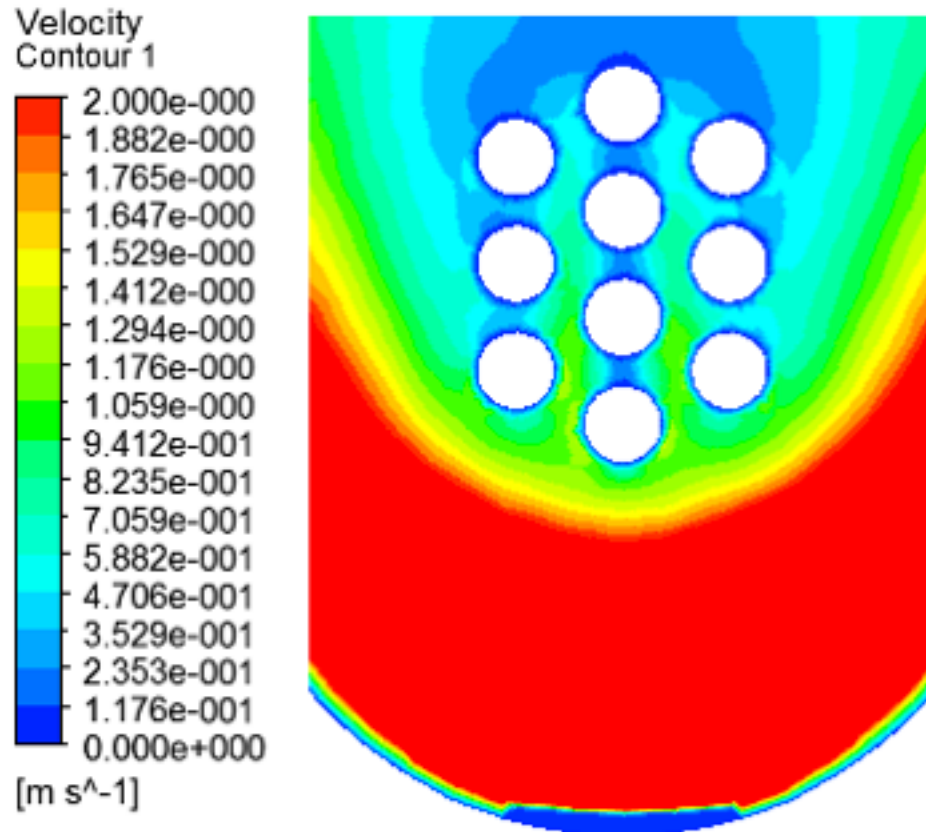


En la Figura 3 se muestra el perfil de temperatura al interior del horno modificado 1, el cual cuenta con entrada de aire externo y salida al ambiente externo, ubicadas en la parte trasera del ventilador y debajo de esta respectivamente, donde se puede apreciar que las líneas de flujo al interior del horno cuenta con buena distribución sin dejar zonas de estancamiento de flujo, mientras que la temperatura para condiciones de energía de entrada estables no alcanza la temperatura deseada de 70°C obteniendo una temperatura de equilibrio de 50°C aproximadamente.

Generando un perfil plano de la zona de contacto de las muestras de biomasa, se analiza el contorno de velocidades como se muestra en la figura 4 a continuación.

**Figura 4**

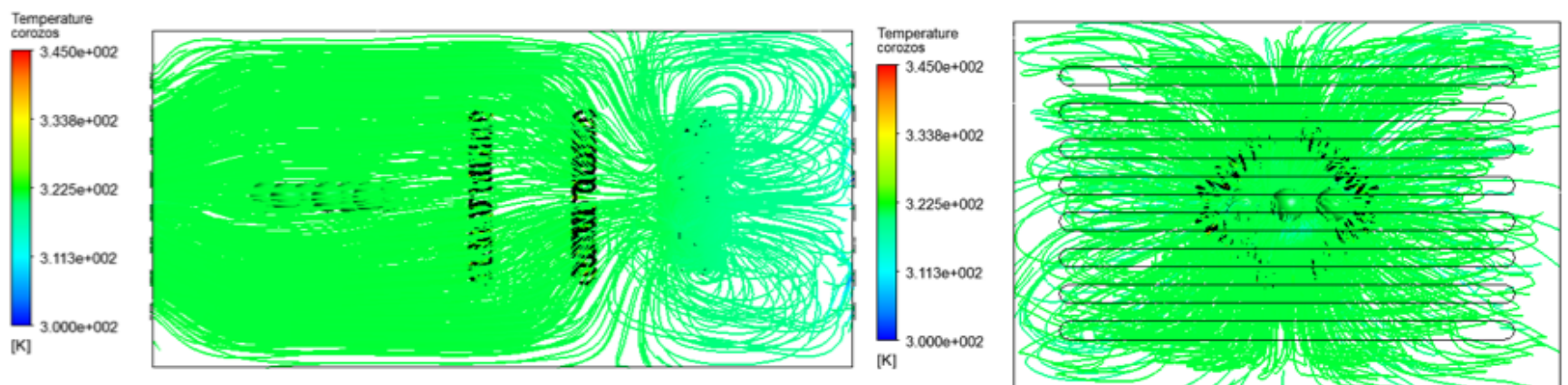
Perfil de velocidad en la zona de biomasa en el horno 1



Como se representa en la figura anterior se puede destacar la zona de baja velocidad que se muestra en la parte trasera de las muestras de biomasa, obtenida por la cercanía a la apertura de salida al ambiente que tiene este horno. También se puede observar que entre las muestras de biomasa se encuentran zonas de baja velocidad. Siguiendo con el análisis se presenta el perfil de temperatura y líneas de flujo del horno modificado 2 como se muestra en la figura 5, que cuenta con una configuración rectangular y entrada y salida ubicadas en la parte trasera y delantera del horno respectivamente, configuración por la cual la posición de las muestras de la biomasa se encuentra en línea con el eje del ventilador y las resistencias térmicas.

**Figura 5**

Perfil de temperatura con respecto a las líneas de flujo horno 2

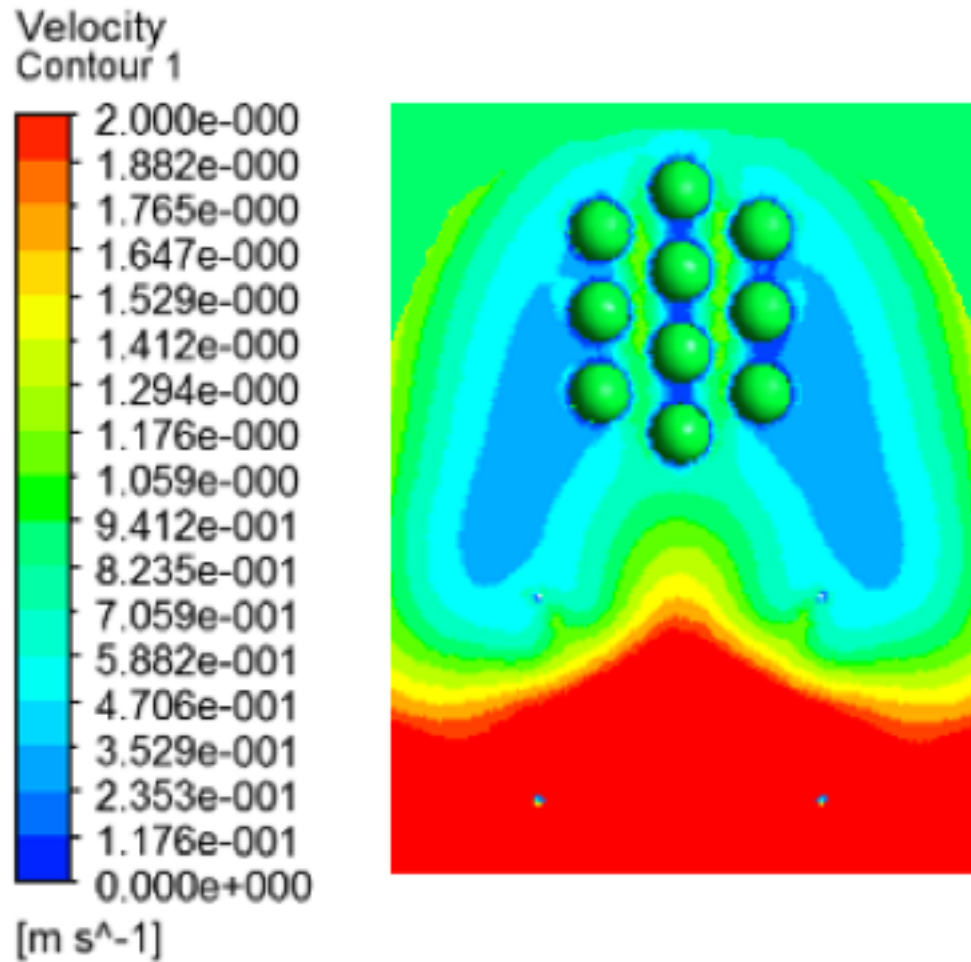


En la figura anterior se observa la temperatura de estabilización del flujo del aire en el recorrido al interior del horno la cual cuantifica un valor estimado de 50°C para la fuente de calor con la que se hicieron las corridas de simulación, las líneas de flujo muestran zonas de

estancamiento en los bordes rectos de la cavidad del horno.

**Figura 6**

Perfil de velocidad en la zona de biomasa en el horno 2

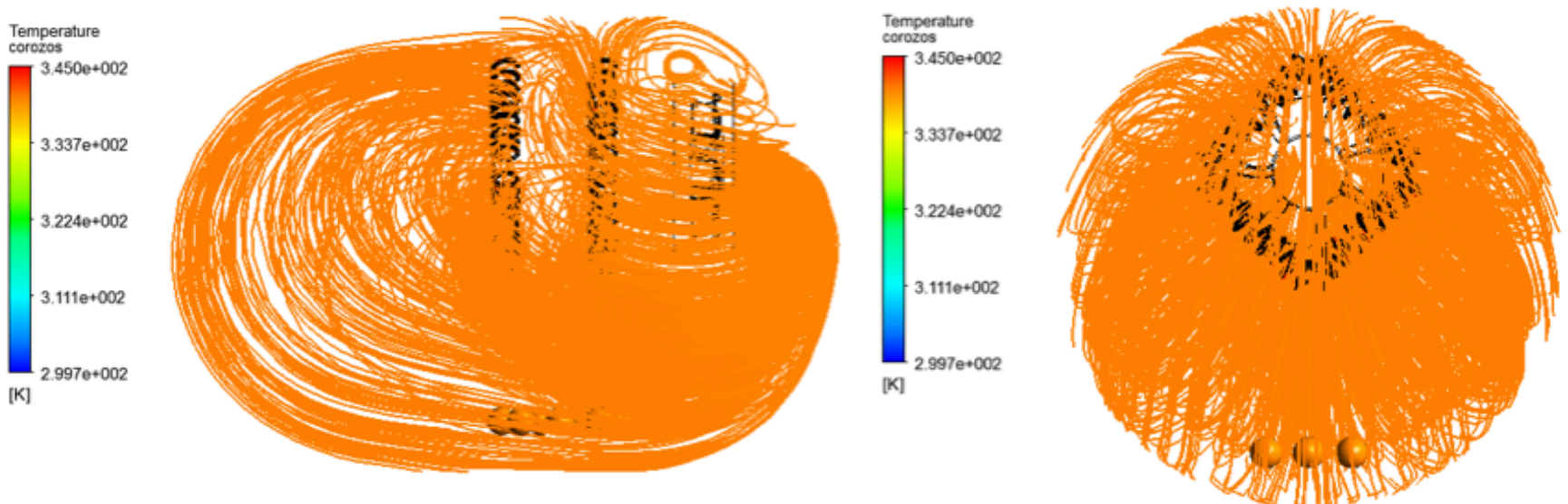


En la figura 6 se observa la obstrucción que genera al perfil de velocidad el posicionamiento de las muestras de biomasa contra el flujo de aire, también se puede observar que en los laterales de las muestras de biomasa se crean zonas de baja velocidad del flujo.

Mientras que al realizar la simulación de un perfil de horno modificado ovalado sellado al utilizar la fuente de calor configurada se alcanza la temperatura de equilibrio de  $70^{\circ}C$  la cual es adecuada para el secado de las muestras, también se observa que las líneas de flujo mantienen una buena distribución en el interior del horno como se muestra en la figura 7 a continuación.

**Figura 7**

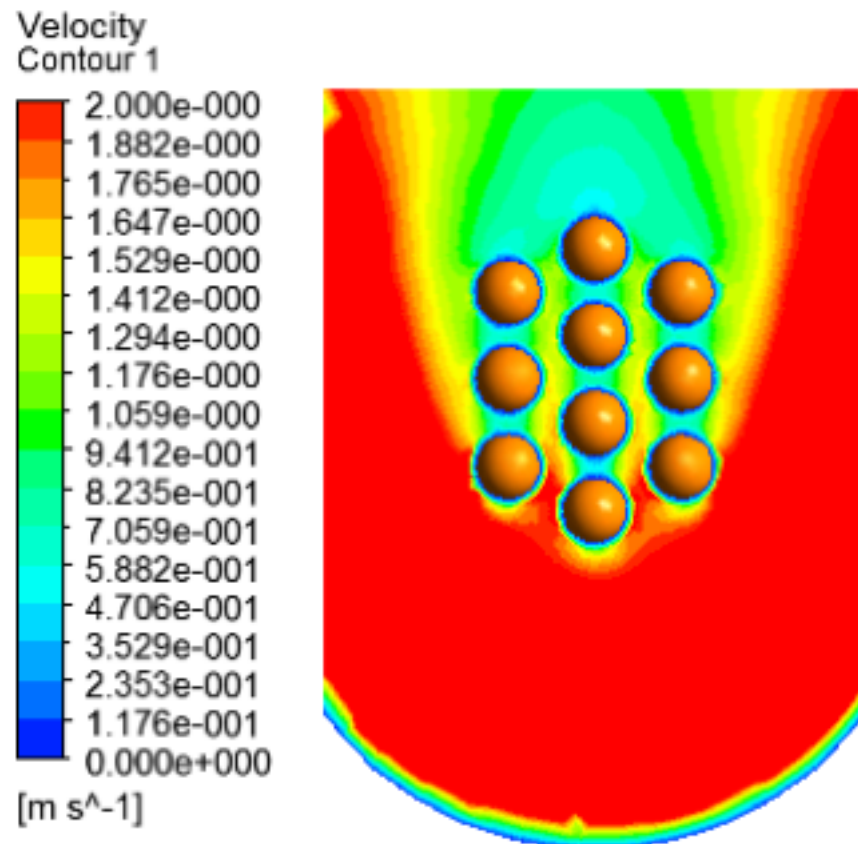
Perfil de temperatura con respecto a las líneas de flujo horno 3



Analizando los perfiles de velocidad mediante un plano de contorno como se muestra en la figura 8 se observa distribuciones de velocidad omogeneas entre las muestras lo cual es beneficioso para un proceso de secado. Destacando la modificación del horno 3 con respecto a los demas diseños estudiados.

**Figura 8**

Perfil de velocidad en la zona de biomasa en el horno 3



## 4. Conclusiones

Se obtiene interés por el cuerpo estudiantil de realizar prácticas de laboratorio que les permitan validar los saberes teóricos aprendidos en los contenidos programáticos de las asignaturas en las áreas de mecánica de medios continuos con respecto a los resultados obtenidos experimentalmente.

Los resultados demuestran un análisis detallado del comportamiento de los elementos en el interior de las cámaras secadoras de tres modificaciones del horno de secado, en las cuales se muestran perfiles de temperaturas y líneas de flujo.

En los análisis realizados se muestra que la modificación del horno 3 se obtiene perfiles de temperaturas de 70°C adecuados para una práctica de secado de biomasa, en comparación a las otras dos modificaciones que presentan bajas temperaturas de sostenimiento.

La integralidad de las asignaturas impulsa la motivación de los estudiantes ya que esta permite interactuar con alumnos de diferentes semestres permitiendo creando espacios donde se comparten los saberes.

## Referencias bibliográficas

TORRES, José D, ACEVEDO, Diofanor, & MONTERO, Piedad M. Proyectos de Aula Semestrales como Estrategia Pedagógica para la Formación en Ingeniería. Formación universitaria, Vol. 9, Año 2016, Numero. 3, Pág. 23-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062016000300004>

ACOSTA, Carlos A. El uso de una estrategia híbrida entre aprendizaje basado en problemas y clases magistrales para mejorar aprendizajes. Revista Electrónica Educare, Vol. 18, Año 2017, Numero. 3, Pág. 143-158. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-42582014000300008&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-42582014000300008&lng=en&tlng=es).

SEQUEDA, L., BARRERA, A., CELIS, C., IGLESIAS, J. and MORALES, L. Evaluation of antioxidant and cytotoxic activity of extracts from fruits in fibroblastoma HT1080 cell lines: four fruits with commercial potential in Colombia, Emirates Journal of Food and Agriculture, Vol. 28, Año 2016, Numero. 2, Pág. 143-152. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2015-11-1007>

FABREGAS, Jonathan, SANTAMARIA, Henry, BERMEJO, Fabio, OROZCO, Wilman, BULA, Antonio. Obtaining fruit-drying curves and CFD analysis for corozo (*Bactris guineensis*). Contemporary Engineering Sciences, Vol. 10, Año 2017, Numero. 12, Pág. 569-577. <https://doi.org/10.12988/ces.2017.7656>

OIKONOMOPOULOU, V., and KROKIDA, M. Novel aspects of formation of food 576 Jonathan Fabregas Villegas et al. structure during drying, *Drying Technology*, Vol. 31, Año 2013, Numero. 9, Pág.990-1007. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.771186>

NAKNAEN, P. Physicochemical, thermal, pasting and microstructure properties of hydroxypropylated jackfruit seed starch prepared by etherification with propylene oxide, *Food Biophysics*, Vol. 9, Año 2014, Numero. 3, Pág. 249-259. <https://doi.org/10.1007/s11483-014-9347-2>

OZGEN, F. Experimental investigation of drying characteristics of cornelian cherry fruits (*Cornus mas L.*), *Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, Año 2015, Numero. 3, Pág. 343- 352. <https://doi.org/10.1007/s00231-014-1397-y>

KHAN, F. and STRAATMAN, A. A conjugate fluid-porous approach to convective heat and mass transfer with application to produce drying, *Journal of Food Engineering*, Vol. 179, Año 2016, Pág.55-67. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.029>

---

1. MSc. Ing. Mecánico, Grupo de Investigación GI Fourier, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Antonio Nariño, E-mail: [jonathan.fabregas@uan.edu.co](mailto:jonathan.fabregas@uan.edu.co)

2. MSc. Ing. Mecánico, Grupo de Investigación GI Fourier, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Antonio Nariño, E-mail: [hesantamaria@uan.edu.co](mailto:hesantamaria@uan.edu.co)

3. MSc. Ing. Mecánico, Grupo de Investigación GI Fourier, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Antonio Nariño, E-mail: [fbermejo@uan.edu.co](mailto:fbermejo@uan.edu.co)

4. MSc. Ing. Mecánico, Grupo de Investigación GI Fourier, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Antonio Nariño, E-mail: [wilman.orozco@uan.edu.co](mailto:wilman.orozco@uan.edu.co)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 39 (Nº 20) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a [webmaster](mailto:webmaster)]

©2018. revistaESPACIOS.com • Derechos Reservados