

# Eficiencia de combustión y emisiones de CO/NOX determinadas mediante simulaciones numéricas para una estufa eficiente de biomasa: efecto de la relación del exceso de aire

Paulo C. Medina Mendoza <sup>1,\*</sup>, Agustín Mora Ortega <sup>1</sup> y Alberto Beltrán Morales <sup>2</sup>

<sup>1</sup> División de Ingeniería Mecánica, Mecatrónica e Industrial, Tecnológico Nacional de México (TecNM)/TES de Ecatepec, Ecatepec de Morelos, Estado de México, México.

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Morelia, Michoacán, México.

\* Autor de correspondencia: [paulomedina@tese.edu.mx](mailto:paulomedina@tese.edu.mx)

Energías Renovables (Biomasa). Ponencia Virtual

Recibido: 27 de abril de 2023

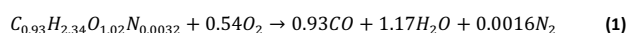
Aceptado: 15 de junio de 2023

Publicado: 23 de noviembre de 2023

**Palabras clave:** eficiencia de combustión; emisiones; relación de exceso de aire; estufa de biomasa.

**Introducción.** Alrededor de 2400 millones de personas utilizan biomasa tradicional en todo el mundo para cocción de alimentos y calefacción de espacios representando cerca de 25 EJ (IEA., 2022). Recientemente, la dinámica de fluidos computacional (CFD) se ha utilizado para simular los procesos de gasificación y combustión tanto de estufas eficientes de biomasa (IBS) como de otros dispositivos térmicos (Kumar and Paul., 2019; Zdravec et al., 2020). El objetivo de esta investigación es analizar el efecto de diferentes valores de exceso de aire ( $\lambda$ ) sobre el rendimiento de la estufa 'TUYA' tipo plancha a través de simulaciones numéricas. Se utiliza un modelo químico de dos reacciones para determinar la eficiencia de combustión volátil (VCE), las emisiones de CO<sub>2</sub>/CO y los óxidos de nitrógeno (NOX); así como, parámetros como la eficiencia térmica numérica (NTE) y la transferencia de calor a través del comal.

**Materiales y Métodos. 1. Metodología experimental.** En relación con el trabajo publicado por Medina et al., (2022), la estufa TUYA fue evaluada mediante 3 pruebas experimentales para diferentes valores de potencia de entrada: 3.78 kW (Prueba 1), 4.72 kW (Prueba 2) y 5.79 kW (Prueba 3) para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO y NOX, eficiencia modificada de combustión (MCE) y eficiencia térmica experimental (ETE). Las emisiones de los tres contaminantes se determinaron mediante equipos de medición especializado. La descripción completa es reportada por Medina et al., (2022). **2. Metodología numérica.** Las siguientes reacciones fueron consideradas para el modelo de gasificación y combustión en el software ANSYS Fluent<sup>TR</sup>:



Se simuló 4 casos con diferentes valores de exceso de aire:  $\lambda = 1.5, 2, 2.5$  y  $3$  siendo la temperatura adiabática de combustión para cada caso 1723, 1473, 1273 y 1123 K, respectivamente, de acuerdo a lo reportado por Koppejan and Van Loo (2012). La relación estequiométrica  $\lambda = 1$  también fue simulada con una temperatura de 2253 K. Los parámetros globales determinados numéricamente fueron VCE, emisiones de CO<sub>2</sub>, CO y NOX, eficiencia térmica numérica (NTE) y transferencia de calor.

**Resultados.** La Figura 1 muestra la relación entre MCE/VCE y las emisiones de CO<sub>2</sub> para los diferentes casos de simulación numérica y pruebas experimentales. El rango de valores del coeficiente R<sup>2</sup> fue de 0.532 ( $\lambda = 1$ ) a 0.9874 ( $\lambda = 2.5$ ) para los casos numéricos; mientras que para las medidas experimentales fue de 0.969. La Figura 2 reporta los perfiles de temperatura en el comal de la estufa TUYA para los diferentes casos de simulación y la referencia experimental. Se observa una clara similitud en las comparaciones, así como una mayor distribución de la temperatura del comal en el caso de  $\lambda = 3$ . La Figura 3 muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> y VCE versus la temperatura adiabática de combustión. Se observa que para el caso de  $\lambda = 3$  se

obtuvieron tanto las mayores emisiones de CO<sub>2</sub> como las eficiencias de combustión más elevadas.

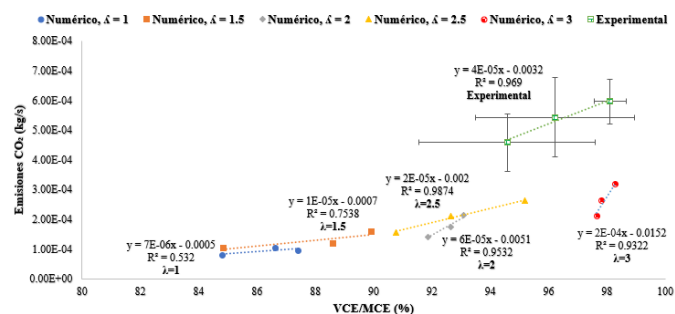


Figura 1. Relación entre la eficiencia de combustión y las emisiones de CO<sub>2</sub> para las diferentes simulaciones numéricas y pruebas experimentales.

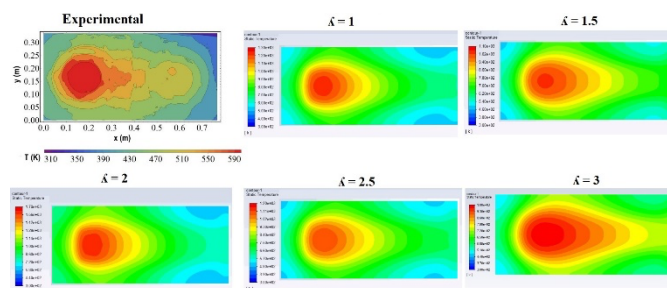


Figura 2. Perfiles de temperatura en el comal de la estufa tipo plancha TUYA. Comparación entre imagen experimental y simulaciones numéricas.

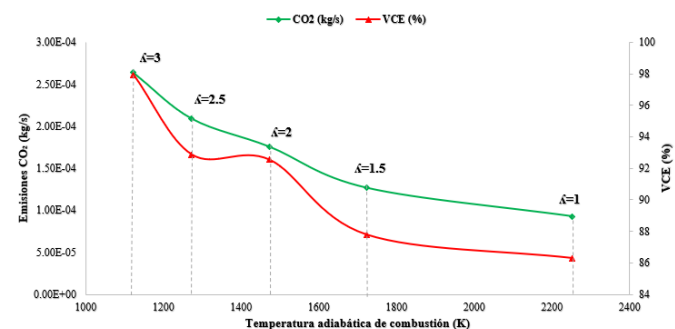


Figura 3. Emisiones de CO<sub>2</sub> y VCE vs temperatura adiabática de combustión.

**Conclusiones.** Los resultados de este trabajo muestran que  $\lambda$  tiene una influencia significativa en la eficiencia numérica de combustión (VCE) lo que significó mayores emisiones de CO<sub>2</sub>. Para  $\lambda = 2.5$  y  $3$  los valores de VCE fueron de hasta 95 y 98%, respectivamente, con diferencia de  $\leq 1\%$  entre resultados experimentales y numéricos lo cual valida el modelo de combustión-gasificación utilizado. Los resultados para la comparación de perfiles temperatura entre mediciones experimentales y simulaciones numéricas, muestran una

buena concordancia lo que valida el fenómeno de transferencia de calor simulado en el comal de la estufa.

#### **Bibliografía.**

- IEA. (2022). International Energy Agency. World Energy Outlook. Tech. Rep.
- Koppejan, J., & Van Loo, S. (Eds.). (2012). The handbook of biomass combustion and co firing. Routledge.
- Kumar, U., & Paul, M. C. (2019). CFD modelling of biomass gasification with a volatile break-up approach. *Chemical Engineering Science*, 195, 413-422.
- Medina, P., Beltrán, A., Núñez, J., & Ruiz-García, V. M. (2022). Transport phenomena in a biomass plancha-type cookstove: Experimental performance and numerical simulations. *Energy for Sustainable Development*, 71, 132-140.
- Zadravec, T., Rajh, B., Kokalj, F., & Samec, N. (2020). CFD modelling of air staged combustion in a wood pellet boiler using the coupled modelling approach. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20, 100715.