

ANÁLISIS DEL DISEÑO DE UNA ESTUFA DE MICRO-GASIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA RESIDUAL

DENNIS ELIZONDO-MONTOYA¹, PEDRO CASANOVA-TRETO², KATTIA SOLÍS-RAMÍREZ³, GEOVANNI CARMONA-VILLALOBOS⁴

¹ Estudiante, Escuela de Ingeniería Mecánica, UCR, San José, Costa Rica, dennis.elizondo@ucr.ac.cr

² D. Sc., Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR, San José, Costa Rica, pedro.casanova@ucr.ac.cr

³ D. Sc., Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR, San José, Costa Rica, kattia.solis@ucr.ac.cr

⁴ Prof. Instructor, Escuela de Ingeniería de Biosistemas, UCR, geovanni.carmona@ucr.ac.cr

Apresentado no

LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMEN: El desarrollo de estufas mejoradas de biomasa busca reducir el consumo de energía y la contaminación del aire, aspectos en los que la gasificación de biomasa es superior a la combustión. Este estudio aborda la construcción y el análisis del rendimiento térmico de una estufa de micro-gasificación mediante la prueba de ebullición de agua. El diseño permite el control de la potencia de combustión y la tasa de alimentación biomasa. El reactor funciona con entradas de aire primario y secundario, junto con un tubo perforado interno para mejorar la turbulencia de los productos de gasificación. Se probó con subproductos forestales de *Cupressus lusitanica* obtenidos de un aserradero local. La biomasa se trituró para obtener chips de madera. La prueba de ebullición de agua reveló un rendimiento térmico del 20,25%. El rendimiento del gasificador aún requiere investigación adicional para proporcionar estas características de diseño y una eficiencia térmica tan alta como los diseños previos propuestos por otros investigadores.

PALABRAS CLAVE: Gasificación, biomasa, eficiencia térmica.

DESIGN ANALYSIS OF A MICRO-GASIFICATION STOVE FOR THE UTILIZATION OF RESIDUAL BIOMASS.

ABSTRACT: The development of improved biomass stoves aims to reduce energy consumption and air pollution, aspects in which biomass gasification outperforms combustion. This study addresses the construction and thermal performance analysis of a micro-gasification stove through the water boiling test. The design allows for control of combustion power and biomass feed rate. The reactor operates with primary and secondary air inlets, along with an internal perforated tube to enhance turbulence of the gasification products. It was tested with forest by-products of *Cupressus lusitanica* obtained from a local sawmill. The biomass was shredded to obtain wood chips. The water boiling test revealed a thermal efficiency of 20.25%. Further research is still required to achieve design features and thermal efficiency as high as those proposed by previous designs from other researchers.

INTRODUCCIÓN: Los procesos de conversión de biomasa extraen la energía útil de los compuestos orgánicos y la transforman en combustible (JANGSAWANG, 2018). Las estufas de gasificación operan mediante un proceso de combustión en dos fases: 1) la biomasa libera el gas de síntesis al exponerse a una atmósfera con bajo contenido de oxígeno y temperatura alrededor de 700 °C a 1000 °C; 2) el aire fresco se mezcla mantener la combustión del gas de síntesis (BALAT et al., 2009a; NJENGA et al., 2016). Durante el proceso, la biomasa se

expone al secado, carbonización y combustión de gas. El gas de síntesis es una mezcla de hidrógeno (H_2), dióxido de carbono (CO_2), butano (CH_4), monóxido de carbono (CO) y nitrógeno (N_2), su proporción depende de parámetros como la composición del combustible, presión de funcionamiento, temperatura, contenido de humedad de los combustibles y otros (BALAT et al., 2009b; NJENGA et al., 2016).

Las estufas de gasificación producen baja cantidad de emisiones y la liberación de material particulado puede ser un 90% menos que una estufa tradicional de combustión (MACCARTY; STILL; OGLE, 2009). La desventaja de la mayoría de los micro-gasificadores es su sistema de alimentación por lote (*batch*), que dificulta el uso continuo.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una estufa micro-gasificadora de convección natural, con sistema de alimentación continua de biomasa y control de la potencia de combustión, para facilitar el uso por periodos prolongados. El diseño planteado consta de materiales estándar, que facilitarían su replicación por potenciales usuarios. El sistema se analizó mediante la prueba de ebullición de agua (PEA) de la Clean Cooking Alliance, que cuantifica el tiempo requerido para hervir una cantidad de agua y el consumo de energía asociado.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se siguió la metodología de Panwar y Rathore (PANWAR; RATHORE, 2007) para determinar las dimensiones de la estufa. El micro-gasificador se construyó utilizando tubo estructural, platina, angular, lámina metálica lisa y varilla de construcción. Los componentes del reactor se presentan en la FIGURA 1.

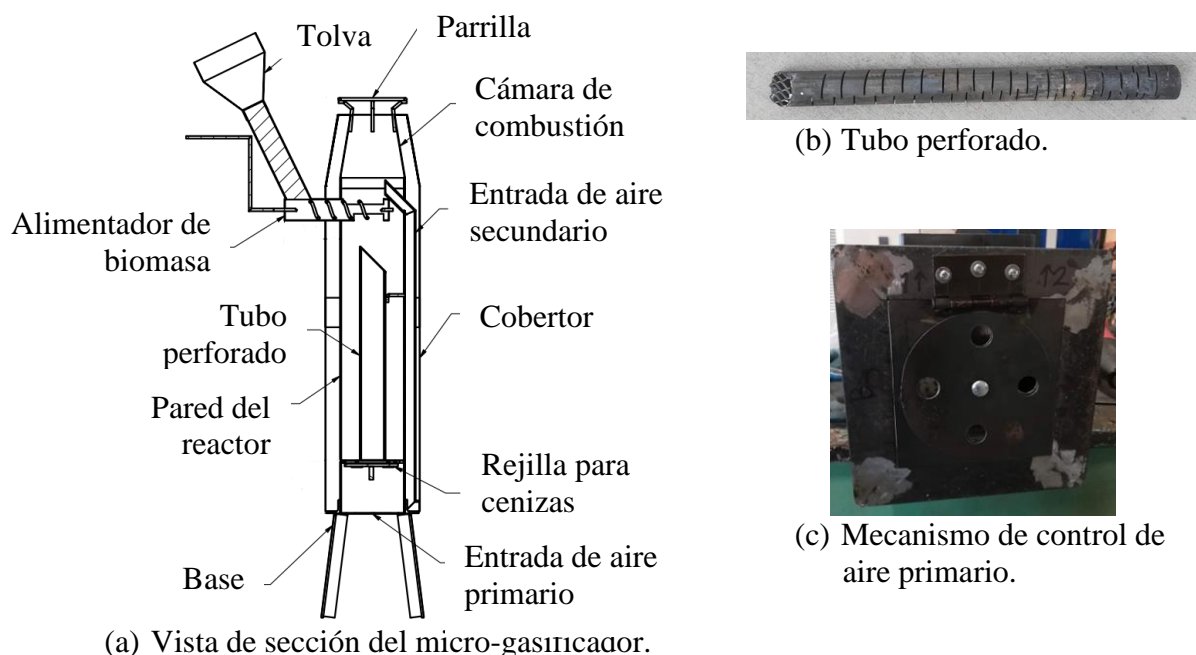


FIGURA 1. Detalles constructivos del micro-gasificador.

El alimentador de biomasa se opera manualmente y está compuesta por un transportador de espiral sinfín ubicado dentro de un tubo circular. El tubo perforado tiene cortes a lo largo de su superficie y su propósito es aumentar la turbulencia dentro del reactor. La entrada de aire secundario suministra aire precalentado a la cámara de combustión, para facilitar la combustión de los productos de la gasificación. El mecanismo de control de la admisión de aire primario consta de dos placas con cuatro agujeros idénticos, unidas por un perno para permitir la rotación. Una de las láminas puede girar mediante una palanca, lo que permite

regular la apertura de los agujeros. Se colocó manta cerámica como aislante térmico entre el cobertor y las paredes del reactor.

La madera de *Cupressus lusitanica* utilizada en las pruebas es un subproducto de un aserradero local. La leña se cortó en una sierra de mesa y después se procesó en una máquina trituradora de ramas para obtener chips de madera. Se determinó el contenido de humedad, la densidad aparente y el poder calorífico de los chips mediante el método de ASTM E871-82, ASTM E873-82 y bomba calorimétrica, respectivamente. La caracterización de la biomasa se presenta en la TABLA 1.

Se utilizó carbón impregnado de kerosén para encender el reactor. Durante la ejecución de las PEA, se monitoreó la temperatura del agua utilizando un termopar de aguja sumergido en la olla. Además, se ubicaron termopares dentro del reactor, espaciados equidistantemente entre sí. Todos los datos fueron registrados a través de un sistema de adquisición de datos.

TABLA 1. Propiedades físicas y térmicas promedio de la leña de *Cupressus lusitanica* usada como combustible para el micro-gasificador.

Característica	Valor
Espesor (mm)	10 a 15
Longitud (mm)	20 a 30
Contenido de humedad (% base húmeda)	14,5 ± 0,1
Poder calorífico inferior (MJ kg ⁻¹)	15,15 ± 0,09
Densidad aparente (kg m ⁻³)	183,76 ± 2,39

RESULTADOS Y DISCUSIÓN: El micro-gasificador inicialmente tenía únicamente la entrada de aire primario, pero durante pruebas preliminares no se alcanzó la combustión a la altura de la cámara de combustión. Al analizar el interior del reactor y los chips sin consumir, se encontró acumulación de alquitrán. Esto demostró la necesidad de suministrar aire fresco para promover la combustión de los productos de la gasificación, lo cual fue posible mediante la adición de una entrada de aire secundario. Esta entrada es un ducto, cuya admisión está en la base del reactor, el aire asciende en contacto con la pared interna del reactor, y se descarga en la cámara de combustión.

A pesar de que se mejoró el funcionamiento del sistema al agregar la entrada de aire secundario, aún se observó la acumulación de alquitrán en el interior del reactor y una combustión intermitente. Como solución, se agregó el tubo perforado, este componente favoreció el flujo dentro del reactor y generó la autoignición del gas al llevar chispas desde la zona de gasificación hasta la cámara de combustión.

La eficiencia térmica promedio en tres PEA fue de 20,25 % y la tasa específica de consumo de combustible fue de 156 g por litro de agua hervida. Estos resultados distan de los obtenidos por Adem y Ambie, con una eficiencia térmica de 39,6 % y 57 g por litro de agua hervida, empleando una biomasa con poder calorífico mayor a la de este estudio (DINO ADEM; ALEMU AMBIE, 2018). El diseño propuesto en este estudio comparte similitud con el de Adem y Ambie, pues ambos tienen un ducto en el centro del reactor. Panwar y Rathore obtuvieron una eficiencia térmica del 26,5 % con su diseño, que cuenta con un sistema de regulación de entrada de aire primario activado por palanca (PANWAR; RATHORE, 2007). A pesar de las características similares de las estufas gasificadas antes mencionadas, la principal diferencia entre ella y la de este estudio, es que las otras son sistemas alimentados por lotes, lo que simplifica la estructura y reduce la tasa de transferencia de calor, como se puede observar en la FIGURA 2, el sistema de alimentación es una de las secciones con mayor temperatura.

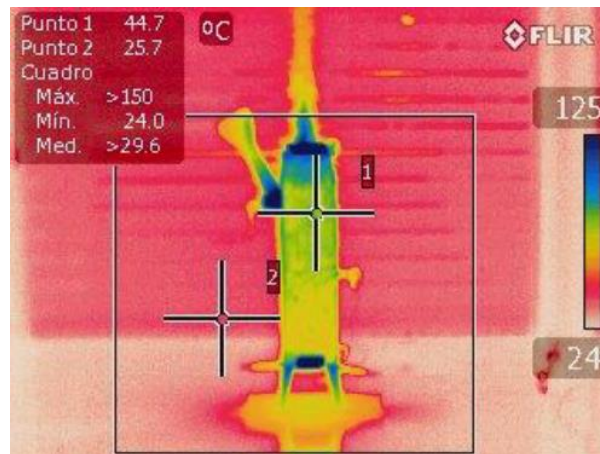


FIGURA 2. Imagen térmica del micro-gasificador durante operación continua. Escala en °C.

CONCLUSIONES: El reactor operó en régimen de gasificación en convección natural con la adición de la toma de aire secundario y el tubo ranurado. El sistema de alimentación continua y el control de admisión primaria posibilitaron realizar ciclos de uso prolongado. Se obtuvo una eficiencia térmica de PEA de 20,25 %, menor a la reportada en estudios previos.

AGRADECIMENTOS: Se agradece a la Unidad de Recursos Forestales del Instituto de Investigaciones en Ingeniería de la UCR, por su apoyo financiero y la provisión de equipos.

REFERENCIAS:

- ASTM. **ASTM E871-82: Standard Test Method For Moisture Analysis Of Particulate Wood Fuels.** , 2019a.
- ASTM. **ASTM E873-82: Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels.** , 2019b.
- BALAT, M. et al. Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 12, p. 3158–3168, jan. 2009a.
- BALAT, M. et al. Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 2: Gasification systems. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 12, p. 3147–3157, jan. 2009b.
- CLEAN COOKING ALLIANCE. **The Water Boiling Test.** , 2014. Disponible em: <<https://rb.gy/fsp7h>>
- DINO ADEM, K.; ALEMU AMBIE, D. Performance and emission reduction potential of micro-gasifier improved through better design. **AIMS Energy**, v. 204, n. 1, p. 63–76, ago. 2018.
- JANGSAWANG, W. Performance testing of a downdraft biomass gasifier stove for cooking applications. **MATEC Web of Conferences**, v. 204, p. 1–6, 2018.
- MACCARTY, N.; STILL, D.; OGLE, D. Fuel use and emissions performance of fifty cooking stoves in the laboratory and related benchmarks of performance. **Energy for Sustainable Development**, v. 14, n. 3, p. 161–171, set. 2009.
- NJENGA, M. et al. Gasifier as a cleaner cooking system in rural Kenya. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 208–217, maio 2016.
- PANWAR, N. L.; RATHORE, N. S. Design and performance evaluation of a 5 kW producer gas stove. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 12, p. 1349–1352, ago. 2007.