

Simulación de un sistema híbrido de coincineración de Biogás-CSR para la autosuficiencia energética de sectores desprotegidos del estado

Aguilar Maruri Saúl Alejandro (1), Gutiérrez Vargas Santiago (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas] | Dirección de correo electrónico: saulmaruri22@gmail.com

2 [Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: s.gutierrezvargas@ugto.mx

Resumen

Nos encontramos en la búsqueda de fuentes energéticas alternativas, renovables y amigables con el medio ambiente. El biogás representa una solución a este problema, dicho recurso surge de la descomposición de desechos orgánicos de zonas urbanas, rurales y agroindustriales. El desarrollo de esta investigación se basa en el análisis de la eficiencia de sistemas de combustión híbridos (Biogás-leña, Biogás-carbón vegetal), para el aprovechamiento del calor generado por la incineración de los diversos combustibles analizados. Los resultados de los modelos propuestos indican que la velocidad de los gases de combustión a lo largo de la cámara de combustión, la temperatura de dichos gases, el porcentaje en volumen (fracción mol) de CO₂ y de CO (en caso de encontrar trazas). Se logra determinar la presencia de remolinos térmicos en la cámara de combustión y en la chimenea, de la mayoría de los modelos propuestos. La proximidad de los datos experimentales a los modelos propuestos muestran una tendencia del 90% (a excepción del sistema a base de leña).

Abstract

We are in search of alternatives energetic, renewable and sources friendly to the environment. Biogas is a solution to this problem, this resource comes from the decomposition of organic waste from urban, rural and agro-industrial areas. The development of this research is based on analysis of the efficiency of combustion hybrid systems (Biogas-wood, Biogas-charcoal), to take advantage of the heat generated by the burning of the various fuels analyzed. The results of the proposed models indicate; the speed of the flue gas along the system, the temperature of said gases, the volume percentage (mole fraction) of CO₂ and CO (in case of finding traces). It is possible to determine the presence of thermal eddies in the combustion chamber and in the chimney, of the majority of the proposed models. The proximity gives the experimental data to the proposed models show a trend of 90% (excluding the wood-based system).

Palabras Clave

Fluent; Combustión; Metano; Leña; Carbón vegetal.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día nos encontramos con tecnologías en la búsqueda de; combustibles renovables, de alto rendimiento calorífico y de precio accesible, con ello se han desarrollado investigaciones con el fin de maximizar la eficiencia calorífica y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, de los sistemas de combustión a base de leña.

Recursos energéticos viables en cámaras de combustión ecológicas.

Biogás

El biogás es un recurso energético de fácil producción y rentable, el problema del uso de este combustible es el vapor de agua y el sulfuro de hidrógeno (H₂S) que son altamente corrosivos [1]. La combustión de este recurso genera por ende gases de alta toxicidad como el dióxido de sulfuro (SO₂) y el trióxido de sulfuro (SO₃) [2]. La producción del biogás proviene de la descomposición natural de la biomasa [6], siendo el metano el compuesto de interés durante la combustión, aunque presenta otros compuestos (Tabla 1) [3].

Tabla 1. Composición estándar del biogás.

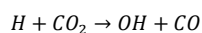
Component	Unit	^a POME biogas	Sewage plant	Landfill
CH ₄	Vol%	60-70	55-65	45-55
CO ₂	Vol%	30-40	35-45	30-40
N ₂	Vol%	< 1	< 1	5-15
H ₂ S	ppm	10-2000	10-40	50-300

^a POME biogas: Biogas released from palm oil mill effluent.

Considerando el poder calorífico [4,5] del gas natural (36 MJ/m³), el que proporciona el biogás es de menor valor (21.5 MJ/m³).

- *Combustión de biogás* [8].

En general, a mayor cantidad de dióxido de carbono presente en el biogás decrece la tasa de producción de NO. La tasa de producción de CO decrece al aumentar la temperatura de combustión. Cinéticamente;



Por lo que el sistema es sensible a la presencia inicial de CO₂, lo cual posteriormente propicia la formación de especies no deseables durante la combustión. La adición de H₂ siempre aumenta la formación de CO. La cinética de la combustión del biogás está relativamente descrita por el mecanismo de reacción, dependiente de la concentración de algún subcomponente de la combustión, ejemplo es la Imagen 1:

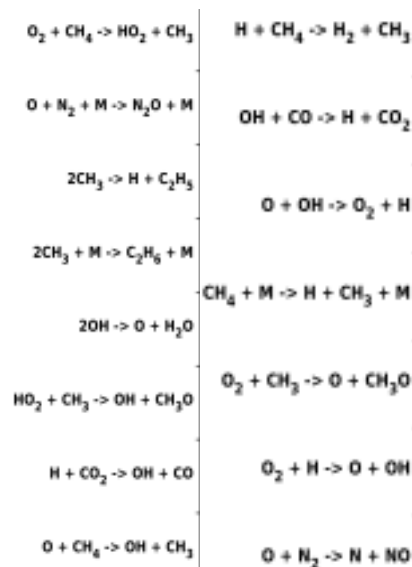


Imagen 1. Mecanismo de reacción propuesto por Zeng et al [8]. Leña [9].

En promedio, la temperatura de combustión de la leña durante los primeros minutos de incineración se valúa en un rango de 550-750°C. Este rango depende de la tasa de conversión o combustión, así como de la velocidad de inyección de aire (comburente). La temperatura de combustión experimenta fluctuaciones debido a los componentes gaseosos en la flama (principalmente CO y CO₂) y de la desvolatilización de la leña. Experimentalmente, tras 25 a 30 minutos de combustión la temperatura comienza una tasa de decreción (alcanzando temperaturas, dependiendo de los componentes de la leña, de 350 a 600°C). Los principales contaminantes de este material son; CO, THC y PM₁₀, los cuales presentarán diferentes concentraciones de emisión dependientes del tiempo de combustión y de la masa incinerada. Dichos contaminantes no son

oxidados a pesar de un aumento en la tasa de inyección de O₂.

En este trabajo se estudiará el comportamiento de los perfiles de temperatura, perfiles de velocidad y composición (primordialmente CO y CO₂) de los gases resultantes de la combustión (en un diseño propuesto de una ecoestufa); de biogás, carbón vegetal, leña convencional (originaria de Irapuato, Guanajuato) y sus respectivos híbridos (Biogás-Leña, Biogás-Carbón vegetal), mediante simulaciones de CFD. Dichos resultados de la simulación son comparados con datos experimentales, de los sistemas de combustión mencionados. Verificando la eficiencia en aprovechamiento del calor de combustión, para su implementación en la autosuficiencia energética de sectores desprotegidos del estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se consideró un sistema de combustión (extrayendo las dimensiones correspondientes al sistema interno de combustión) a base de leña, con ello se dimensionó en Geometry (del paquete de Fluid Flow Fluent de Ansys) el volumen de control que se utilizaría para el desarrollo de las simulaciones. Posteriormente en la sección "Mesh" se malló el sistema (secciones en los cuales se efectúan cálculos individuales del sistema) y se nombraron las condiciones de frontera del volumen de control.

Se realizaron pruebas experimentales con diferentes combustibles; biogás, carbón vegetal, leña, biogás-carbón vegetal y biogás-leña. Determinado, con ayuda de un sistema computarizado de termopares, las temperaturas internas de; la cámara de combustión (termopar 1), el interior de la plancha del sistema (termopar 2), la parte baja de la chimenea del sistema (termopar 3) y el punto de salida de los gases de combustión (termopar 4). Además se determinó la temperatura promedio exterior de la plancha. Los intervalos de operación se encuentran referidos al tiempo que tardó cada sistema de combustión en calentar 150 mL de agua hasta 85°C.

Se estimaron las alimentaciones (flujos máscicos) a cada sistema de combustión, la presión de salida de los gases de combustión y el material

estructural del sistema. Posteriormente en la sección de "Set up" (de Ansys) se introdujo las condiciones de operación a cada condición de frontera planteada con anterioridad, se activó la ecuación de la energía, el tipo de flujo (laminar o turbulento, según el caso) y el modelo de combustión (tabla 2). Con ello se monitoreo el avance de la temperatura; de los gases de combustión, del fluido interno y de la plancha externa. Para el ajuste de los datos se estimó la "Fuel stream rich flammability limit", una vez determinado el modelo aproximado se extrajo una secuencia de imágenes, que describe en intervalos de tiempo definidos, del modelo generado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

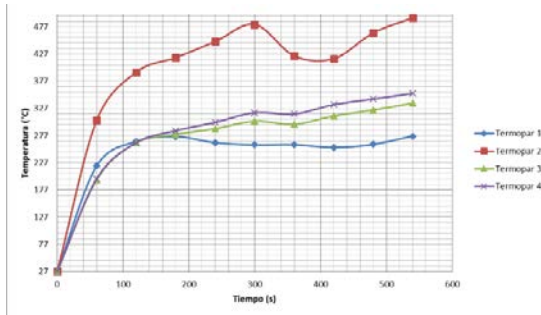
El volumen de control es equivalente a 2.4001×10^{-2} m³, con 22 caras, 52 bordes, un área superficial de 1.0235 m² y un mallado con 624810 elementos.

Tabla 2. Condiciones de operación para el modelo de combustión.

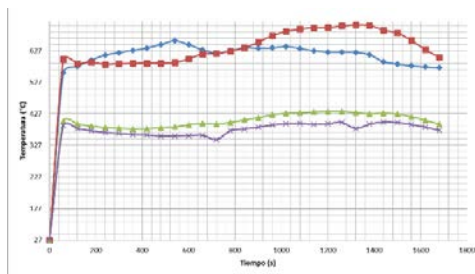
Sistema		1	2	3	4	5
Composición (fracción mol)	C	0,0	0,514	0,257	0,8767	0,4383
	O	0,0	0,062	0,031	0,107	0,0535
	H	0,0	0,4178	0,2089	0,0155	0,0077
	N	0,0	0,16	0,08	0,0009	0,0005
	O ₂	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	CH ₄	1,0	0,0	0,5	0,0	0,5
Máximo número de especies.		5	10	10	10	10
Fuel stream rich flammability limit		1,85	0,035	0,9425	0,65	1,25
Intervalos de tiempo (s).		60	60	10	60	30
Número de intervalos.		9	28	12	23	12
Temperatura promedio de la plancha exterior (°C).		250 ± 25	100 ± 25	150 ± 25	100 ± 25	125 ± 25

Sistema 1: A base de biogás. Sistema 2: A base de leña [10]. Sistema 3: Híbrido biogás-leña. Sistema 4: A base de carbón vegetal [10]. Sistema 5: Híbrido biogás-carbón vegetal.

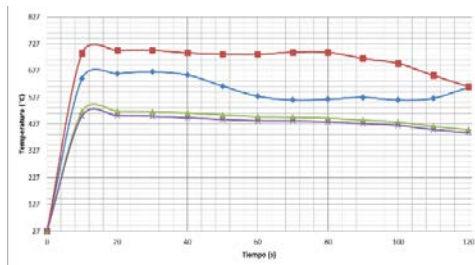
Las mediciones experimentales de las temperaturas de los gases de combustión se muestran en las gráficas 1-5.



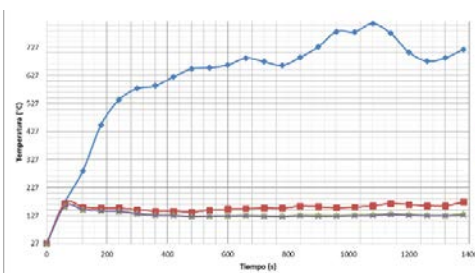
Gráfica 1. Temperaturas experimentales del sistema de combustión de biogás.



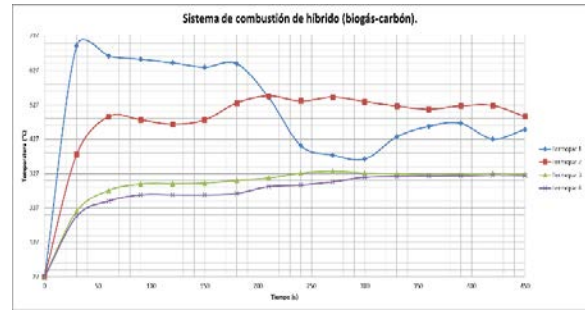
Gráfica 2. Temperaturas experimentales del sistema de combustión a base de leña.



Gráfica 3. Temperaturas experimentales del sistema de combustión híbrido (biogás-leña).



Gráfica 4. Temperaturas experimentales del sistema de combustión a base de carbón vegetal.



Gráfica 5. Temperaturas experimentales del sistema de combustión híbrido (biogás-carbón vegetal).

La tabla 3 presenta las condiciones de operación en fronteras establecidas en los sistemas de Fluent:

Tabla 3. Condiciones de operación para las fronteras establecidas en los sistemas de combustión.

Sistema	Condición de frontera	Condiciones de operación
1	Velocity inlet combustible	$7.7844 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=1
	Velocity inlet oxidante	$2.3780 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=0
	Wall (siendo la misma para los demás sistemas).	Material; acero al carbón con 1,5 % de carbón ($\rho = 7753 \frac{kg}{m^3}$; $C_p = 486 \frac{J}{kg \cdot K}$; $\lambda = 36 \frac{W}{m \cdot K}$; y espesor de pared=0.02m
2	Pressure outlet	4.3241 Pa (positiva); 627.4599 K
	Velocity inlet combustible	$0.2849 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=1
	Velocity inlet oxidante	$0.25 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=0
3	Pressure outlet	4.3241 Pa (positiva); 663.36 K
	Velocity inlet combustible	$0.2927 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=1
	Velocity inlet oxidante	$0,2500 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=0
4	Pressure outlet	4.3241 Pa (positiva); 730.9444 K
	Velocity inlet combustible	$0.2849 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=1
	Velocity inlet oxidante	$0.7 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=0
5	Pressure outlet	4.3241 Pa (positiva); 663.36 K
	Velocity inlet combustible	$0.2927 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=1
	Velocity inlet oxidante	$0.7 \frac{m}{s}$; 300 K, Mean mixture fraction=0
	Pressure outlet	4.3241 Pa (positiva); 595.2713 K

Sistema 1: A base de biogás. Sistema 2: A base de leña. Sistema 3: Híbrido biogás-leña. Sistema 4: A base de carbón vegetal. Sistema 5: Híbrido biogás-carbón vegetal.

Tabla 4. Recolección de resultados finales de las simulaciones de los sistemas de combustión.

Sistema	Porcentaje de ajuste simulación & datos experimentales.		Emisiones generadas (% V/V)			
	Temp. 1	Temp. 2	CO ₂		CO	
			Máx.	Míni.	Máx.	Míni.
1 Imagen 2	96,25%	93,75%	3,6	8,63*10 ⁻⁶	A	
Observaciones	Presencia de remolinos térmicos por el movimiento de los gases de combustión en; chimenea (velocidad máxima de 20 m/s) y en la cámara de combustión (velocidad máxima de 1,56 m/s), propiciado variaciones de temperatura significativas en estas secciones.					
2	91,36%	85,44%	4,17	0,482	14,7	0,0
Observaciones	Presencia de remolinos térmicos por el movimiento de los gases de combustión en; chimenea (velocidad máxima de 11,8 m/s) y en la cámara de combustión (velocidad máxima de 4,26 m/s), propiciado variaciones de temperatura significativas en estas secciones.					
3 Imagen 3	94,57%	96,43%	15,8	0,557	A	
Observaciones	Presencia de remolinos térmicos por el movimiento de los gases de combustión en; chimenea (velocidad máxima de 2,81 m/s) y en la cámara de combustión (velocidad máxima de 0,705 m/s), propiciado variaciones de temperatura significativas en estas secciones.					
4	96,43%	96,15%	4,41	0,218	0,0504	0,0
Observaciones	Presencia de remolinos térmicos por el movimiento de los gases de combustión en; chimenea (velocidad máxima de 3,29 m/s) y en la cámara de combustión (velocidad máxima de 0,94 m/s), propiciado variaciones de temperatura significativas en estas secciones.					
5 Imagen 4	95,0%	93,33%	13,40	0,0	A	
Observaciones	Presencia de remolinos térmicos por el movimiento de los gases de combustión en; chimenea (velocidad máxima de 5,89 m/s) y en la cámara de combustión (velocidad máxima de 2,57 m/s), propiciado variaciones de temperatura significativas en estas secciones.					

Sistema 1: A base de biogás. Sistema 2: A base de leña. Sistema 3: Híbrido biogás-leña. Sistema 4: A base de carbón vegetal. Sistema 5: Híbrido biogás-carbón vegetal. Temp. 1: Temperatura en superficie de la plancha de combustión. Temp. 2: Temperatura de los gases de combustión en el volumen de control. A: No se encuentran cantidades rastreables.

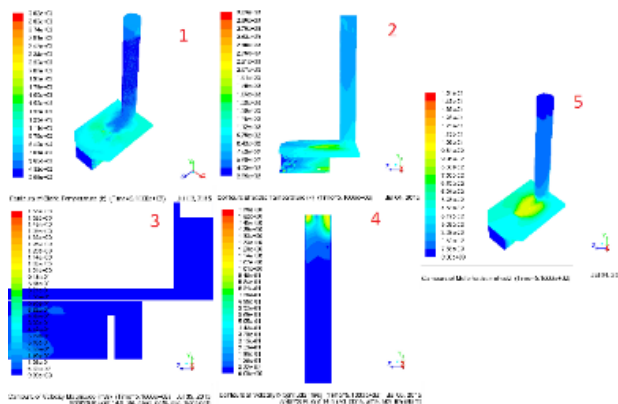


Imagen 2. Simulación del sistema a base de biogás. Perfiles de velocidad, concentración de CO₂, perfiles de temperatura.

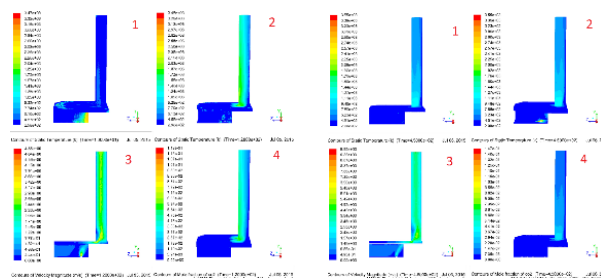


Imagen 3. Simulación del sistema híbrido biogás-leña. Perfiles de velocidad, concentración de CO₂, perfiles de temperatura.

Imagen 4. Simulación del sistema híbrido biogás-carbón vegetal. Perfiles de velocidad, concentración de CO₂, perfiles de temperatura.

CONCLUSIONES

La presencia de CO₂ por un sistema de combustión completa (permitiendo obtener tiempos de operación óptima), inhibe que el mecanismo de combustión produzca CO.

Durante el proceso de combustión existen fluctuaciones en las temperaturas en diferentes puntos del volumen de control, aunado a la formación de remolinos térmicos presentes primordialmente en la chimenea y cámara de combustión. Fenómenos atribuidos a la diferencia en las densidades de las masas de gas (gases de combustión y aire en el exterior).

El sistema híbrido a base de biogás-leña presenta una mayor eficiencia en la transferencia de calor, de los gases de combustión a la plancha de la

estufa. Con las simulaciones efectuadas, se determinó un modelo preciso que describe el comportamiento (perfiles de velocidad, perfiles de temperatura en la plancha y de los gases de combustión, y perfiles de concentraciones de CO₂) de los gases de combustión, de este sistema. Siendo éste el más factible de distribuir en sectores de bajos recursos como medio de autosuficiencia energética.

REFERENCIAS

- [1] Hosseini, Seyed Ehsan. Wahid, Mazlan Abdul. (2014). Development of biogas combustion in combined heat and power generation. ELSEVIER, Volumen 40, pp. 868–875.
- [2] Arnold M, Kajolinna T. (2010). Development of on-line measurement techniques for siloxanes and other trace compounds in biogas. Waste Manag;30:1011–7.
- [3] Hagen M. (2001) Adding gas from biomass to the gas grid. SGC.
- [4] Mordaunt CJ, Pierce WC. (2014) Design and preliminary results of an atmospheric pressure model gas turbine combustor utilizing varying CO₂ doping concentration in CH₄ to emulate biogas combustion. Fuel;124:258–68.
- [5] Perinat, Adolfo. Colàs Roso, Carlos. Alabern Morera, Xavier. (2003). Instalaciones de gas domésticas y comerciales. (1er ed.) Barcelona. Editorial UOC.
- [6] Nogues, Fernando Sebastián. et. al. (2010). ENERGIA DE LA BIOMASA (VOL. I): ENERGIAS RENOVABLES. (1er ed.). España. Editorial PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA.
- [7] Perez Baye, Juan Fernando. (2009). Gasificación de biomasa. (1er ed.) Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.
- [8] Fischer, M. Jiang, X. (2014). An investigation of the chemical kinetics of biogas combustion. ELSEVIER, Volumen I, pp. 1-9.
- [9] Surita, Sharon C. Berrin Tansel. (2014) Preliminary investigation to characterize deposits forming during combustion of biogas from anaerobic digesters and landfills. ELSEVIER, Volumen I, pp. 1-7.
- [10] Aguiñelío, G. Batista de Oliveria. 1980. Uso de madera para fines energéticos: Teoría de carbonización madera. Fundacao-Centro Tecnológico de Minas Gerais/CITEC. Serie publicaciones técnicas. pp. 49-28.
- [11] de Oliveria, Batista. et. al. Manual de carbón vegetal. Guatemala. I Curso sobre carbon vegetal para Centro América. OLACE/CETEC/FORESTAS ACESITA. Aspectos técnicos. Pp. 38-65
- [12] Demirbas A.(2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections.Suecia. Energy Convers Manag pp 8-49.