

Evaluación de la eficiencia del gasificador de cáscara de arroz (FGB-400) en la UEB Amarillas

Evaluation of the efficiency of the rice husk gasifier (FBG-400) in the UEB amarillas

Lorena Gutiérrez Martínez¹, Luis Cepero Casas^{2,*}

¹Empresa de Perforación y Reparación Capital de Pozos de Petróleo y Gas. Finca La Cachurra, Guásimas. Cárdenas. Matanzas, Cuba.

²Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Universidad de Matanzas. Central España Republicana. Matanzas, Cuba.

*Autor de correspondencia: cepero@ihatuey.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 16 diciembre 2022 **Aceptado:** 13 enero 2023 **Publicado:** 22 enero 2023

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue determinar la eficiencia del gasificador FBG-400 de la empresa India Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd de la UEB Amarillas del municipio de Calimete, el mismo utiliza como materia prima la cáscara de arroz y aire como agente gasificante. Por la parte superior del gasificador se introduce 500 kg/h de cáscara de arroz (CA) a una temperatura de 25 °C y una presión de 101.3 kPa con un poder calorífico de 13.74 MJ/kg. Se obtuvo un gas de síntesis con una composición de 15.66 % (CO y CO₂), 1.30 % (CH₄) y 26.51 % (H₂), con un poder calorífico de 5.42 MJ/Nm³ y un rendimiento del gasificador de 88 %.

Palabras clave: gasificador, agente gasificante, gas de síntesis, cáscara de arroz

Abstract

The present work is aimed at determining the efficiency of the FBG-400 gasifier of the Indian company Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd of the UEB Amarillas of the municipality of Calimete, it uses rice husk as raw material and air as a gasifying agent. At the top of the gasifier, 500 kg/h of rice husks (CA) are introduced at a temperature of 25 °C and a pressure of 101.3 kPa with a calorific value of 13.74 MJ/kg. A synthesis gas with a composition of 15.66 % (CO and CO₂), 1.30 % (CH₄) and 26.51 % (H₂) was obtained, with a calorific value of 5.42 MJ/Nm³ and a gasifier yield of 88 %.

Keywords: gasifier, gasifying agents, syngas, rice husk

1. Introducción

Una de las actividades humanas que genera gran impacto sobre el medio ambiente, es la quema de combustibles fósiles y su utilización para la producción de energía, generando un grave problema ambiental, al aumentar el efecto invernadero por los gases de CO₂ y otros contaminantes emitidos. Los combustibles fósiles más contaminantes son el carbón, el petróleo y el gas natural, que son las fuentes que suministran alrededor del 88 % de la energía consumida por el mundo, los cuales satisfacen las necesidades de la sociedad.

Hoy más que nunca es una necesidad el uso de fuentes renovables de energía que proporcionen bajas emisiones de los gases de efecto invernadero [1, 2]. En este sentido, la producción de energía

a partir de biomasa es una alternativa atractiva [3]. Según estos autores, la biomasa posee ventajas sobre los combustibles fósiles, ya que brindan un suministro continuo de materia prima. Puede quemarse o gasificarse de manera similar a otros combustibles fósiles, utilizando las mismas tecnologías con adaptaciones especiales. También puede ser utilizada en la combustión conjunta con carbón en grandes centrales eléctricas. Sin embargo, investigadores resaltan que el uso más adecuado es su gasificación a pequeña escala. Dentro de los diferentes tipos de biomasa se encuentra la cascarilla de arroz, produciéndose más de 100 toneladas diarias en el mundo, donde tan solo un 5 % está siendo aprovechado. Una alternativa promisoría para el aprovechamiento de la biomasa es el proceso de gasificación [3-7].

Este proceso consiste en la conversión térmica de la biomasa a un gas a través de una serie de reacciones químicas que ocurren a altas temperaturas en ausencia de oxígeno [8]. Según Alnouss *et al.* [9, 10] plantean que el gas de síntesis obtenido en el proceso de gasificación está compuesto por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂), metano (CH₄), agua (H₂O) y nitrógeno (N₂). La composición y el poder calorífico del gas dependen de las condiciones o parámetros a las que se realizó el proceso, el tipo de biomasa y su respectiva caracterización, el agente oxidante y el tipo de gasificador utilizado.

En el año 2017 se instaló en la UEB de Amarillas del municipio de Calimete un gasificador de la empresa India Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd modelo FBG 400 empleando como biomasa la cáscara del propio grano del arroz con el objetivo de ahorrar el combustible durante el procesamiento industrial del grano [11]. El objetivo del presente trabajo es evaluar la eficiencia del gasificador de cáscara de arroz (FGB-400) en la UEB Amarillas.

2. Materiales y Métodos

El gasificador modelo FBG-400 de la empresa India Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd, ubicado en la UEB amarillas del municipio de Calimete tiene capacidad para procesar entre 450 y 500 kg de cascarilla de arroz/hora y producir unos 900-960 Nm³/h de gas combustible con 1 050 Kcal/Nm³ de valor calórico como promedio [12]. En la Tabla 1 se muestran los parámetros de operación del gasificador propuestos por el fabricante en el catálogo del equipo:

Tabla 1. Características del gasificador “FBG-400”

Modelo	FBG-400
Capacidad nominal (térmica)	1 008 000 kcal/h
Temperatura de gasificación	1050 - 1100 °C
Flujo de Gas	960 Nm ³ /h
Valor Promedio Calórico del Gas	1050 kcal/Nm ³
Consumo de biomasa por hora nominal	450 - 500 kg /h
Composición típica del gas	CO - 17 ± 2 % CO ₂ - 13 ± 3 % H ₂ - 14 ± 3 % CH ₄ - 2 a 4 % O ₂ - Hasta 0,6 %

Se utiliza la metodología empleada por Osorio [13] y Sánchez [14], para la generación de energía a partir de un recurso residual agrícola (cascarilla de arroz) proveniente de la UEB Amarillas. La cáscara de arroz es producto de *Oryza sativa*, comúnmente llamado arroz, es una especie perteneciente a la familia de las Poáceas (gramíneas).

El gasificador FBG-400 se alimenta por la parte superior con cascarilla de arroz (CA) a una temperatura de 25 °C y una presión de 101.3 kPa con un poder calorífico de 13.74 MJ/kg. La cantidad de biomasa que se introduce es de 500 kg/h que equivalen a 0.14 kg/s.

La potencia térmica que aporta la cascarilla de arroz a la entrada del gasificador, se calcula por la siguiente ecuación obteniendo como resultado 1.92 MW.

$$Pot_{CA} = Caudal_{CA} * PCI_{CA} \quad (1)$$

3. Resultados y Discusión

Se determina la cantidad estequiométrica de oxígeno que se necesita para efectuar una combustión completa en el gasificador. Se toma como base 100 kg de biomasa.

Tabla 2. Cantidad estequiométrica de oxígeno que se consume en la combustión completa

Componente	% en masa (m)	Masa molar (MM)	Número de moles	Producto	Fracción de O que se consume en la combustión completa	Moles de O que se consumen en la combustión completa
			de cada componente por 100 kg de CA			
			n= m/MM			
			g/kmol			
			kmol/100 kg CA		kmol/kmol	kmol/100 kg CA
C	39,1	12,01	3,256	CO ₂	2	6,512
H	5,2	1,01	5,148	H ₂ O	0.5	2,574
O	37,2	16	2,325		-1	-2,325
N	0,6	14,01	0,043	N ₂	0	0
S	0,1	32,07	0,003	SO ₂	2	0,006
Cenizas	17,8				Total	6,767

Los moles de oxígeno (O₂) necesarios corresponden a la mitad de los moles de oxígeno puro (O) calculados. El aire atmosférico presenta una composición de nitrógeno y oxígeno de 79 % y 21 % respectivamente, con estos valores se obtiene el número de moles de aire estequiométrico resultantes de la combustión completa, dividiendo esta cantidad entre 0,21.

La masa molar media del aire es de 28,84 kg/kmol y el volumen de aire necesario se obtiene utilizando la ley de los gases perfectos en condiciones normales (T=273,15 K; P=101325 Pa) por la ecuación 2 sabiendo que R=8,314 J/molK. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos.

$$P * V = n * R * T \quad (2)$$

Tabla 3. Moles de aire

Moles estequiométricos de O (ne _o)	6,77 kmol O/100 kg CA
Moles estequiométricos de O ₂ (ne _{O2})	3,39 kmol O ₂ /100 kg CA
Moles estequiométricos de aire (ne _{aire})	16,14 kmol aire/100 kg CA
Masa de aire estequiométrica (me _{aire})	465,64 kg aire/100 kg CA
Volumen de aire (V _{aire})	361,74 Nm ³ de aire/100 kg CA

El gasificador utiliza como agente gasificante aire, para calcular el flujo real que se utiliza para la gasificación se multiplica la masa de aire estequiométrica por la relación de equivalencia la cual se expresa por la siguiente ecuación:

$$ER = \frac{\left(\frac{\text{Caudal aire}}{\text{CA consumida}}\right)}{\left(\frac{\text{Caudal aire}}{\text{CA Consumida}}\right)_{\text{esteq}}} \quad (3)$$

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el valor del flujo de aire real.

Tabla 4. Flujo de aire

Relación de equivalencia (ER)	0,3
Masa de aire real ($m_{\text{aire real}}$)	1,39 kg aire/kg CA
Flujo de aire estequiométrico ($F_{\text{aire esteq.}}$)	0,65 kg aire/s
Flujo de aire real ($F_{\text{aire real}}$)	0,19 kg aire/s

Para determinar la composición del gas de síntesis se realizó un balance de especies; se tomó como referencia los coeficientes de reparto de los compuestos del carbono para la gasificación de la cascarilla de arroz reportados por Osorio et al. [13]. Para obtener la cantidad de sustancia a la entrada del gasificador es necesario conocer los moles de nitrógeno y de oxígeno presentes en la composición del aire:

$$n_{O \text{ aire}} = n_{eO} * ER \quad (4)$$

$$n_{N \text{ aire}} = n_{eO} * ER * \frac{79}{21} \quad (5)$$

Tabla 5. Cantidad de sustancia a la entrada del gasificador (cascarilla de arroz + aire)

Cascarilla de arroz	de	Componente	n (kmol/100 kg CA)	Total
		C	3,256	3,256
		H	5,148	6,268
		O	2,325	4,916
		N	0,043	7,683
		S	0,003	0,003
		H2O	0,56	
Aire		n (kmol/100 kg aire)		
		O	2,031	
		N	7,64	

Tabla 6. Balance total en la composición del gas

Componente	Composición (%)	C	H	N	O	S	n (kmol/100kg CA)	Porcentaje en volumen y (%)
CO	48	1,56	-	-	1,56	-	1,56	15,66
CO ₂	48	1,56	-	-	3,12	-	1,56	15,66
CH ₄	4	0,13	0,52	-	-	-	0,13	1,30
N ₂	-	-	-	7,683	-	-	3,84	38,55
H ₂ O	-	-	0,46	-	0,23	-	0,23	2,31
H ₂	-	-	5,29	-	-	-	2,64	26,51
SO ₂	-	-	-	-	0,006	0,003	0,003	0,03
TOTAL	100	3,256	6,268	7,683	4,916	0,003	9,96	100

Con los porcentajes en volumen de cada uno de los compuestos del gas de síntesis se calcula el poder calorífico inferior (PCI) del mismo tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Poder calorífico inferior del gas de síntesis

Componente	MM	% en volumen (Yi)		% en masa (Xi)		Gas húmedo	Gas seco	PCI	PCI*Yi
	(g/mol)	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca	MM*Yi	MM*Yi	(kJ/Nm ³)	(kJ/Nm ³)
CO	28	15,66	16,03	18,86	19,21	4,38	4,48	12618	2022,66
CO ₂	44	15,66	16,03	29,64	30,19	6,84	7,05	0	0
CH ₄	16	1,30	1,33	0,89	0,91	0,20	0,21	35807	476,23
N ₂	28	38,55	39,46	46,44	47,29	10,79	11,04	0	0
H ₂ O	18	2,31	-	1,79	-	0,41	-	0	0
H ₂	2	26,51	27,14	2,28	2,32	0,53	0,54	10788	2927,86
SO ₂	64	0,03	0,03	0,08	0,08	0,01	0,01	0	0
TOTAL		100	100	100	100	23,16	23,33		5426,75
								PCI	5,42

Posteriormente aplicando la ecuación 2 (ley de los gases perfectos en condiciones normales) se determina el volumen de gas necesario por kilogramo de biomasa en la combustión completa arrojando un valor de 2,23 Nm³/kg CA.

Finalmente, se calcula la eficiencia del gasificador haciendo uso de las Ecuaciones 6 y 7. Como resultado se obtiene una eficiencia de 88 %.

$$\eta_{Gas} = \frac{\text{Energía del gas}}{\text{Energía del combustible}} * 100 \% \quad (6)$$

$$\text{Energía del gas} = V_{Gas} * PCI_{Gas} \quad (7)$$

Por cada 500 kg/h que se alimenta al gasificador se obtiene una potencia térmica de la cáscara de arroz de 1,92 MW y un gas de síntesis con un poder calórico inferior de 5,42 kJ/Nm³. La composición molar de CO y CO₂ en el gas de síntesis se encuentra dentro del intervalo establecido por el fabricante. Sin embargo, la composición del H₂ y del CH₄ no están en el rango establecido; esto puede deberse a varios factores como, las condiciones operacionales, intervalo de temperatura en cada etapa. El rendimiento del proceso de gasificación obtenido es de 88 %, valor que cumple con lo reportado por el fabricante.

4. Conclusiones

De acuerdo con lo referido en el artículo la cáscara de arroz es factible utilizarla en el proceso de gasificación para la generación de energía. El gasificador de la UEB Amarillas trabaja de forma óptima y puede constituir una importante fuente de energía alternativa para la entidad donde se encuentra instalado, contribuyendo al desarrollo local de las Fuentes Renovables de Energía (FRE) y al cambio de la matriz energética del país.

Referencias

1. Tamayo, J.J., Copa, R.J.R., Cantos, M.M., Brito, S.A.L., Luz, S.J., *Análisis termodinámico de la gasificación por plasma de bagazo de caña*. Tecnología Química, 2019. **39**(3): p. 524-538.
2. Colectivo de Autores, *Biocombustibles para su uso en Motores de Combustión Interna*. IDICT, 2014.
3. Tobío-Pérez, I., Díaz, Y., Pfeil, M., Denfeld, D., Piloto-Rodríguez, R., Pohl, S., *Simulación del proceso de gasificación de biomásas a partir de Jatropha curcas y Dichrostachys cinerea*. Afinidad. Revista de química teórica y aplicada, 2020. **77**(591): p. 228-235.
4. Hameed, Z., Aslam, M., Khan, Z., Maqsood, K., Atabani, A., Ghauri, M., Shahzad, M.K., Rehan, M., Nizami, A.S., *Gasification of municipal solid waste blends with biomass for energy production and resources recovery: Current status, hybrid technologies and innovative prospects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2021. **136**(110375): p. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110375>
5. Ebrahimi, A., Ziabasharhagh, M., *Energy and exergy analyses of a novel integrated process configuration for tri-generation heat, power and liquefied natural gas based on biomass gasification*. Energy Conversion and Management, 2020. **209**(112624): p. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112624>
6. Pfeil, M., Piloto-Rodríguez, R., Díaz, Y., Sánchez-Borroto, Y., Melo-Espinosa, E.A., Denfeld, D., Pohl, S., *Data on the thermochemical potential of six Cuban biomasses ad bioenergy sources*, Data in Brief, 2020. **29**: p. 105207.
7. Pfeil, M., Tobío-Pérez, I., Denfeld, D., Díaz, Y., Pohl, S., Piloto-Rodríguez, R., *Characterization and assessment of Jatropha curcas and Moringa oleifera husk and their potential use in gasification*. Energy, Ecology and Environment, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00179-x>
8. Martillo A.J.A., Lesme, J.R., Martínez, G.A., Oliva, R.L.O., Orozco, C.S.L., *Estudios paramétricos de la gasificación de la tusa de maíz en gasificadores downdraft*. Tecnología Química. 2019. **39**(2): p. 455-470.
9. AlNouss, A., McKay, G., Al-Ansari, T., *A comparison of steam and oxygen fed biomass gasification through a techno-economic-environmental study*. Energy Conversion and Management. 2020. **208**(112612): p. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112612>
10. AlNouss, A., McKay, G., Al-Ansari, T., *Production of syngas via gasification using optimum blends of biomass*. Journal of Cleaner Production. 2020. **242**(118499): p. 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118499>
10. Cepero C.L., Iglesias V.Y., *Aprovechamiento energético de los residuos resultantes del procesamiento del arroz para sustituir combustibles fósiles en la UEB Amarillas del municipio Calimete en la provincia de Matanzas*. Cubaenergía, 2020. **11**: p. 4-6.
11. Ankur. Manual de operación del gasificador de Biomasa Ankur Scientific Energy Technologies FBG-400. Sama, Barioda, India, 2011.
12. Osorio, L., *Análisis técnico económico para el uso de la cascarilla de arroz en la generación de energía eléctrica a partir del proceso de gasificación. Caso de estudio: molino de arroz Pacande de la ciudad de Villavicencio–Meta*. Tesis de Maestría en Ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Libre, Bogotá, 2019.
13. Sánchez, L.A., *Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso industrial*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

Conflicto de Intereses

Este es un artículo original con contenido inédito y los autores no declaran ningún conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Lorena Gutiérrez Martínez. <https://orcid.org/0000-0002-0022-7534>

Participó en el diseño de la investigación y redacción del manuscrito.

Luis Cepero Casas. <https://orcid.org/0000-0002-9419-1607>

Participó en el diseño de la investigación y supervisión de la investigación.