

ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE UN GASIFICADOR “ANKUR” MODELO WBG-10 TRABAJANDO CON DIFERENTES BIOMASAS

René Lesme Jaén*, Ángel Recio Recio*, Tomas Preston**, Lylian Rodríguez**, Luis
Oliva Ruiz*

*Centro de Estudios de Eficiencia Energética. Facultad de Ingeniería Mecánica. Universidad de Oriente, **Finca
Ecológica TOSOLY Colombia

En el presente trabajo se realiza un análisis termodinámico de un gasificador "Ankur" de fabricación India modelo WBG-10, trabajando con diferentes tipos de biomásas. A partir de pruebas experimentales y la aplicación de las ecuaciones de balance de masa y energía, se determina la eficiencia en frío y en caliente del gasificador, pudiéndose evaluar su funcionamiento. Los resultados demuestran que el gasificador es capaz de trabajar eficientemente con diferentes biomásas, influyendo notablemente en su eficiencia las condiciones en que la misma se suministra al equipo.

Palabras claves: gasificación de biomasa.

Presently work is carried out to thermodynamic analysis of to gasifier "Ankur" of production india models WBG-10, working with different types of biomasses. Starting from experimental tests and the application of the equations of balance of mass and energy is determined the efficiency in cold and in hot of the gasifier, being able to evaluates you its operation.

The results demonstrate that the gasifier is able to work efficiently with different biomasses, influencing notably in its efficiency the conditions in that the same one is given to the team.

Keys word: biomass gasification.

Introducción

La gasificación es un proceso mediante el cual se produce un combustible gaseoso a partir de uno sólido, que puede ser de origen vegetal (biomasa), a través de ciertas reacciones químicas, entre el carbón de la biomasa con la sustancia gasificante que pueden ser: vapor del agua, oxígeno o el mismo aire. Los productos de la gasificación son gases combustibles como el monóxido de carbono (CO), el hidrógeno (H₂) el metano (CH₄) y otros. Cuando la sustancia gasificante es aire, la reacción exotérmica da lugar a un gas de bajo poder calorífico que se conoce como gas pobre.

La calidad del gas está asociada a su poder calórico y a la cantidad de alquitrán y particulado presente en el mismo; este gas puede ser utilizado con fines energéticos para la producción de calor y/o electricidad con el empleo de hornos, motores de combustión interna, micro turbinas a gas, motores *stirling*, células combustibles y sistemas híbridos.

La gasificación ofrece algunas ventajas respecto a la combustión directa, por ejemplo, el gas presenta

mejores propiedades de combustión respecto al sólido, se necesita una menor cantidad de aire y la emisión de particulados es en menor cuantía, por lo que provoca una menor contaminación ambiental.

Fundamentación teórica. Métodos y resultados experimentales

El análisis termodinámico de un gasificador es imprescindible para la comprensión de los fenómenos que envuelven el proceso, para lo cual se hace necesario un balance de masa y energía, cuantificando los parámetros que determinan su eficiencia, y así poder evaluar su desempeño.

El equipo evaluado es un gasificador "Ankur" de fabricación india modelo WBG-10, instalado en UTA –TOSOLY-Finca Ecológica Morario-Guapotá-AA No. 48, Socorro, Santander del Sur, Colombia. En esta instalación, el gas generado por la gasificación del material vegetal con aire se limpia y refrigera antes de entrar en el motor de combustión interna de encendido por chispa. (figura 1).

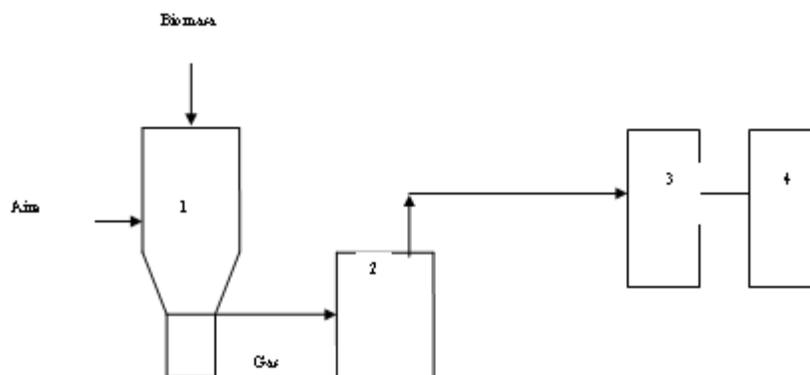


Fig. 1 Sistema de generación de electricidad. 1- Gasificador, 2- Sistema de limpieza, 3- Motor de Combustión interna, 4- Generador eléctrico.

El gasificador es lecho fijo de flujo concurrente; el sistema de limpieza está compuesto por un separador scruber, donde el gas se enfría y se elimina parte del particulado presente en el mismo, después del cual el gas pasa por un filtro de aserrín y otro de manga. Este gas es succionado por un motor de combustión de 1 800 rpm de encendido por chispa de dos cilindros que acciona

un generador eléctrico trifásico de 1 800 rpm, 220v y 60 Hz.

Características de las biomásas gasificadas

La composición elemental en base seca de las biomásas utilizadas durante la evaluación del gasificador, los valores calóricos, y humedad son reportadas en las tablas 1 y 2. /3/

Tabla 1
Composición elemental (%) de diferentes biomásas en base seca

Biomasa	C	H	O	N	S	A
Bagazo	44,80	5,35	39,55	0,38	0,11	9,79
Leña (Algarrobo)	49,15	5,93	44,17	0,18	0,02	0,51
Carbón vegetal (Algarrobo)	71,50	3,93	22,17	-	-	2,40
Tallos de arbustos	47,05	5,35	40,97	0,65	0,21	5,89

Tabla 3
Valores calóricos bajos y humedad de las diferentes biomásas

Biomásas	Valor calórico bajo (PCI_{com}) (mJ/kg)	Humedad (W)* (%)
Bagazo	17,81	11
Leña (Algarrobo)	18,70	18
Carbón vegetal (Algarrobo)	29,88	11
Tallos de arbustos	18,30	14

* Valores medidos con un higrómetro durante los experimentos.

Balance de masa y energía en el gasificador

El funcionamiento del gasificador se logra suministrando la biomasa por la parte superior, luego se procede al encendido del equipo manualmente con un fuente de calor exterior por la misma entrada del aire atmosférico, el cual es succionado producto del vacío que produce el flujo de agua movida por una bomba; este flujo de agua se utiliza posteriormente para la limpieza húmeda del gas después del gasificador.

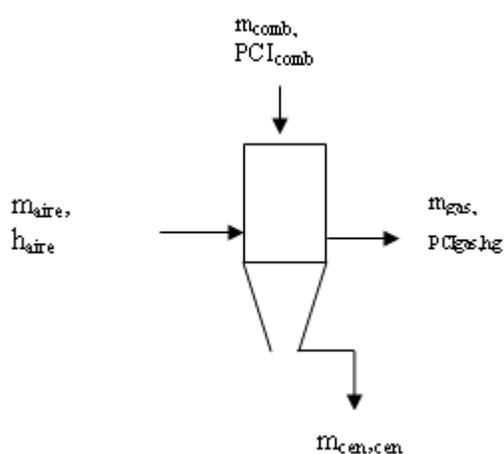


Fig. 2 Flujos de masa y energía.

Balance de masa

Atendiendo lo representado en la figura No. 2, el balance de masa se puede expresar por la siguiente expresión:

$$m_{comb} + m_{aire} = m_{gas} + m_{cen} \quad (1)$$

donde:

m_{comb} - Flujo másico de combustible, (kg/s)

m_{aire} - Flujo másico de aire, (kg/s)

m_{gas} - Flujo másico de gas, (kg/s)

m_{cen} - Flujo másico de cenizas, (kg/s)

El flujo másico de combustible y el de cenizas fueron evaluados de forma experimental para cada biomasa gasificada. Para determinar la masa horaria de combustible se pesó su masa inicial y se midió el tiempo de trabajo del gasificador; luego de concluido el trabajo y después de un proceso de enfriamiento, se evacuó la ceniza y se pesó.

El flujo de aire se determinó a partir del cálculo del volumen de aire teórico necesario para que ocurra la combustión, considerando que la gasificación es una combustión que ocurre con defecto de aire, como promedio con el 30 % del aire teórico.

$$V_a^o = 0,0889(C' + 0,375 S') + 0,265 H' - 0,0333 O', \text{ Nm}^3/\text{kgcomb}. \quad (2)$$

Para la conversión del análisis elemental del combustible en masa seca (tabla 1) a base húmeda o de trabajo, se utilizó la siguiente expresión:

$$B_h = \left(\frac{100 - W}{100} \right) B_s \quad (3)$$

Teniendo en cuenta las expresiones anteriores y la ecuación de balance de masa se obtuvo el flujo de gas, los resultados se recogen en la tabla 3.

Tabla 3
Resultados del balance de masa en el gasificador

Biomاسas	m_{comb} (kg/h)	m_{cen} (kg/h)	m_{aire} (kg/h)	m_{gas} (kg/h)
Bagazo	4,67	0,14	6,17	10,70
Leña (Algarrobo)	5,30	0,03	7,00	12,27
Carbón vegetal (Algarrobo)	4,76	0,10	10,16	14,82
Tallos de arbustos	5,95	0,35	7,86	13,46

Poder calórico del gas

El gasificador evaluado no cuenta con un equipamiento para medir la calidad del gas generado, por lo que se tomaron los principales elementos constituyentes del gas y sus respectivos por cientos, acorde con lo reportado en la biblio-

grafía /1/, $C_{CO}= 19 \%$, $C_{CO_2}= 10 \%$, $C_{N_2}= 50 \%$, $C_{H_2}= 18 \%$, $C_{CH_4}= 3 \%$. A partir de estos valores, se determinó el poder calórico del gas por la siguiente expresión:

$$PCI_{gas} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i PCI_i \quad (4)$$

donde:

PCI_i - Poder calórico inferior de los componentes combustibles del gas:

$PCI_{CO} = 12,6 \text{ mJ/Nm}^3$, $PCI_{H_2} = 10,7 \text{ mJ/Nm}^3$, $PCI_{CH_4} = 35,8 \text{ mJ/Nm}^3$.

C_i - Fracción volumétrica del componente en el gas (%).

Sustituyendo los valores en la expresión (IV):

$$PCI_{gas} = (0.19 \cdot 12,6)_{CO} + (0.18 \cdot 10,7)_{H_2} + (0.03 \cdot 35,8)_{CH_4} = 5,40 \text{ mJ / m}^3$$

Eficiencia del gasificador

En el análisis termodinámico de un gasificador es importante definir dos conceptos fundamentales, la eficiencia en frío y la eficiencia en caliente:

En esta expresión $h_{aire} = 300 \text{ kJ/kg}$ es la entalpía del aire a temperatura ambiente ($T_{\alpha} = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Eficiencia en frío

$$\eta_{frio} = \left(\frac{m_{gas} \cdot PCI_{gas}}{m_{comb} \cdot PCI_{comb} + m_{aire} \cdot h_{aire}} \right) \quad (5)$$

Eficiencia en caliente

$$\eta_{cal} = \left(\frac{m_{gas} \cdot PCI_{gas} + m_{gas} \cdot h_{gas}}{m_{comb} \cdot PCI_{comb} + m_{aire} \cdot h_{aire}} \right) \quad (6)$$

La entalpía del gas producido (h_{gas}) es la suma de la entalpía de sus componentes /7/:

$$h_{gas} = (C_{CO} \cdot h_{CO}) + (C_{CO_2} \cdot h_{CO_2}) + (C_{H_2} \cdot h_{H_2}) + (C_{CH_4} \cdot h_{CH_4}) \quad (7)$$

$$h_{gas} = 2342,03 \text{ kJ / kg}$$

Sustituyendo los valores en las expresiones V y VI obtenemos la eficiencia en frío

caliente respectivamente. Los resultados de los cálculos aparecen reportados en la tabla 4.

Tabla 4
Eficiencia del gasificador

Biomásas	Eficiencia en frío	Eficiencia en caliente
Bagazo	0,53	0,83
Leña (Algarrobo)	0,40	0,61
Carbón vegetal (Algarrobo)	0,43	0,67
Tallos de arbustos	0,51	0,82

Balance de energía en el gasificador

El balance de energía se realiza contabilizando

$$m_{comb} \cdot PCI_{comb} + m_{aire} \cdot h_{aire} = m_{gas} \cdot PCI_{gas} + m_{gas} \cdot h_{gas} + Q_{cen} + Q_{ma} \quad (8)$$

donde:

Q_{ma} - Calor perdido al medioambiente Kw.

Q_{cen} - Calor que se pierde con las cenizas Kw.

$$Q_{cen} = m_{cen} C_{cen} (T_{cen} - T_{\alpha}) \quad (9)$$

la energía que entra y sale del gasificador con el objetivo de evaluar las pérdidas y su influencia en el proceso de gasificación.

T_{cen} - Temperatura de la ceniza en el gasificador, se tomó 800 °C, acorde con lo reportado en /3/
 C_{cen} - Calor específico de la ceniza (0,96 kJ/kg)./7/

Los resultados del balance térmico se especifican en la tabla 5.

Tabla 5
Resultados del balance térmico

Biomosas	m_{comb} PCI _{comb} (kw)	m_{aire} h_{aire} (kw)	m_{gas} PCI _{gas} (kw)	m_{gas} h_{gas} (kw)	Q_{cen} (Kw)	Q_{ma} (Kw)
Bagazo	23,10	0,51	12,54	6,97	0,03	4,09
Leña (Algarrobo)	27,53	0,58	14,38	7,98	0,01	5,74
Carbón vegetal (Algarrobo)	39,51	0,85	17,37	9,64	0,02	13,33
Tallos de arbustos	30,25	0,66	15,77	8,76	0,07	6,31

Conclusiones

1. El gasificador, además de la leña, puede ser operado con otras biomosas y su operación resulta más exitosa cuando se cumplen los requerimientos de humedad y dimensiones especificadas por el fabricante. El bagazo y los residuos cumplen con estas recomendaciones, y aunque tienen mayor contenido de cenizas, el gasificador opera más eficientemente que con la leña y el carbón.
2. La humedad de la biomasa influye también en el tiempo de arranque del reactor, menores humedades requieren menores tiempos.
3. Los valores de las eficiencias obtenidos se comportan dentro del rango de valores reportados en /3/ para diferentes factores de aire, lo cual valida los experimentos realizados.
4. Las mayores pérdidas de energía corresponden

a las relacionadas con el gas y el medioambiente, las cuales pueden reducirse con un correcto aislamiento térmico del equipo.

5. Las pérdidas de energía con las cenizas son en extremo pequeñas, pudiéndose no tener en cuenta en futuras evaluaciones.

Bibliografía

1. Manual de Usuario, *Ankur Scientific Energy Technologies Pvt.Ld.*, "Ankur", NearOld Sama Jakat Naka, Baroda-390 008, India.
2. Generación de energía eléctrica y producción animal a partir de la biomasa. Una alternativa para los productores del sector agropecuario del Choco. UTA TOSOLY, Finca Ecológica Vereda Morario Guapotá, Santander, Colombia NIT: 804015447-0 Bucaramanga, junio 22 del 2006.
3. N. Horta LA, L. Silva, *Dendroenergía, Fundamentos y Aplicaciones*, 2da. edición. Editora Interciencia, 2003.
4. R. Lesme, L. Oliva, Factibilidad del empleo de los

-
- residuos de la industria de la madera para la obtención de energía eléctrica, 4th International Conference for Renewalbe Energy, Energy Saving and Energy Education Energy, Varadero, Cuba, 2005.
5. _____, Potencial de residuos de la Empresa Forestal Integral "Gran Piedra", Baconao, I Convención de energía y medioambiente, Santiago de Cuba, ISBN 959-207-096-2, 2003.
 6. S. Beatón, L. Silva, Pruebas de balance térmico en calderas para bagazo, Ediciones ISPJAM, Santiago de Cuba, 1991.
 7. I. Granet, M. Bluestien, *Thermodynamics and Heat Power*, 6ta. Edición, 2000.