

Análisis de un sistema de gasificación de biomasa tipo downdraft

Analysis of gasification system of biomass type downdraft

Eduardo Gutiérrez G.¹, Angelo Villavicencio P.¹, David García G.¹, Gabriela Torres.¹

RESUMEN

Los sistemas de gasificación se utilizan desde la segunda guerra mundial con el fin de proveer de combustibles a partir de residuos orgánicos provenientes de la agroindustria, siendo una alternativa energética, con emisiones de CO₂ neutras, para comunidades aisladas no interconectadas a la red pública eléctrica, y puede implementarse en caso de crisis energética.

Se construyó e implementó un sistema de gasificación de biomasa tipo downdraft aptado a un motor de combustión interna, en este trabajo se realizan los análisis de conservación de masa, energía, y el cálculo de la eficiencia del sistema de gasificación, con tres diferentes tipos de biomasa, a partir de las pruebas experimentales y las aplicaciones de las ecuaciones de la conservación de masa y energía respectivamente.

La posterior utilización del combustible gaseoso en un motor de combustión interna alternativo adaptado para funcionar con la mezcla estequiométrica del gas de síntesis y aire. El sistema es capaz de proveer de energía mecánica a través del motor y recupera calor de los gases de escape mediante un intercambiador de calor ayudando a la etapa de pirólisis. A demás se aprovecha la generación de calor mediante la combustión directa del gas de síntesis.

Palabras clave: Alquitrán; biomasa; ceniza; gasificación; pirólisis; poder calorífico; reducción.

ABSTRACT

The gasification systems are used since World War II to provide fuels made off organic waste from farms. Becoming an alternative energy for isolated communities, and it could be implemented on energy crisis times.

It was built and implemented a biomass gasification system, downdraft class. In this work are made the mass and energy conservation analysis, and the calculation of gasification system efficiency, with 3 different kind of biomass, starting from experimental tests and solving the mass and energy conservation equations.

The future use of the gaseous fuel in an alternative internal combustion engine, adapted to run with stoichiometric mixture from the synthesis gas and air.

Key words: Tar; biomass; ash; gasification; pyrolysis; calorific power; reduction.

¹Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

INTRODUCCIÓN

La gasificación es definida como la conversión de la biomasa, o cualquier combustible sólido, en un gas energético, a través de la oxidación parcial a temperaturas elevadas. (Sánchez, 2003)

El gas producido se llama gas de síntesis o gas pobre, con agente gasificante aire, su poder calorífico es bajo, se puede ocupar diferentes tipos de agentes gasificantes cuya función es elevar el poder calorífico del gas de síntesis como: O₂, H₂, y vapor de agua. (Fjellerup, 2005). Los procesos para gasificar la biomasa son: Secado, Pirolisis, Combustión, y Reducción o craqueo de alquitranes.

El secado se lo realiza para extraer la humedad contenida en la biomasa, el cual influye en el contenido de alquitrán producido. La etapa de pirólisis es la degradación térmica del material causada por el calentamiento en ausencia de oxígeno, este proceso depende de diferentes factores como: velocidad del proceso, temperatura máxima alcanzada, composición química y granulometría de la biomasa.

El proceso de combustión son reacciones que involucran la oxidación completa de la biomasa, los principales elementos que componen el combustible son Carbono e hidrógeno, que reaccionan con el oxígeno produciendo calor.

La etapa de Reducción o craqueo de alquitrán es la conversión de los productos de la combustión a un combustible gaseoso, en el craqueo térmico el gas producido en la gasificación se calienta y las moléculas de alquitrán son descompuestas a moléculas más simples. (Skoblja, 2005).

El gas obtenido puede ser utilizado para generación de calor en una caldera u horno, o para generación de energía eléctrica o mecánica, utilización en turbinas de gas, motores de combustión interna, motores Stirling, o en celdas de combustible, con los debidos acondicionamientos y requerimientos.

Fundamentos teóricos, métodos y resultados de la experimentación.

El análisis de energía del gasificador de biomasa de 20KW se realizó en el equipo

implementado y desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ubicado en la ciudad de Sangolquí, cantón Rumiñahui, Provincia Pichincha, Ecuador.

El desarrollo de este sistema de gasificación va encaminado a la dotación de energía a comunidades no interconectadas a la red pública de electricidad, y que tengan el potencial energético de biomasa. También genera una vinculación de la universidad de las fuerzas armadas con la comunidad y la industria ya que se ofrece alternativas de obtención de energía a través de los recursos de biomasa. (Barriga, 2003).

El sistema de gasificación consta del gasificador downdraft, con sistema de ingesta de aire tipo J, que ayuda al precalentamiento del aire a la entrada a la etapa de combustión dentro del reactor del gasificador. El sistema está adaptado a un motor de combustión interna encendido por chispa el cual provee de calor con los gases de escape a un intercambiador de calor de pirolisis de gas circundante, ayuda a una pirolisis rápida, también consta con un intercambiador de calor de secado se utiliza el calor residual del gas para secar la biomasa que ingresa al gasificador. (Alterner, 2002).

Con el intercambiador de calor de secado se evita el uso de radiadores para enfriar el gas, y utilizamos el calor residual en los procesos de la gasificación (Fonseca, 2003).

La separación de partículas se la realiza mediante un ciclón colocado a la salida del gasificador, por medio del vórtice generado internamente y la fuerza de gravedad retiene partículas de hasta 10 micrómetros, para tener un gas limpio de alquitranes y partículas pequeña se implementó un filtro granular, el cual retiene partículas pequeñas que el ciclón no logro retener, tiene la función de condensar el alquitrán del gas. (Mason, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

El gasificador utilizado en el sistema de gasificación es un downdraft, desarrollado para generación de energía a pequeña escala, integrado a un motor de combustión interna, cuyos gases de combustión son reutilizados

en el proceso de calentamiento para acelerar la pirolisis dentro del gasificador, aumentando su eficiencia, también se utiliza el calor residual para el proceso de secado en la tolva que contiene la biomasa, todo el sistema es controlado a través de un Venturi conectado al final del filtro granular, que se regula a través de manómetros de agua.

El regulador para la entrada de la mezcla estequiometrica es un depurador donde se encuentran válvulas que regulan la cantidad de aire que entra al motor.

Elección de la biomasa

Se seleccionó tres tipos de biomasa, tusa

residuo de la producción de diversas especies de maíz, abundante en la serranía ecuatoriana y utilizado como fertilizante, Los residuos de maderables existentes en todo el país, con recursos agroforestales en todas las regiones y pisos climáticos, residuos de coco, solo se utiliza el agua y el sumo, dejando como desecho la cascara, utilizada para la cocción de alimentos con la combustión directa de la biomasa.

La composición de la biomasa debe tener un máximo de contenido de ceniza del 5 % para evitar la formación de Clinker.

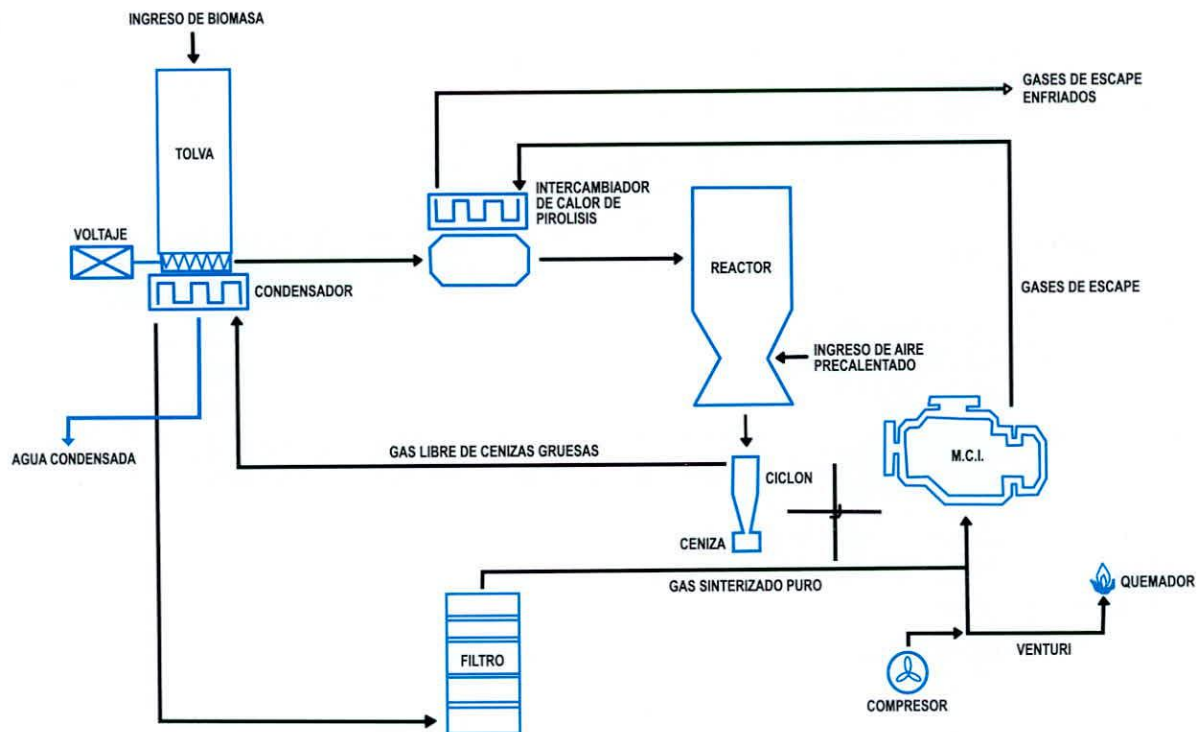


Figura 1. Esquema del sistema de gasificación

Toma de datos.

Para la toma de datos se utiliza 3 diferentes tipo de biomasa; (Pyllis, 2012).

Tabla 1. Poder calorífico de biomasa

Tipo de biomasa	PCI
Tusa de maíz	17000
Cascara de coco	19,24
Chipeado de Madera	17,96

Se calcula el poder calorífico del gas de síntesis con la siguiente fórmula

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

Se toma la fracción volumétrica del componente para calcular el poder calorífico

Siendo:

PCI_{gas} = Poder calorífico del gas KJ/m³N

C_i = Fracción volumétrica del componente

PCI_i = Poder calorífico del componente KJ/m³N

Tabla 2 Poder calorífico del gas

Componente	Formula	Contenido en %	Poder calorífico KJ/m ³ N	contenido x poder calorífico
Monóxido de carbono	CO	20	12655	2531
Hidrógeno	H ₂	20	10770	2154
Metano	CH ₄	3	35825	1074,75
Etano	C ₂ H ₆	0	64385	0
Eteno	C ₂ H ₄	0	59398	0
Dióxido de carbono	CO ₂	7	0	0
Nitrógeno	N ₂	50	0	0
	Σ	100		5759,75

Se obtiene un poder calorífico del gas de 5759,75 KJ/Kg

Balance energético del gasificador

$$m_{biomasa} \times PCI_{biomasa} + m_{aire} \times h_{aire} = m_{gas} \times PCI_{gas} + m_{gas} \times h_{gas} + Q_{cen} + Q_{perdido} \quad (2)$$

Siendo:

$m_{biomasa}$ = masa de biomasa Kg

$PCI_{biomasa}$ = Poder calorífico de la biomasa KJ/Kg

m_{aire} = masa de aire Kg

h_{aire} = entalpia de aire KJ/Kg

Donde la entalpia del aire para temperatura ambiente es de 300KJ/Kg

m_{gas} = masa de gas Kg

PCI_{gas} = Poder calorífico del gas KJ/Kg

h_{gas} = entalpia de gas KJ/Kg

$h_{gas} = 2342,07$ KJ/Kg [5]

El calor de las cenizas de calcula

$$Q_{cen} = m_{cen} \times Cp_{cen} \times (T_{cen} - T_a) \quad (3)$$

Donde el CP de la ceniza 0,96 KJ/Kg [5]

Q_{per} = Calor perdido MJ

RESULTADOS

Los resultados del balance energético se especifican en la tabla 3

Tabla 3 Balance energético

Biomasa	$m_{bio} \cdot PCI_{bio}$ (MJ)	$m_{aire} \cdot h_{aire}$ (MJ)	$m_{gas} \cdot PCI_{gas}$ (MJ)	$m_{gas} \cdot h_{gas}$ (MJ)	Q_{cen} (MJ)	Q_{per} (MJ)
Madera	99,14	10,53	64,86	28,62	0,66	15,53
Coco	148,52	15,78	97,17	44,63	1,09	21,41
Tusa	116,43	12,37	76,17	35,58	0,87	16,18

Eficiencia del gasificador

$$f_{\text{eficiencia energética}} = \frac{\text{Flujo de gas} \times PCI_{\text{gas}} + \text{Energía física del gas}}{\text{Flujo de masa} \times PCI_{\text{masa}} + \text{aire} \times h_{\text{aire}}} \quad (4)$$

$$\text{Energía física del gas} = mCp\Delta T \quad (5)$$

Siendo

Cp_{gas} = Calor específico del gas KJ/Kg°K

Cp del gas es 3,716KJ/Kg°K

ΔT = Diferencia de temperatura temperatura de salida y la temperatura de producción de gas

Tabla 4. Eficiencia del gasificador.

Tipo de Biomasa	Eficiencia
Madera	0,852
Coco	0,863
Tusa	0,867

Eficiencia del motor

H_m poder calorífico de la mezcla estequiométrica

$$H_m \text{ gasolina aire} = 3266,67 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$H_m \text{ gas aire} = 2583,07 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Siendo la mezcla gasolina aire la referencia en la cual trabaja el motor, se realiza una regla de tres simple para obtener la fracción que representa la mezcla con gas de síntesis.

La mezcla de gas aire tiene un 31% de reducción del poder calorífico en relación a la gasolina, con lo cual es evidente la disminución de potencia al usar gas de síntesis como combustible.

El motor trabaja con gasolina, la cual es una referencia y de la cual se calcula la pérdida de potencia del motor, que representa el 30%.

$$\begin{aligned}\eta_{motor\ a\ gas} &= \eta_{combustible} \times \eta_{motor} \\ \eta_{motor\ a\ gas} &= 0,70 \times 0,3 \\ \eta_{motor\ a\ gas} &= 0,21\end{aligned}\quad (6)$$

Eficiencia del Sistema

La eficiencia del sistema se analiza en conjunto el gasificador y el motor de combustión interna

$$\begin{aligned}\eta_{sistema} &= \eta_{gasificador} \times \eta_{motor} \\ \eta_{sistema} &= 0,86 \times 0,21 = 0,1806\end{aligned}\quad (7)$$

DISCUSIÓN

El sistema de gasificación es una alternativa de producción de energía, el motor de combustión interna es un Ford cortina de 4 cilindros en línea y 1,3 litros de capacidad con una compresión de 9:1, donde se adelantó el ángulo de adelanto al encendido 15 grados para que la mezcla estequiometrica encienda, la mezcla tiene un alto cetanaje con lo que sería más factible un motor con una compresión alta.

Para el análisis del gas se muestreo el gas y se caracterizó en un cromatógrafo de gases, del Instituto Ecuatoriano de Energía Renovables, teniendo un largo periodo de espera para los resultados, siendo la mejor

alternativa la implementación de un analizador de gases continuos que ayudaría con la caracterización inmediata del gas de síntesis.

CONCLUSIONES

1. El tipo de biomasa y contenido de humedad y cenizas influyen en la calidad y composición del gas, siendo más eficientes las maderas con bajo contenido de humedad.
2. El alto contenido de cenizas en la biomasa genera el Clinker, el cual causa un aumento en la temperatura del gasificador, afectando los procesos y el flujo adecuado de gas.
3. Estos sistemas de gasificación son viables donde no exista interconexión eléctrica de la red pública y fluctúa dependiendo de los recursos gasificables disponibles en las zonas y del precio de combustibles, también es viable en caso crisis energética, y guerras.
4. La generación de energía a través de la gasificación no aporta contaminación, el dióxido de carbón liberado en la combustión es igual al recolectado por la biomasa, Siguiendo el ciclo de carbono

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Arzola Ruiz por la colaboración en el desarrollo de la experimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sánchez, D. C. (2003). Tecnología de gasificación . Campinas: UNICAMP.
- Skoblja S., Malecha J., Koutsky B., Buryan P. (2005). Hot gas cleaning for biomass gasification for clean gas production. Prage: Institute of Chemical Technology Prague.
- CONELEC. (2010). Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano. Quito: Conelec.

- Fonseca, N. (2003). Estado del arte del uso del gas de gasificación termoquímica de biomasa en motores de combustión interna alternativos. Bogota: CIEMAT.
- Lesme; Recio; Preston; Rodriguez, Oliva. (2008). Analisis Termodinamico de un Gasificador ANKUR . Saniago de Cuba: Centro de Estudios de Eficiencia energetica de Ingenieria Mecánica, Univesidad Oriente.
- Alterner. (2002). The future of biomass Pyrolysis and gasification: status, opportunities and policies for Europe. Birmingham: Aston University.
- Barriga, Balseca. (s.f.). Situacion actual del sector energetico. Guayaquil: Ecuador.
- CONELEC. (2010). Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano. Quito: Conelec.
- Electo Eduardo Silva Lora, Osvaldo José Venturini. (2012). Biocombustiveis. Itajubá: Interciencia.
- Fonseca, N. (2003). Estado del arte del uso del gas de gasificación termoquímica de biomasa en motores de combustión interna alternativos. Bogota: CIEMAT.
- García, H. (2011). Modelación de la gasificación de biomasa en un reactor de lecho fijo. Bogotá: Universidad nacional de Colombia.
- Jan Fjellerup, Jesper Ahrenfeldt, Ulrik Henriksen, Benny Gobel. (2005). Formation, decomposition and cracking of biomass tars I gasification. Kongens Lyngby: Technical University of Denmark.
- Mason, J. (2009). Gasification Basics . Berkley: All Power Labs.
- Program, S. T. (1988). Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute.
- Pyllis2, E. (2012). Database for niomass and waste. Phyllis2.
- Reed. (1978). Biomass Energy A Two Edge Sword. Denver: Solar Energy Research Institute.
- Sánchez, D. C. (2003). Tecnologia de gasificación . Campinas: UNICAMP.
- Senplades. (2013). Plan Nacional del Buen Vivir 2013 -2017. Quito : Ecuador.
- Wender, I. (1996). Reaction of synthesis gas. fuel process technol.
- Program, S. T. (1988). Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute.
- Electo Eduardo Silva Lora, Osvaldo José Venturini. (2012). Biocombustiveis. Itajubá: Interciencia.
- FAO, O. d. (1993). El gas de madera como combustible para motores. Roma: FAO.

Correspondencia

Eduardo Roberto Gutiérrez Gualotuña
 ergutierrez@espe.edu.ec