

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE GASIFICACIÓN PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE UNA PLANTACION DE BAMBÚ, PROYECTO 152364 SENER-CONACYT.

Hipólito Romero Tehuitzil ¹, Mauricio Guillaumin Croda ² y Jorge M.Huacuz Villamar ¹.

¹ Instituto de Investigaciones Eléctricas, Dirección: Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca Morelos, México. CP 62490. Email: hrt@iie.org.mx

² Bambuver A.C. Dirección: Avenida 4 Oriente No. 336, Col. Centro, Huatusco, Veracruz, México, C.P 94100.

Palabras clave: Gasificador, electricidad, energía, bambú, biomasa

Resumen.

La gasificación de biomasa es una tecnología prometedora para producir gas de síntesis y convertirlo a electricidad. Puede ser una alternativa para las áreas rurales donde no llega la red de distribución eléctrica. Existe una variedad de biomasa que puede ser usada para producir gas de síntesis. Este estudio está dirigido hacia la gasificación de las plantaciones de bambú en México. Actualmente, el estudio de bambú como fuente de energía es relativamente nuevo en nuestro país. En este trabajo

Abstract

The gasification of biomass is a promising technology to produce synthesis gas and convert it to electricity. It can be an alternative for rural areas where it does not exist. There is a variety of biomass that can be used to produce synthesis gas. This study is directed towards the gasification of bamboo crops in Mexico. Currently, the study of bamboo as a source of energy is relatively new in the country. This work presents the process variables for the production of synthesis gas in a downdraft gasifier. This project is supported by the Energy Sustainability Fund SENER-CONACYT, 152364.

Marco teórico

El gasificador de lecho fijo corriente descendente se alimenta con biomasa por la parte superior del gasificador, para desplazarla hacia la garganta donde se pone en contacto con la mezcla de aire. El combustible y el aire se prenden en la zona de reacción y la flama genera gases de pirólisis que se queman intensivamente dejando de 5% a 15% de carbón, el cual reacciona con los gases descendentes y se produce CO e hidrógeno con valor calórico. Al mismo tiempo, la temperatura va reduciéndose de 1000 °C a menos de 800 °C debido a la reacción endotérmica y en su parte final el carbón pasa a cenizas y carbón (Reed and Gaur,2001). La ventaja de un gasificador de flujo descendente es que los compuestos de alquitrán son craqueados al pasar por

las zonas de alta temperatura. Así los gases producidos son más limpios y pueden ser usados en motores de combustión interna, sin embargo, también tiene desventajas. La biomasa debe ser previamente secada para ingresar con humedad menor a 20% base seca, para evitar que la temperatura dentro del gasificador disminuya y la formación de alquitranes aumente. El gas que abandona el gasificador sale a temperatura aproximada de 700°C, la cual es muy alta para ser usada en motores, entonces se utiliza un intercambiador para enfriar y el calor residual se puede aprovechar para calentar la corriente de aire o para secar la biomasa del proceso, por ejemplo.

Reacciones de la gasificación

El proceso térmico de conversión de la gasificación de biomasa consiste de las siguientes fases: precalentamiento y secado del material, pirólisis, gasificación y combustión, usualmente modeladas en forma consecutiva y simultánea, por lo tanto no es fácil identificar la frontera donde termina y empieza cada una (Higman and Van Der Burgt, 2008; Raiko et al.,2002; Basu, 2013). Las reacciones de combustión y gasificación se pueden resumir en siete ecuaciones (Basu,2013; Kristiansen, 1996):



Las reacciones de la fase gas 6 y 7 son importantes para la calidad final del gas. La ecuación 6 tiene una influencia de la tasa de producción de CO₂/H₂, la ecuación 7 se relaciona con el incremento del valor calorífico del gas de síntesis (Reed and Gaur, 2001; Higman and Van Der Burgt, 2008). Sin embargo, Higman & Van Der Burgt (2008) establecen que las reacciones 1 y 4 son las más esenciales para la mayoría de los procesos de gasificación.

Desarrollo experimental

La valoración energética del bambú y la simulación del proceso de gasificación se realizaron en laboratorios del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), y las pruebas experimentales se realizan actualmente en un gasificador experimental (Figura 1), construido en colaboración de la empresa Bambuver, A. C. en Huatusco, Veracruz.

Localización del desarrollo experimental

El prototipo y pruebas se realizan en Huatusco, Veracruz, donde la altitud del sitio es de 1344 m sobre el nivel del mar, la precipitación pluvial anual es aproximadamente 1825.5 mm, y la temperatura promedio varía de 9°C a 23°C. Estos factores son determinantes en la calidad de producción del gas de síntesis. Por

ejemplo, la presión del aire es menor con respecto a condiciones normales y la humedad relativa es muy alta.



Figura 1. Prototipo para la gasificación de bambú.

Valorización energética del bambú

Para el estudio de este proyecto se consideraron cinco variedades de bambú cultivadas por la empresa Bambuver, A.C. (Figura 2). En la Tabla 1 se resumen los resultados promedio del análisis próximo, análisis último y el poder calorífico.



Figura 2. Aspecto de plantaciones de bambú desarrolladas en Centro Bambuver, Huatusco, Ver.

Análisis próximo. El bambú como la biomasa en general, incluye una cantidad significativa de materia volátil dentro de los valores típicamente reportados (70% y 86% peso) (Basu, 2013). Los volátiles pueden convertirse a alquitranes y reducirse durante la pirólisis de gases que fluye a través de la parrilla caliente donde se espera se reduzcan a concentraciones de 0.015 g / Nm³ – 3.0 g /Nm³ (Basu, 2013) para utilizarse en un motor de combustión interna MCI. Las cenizas causan muchos problemas en el gasificador sus componentes pueden fundirse y aglomerarse produciendo taponamientos. Usualmente, una concentración aceptable de cenizas es de 5% - 6% (FAO, 1986). El bambú contiene aproximadamente entre 3% - 5% de cenizas y no debería ser un problema si se cuida el proceso de operación.

Tabla 1. Promedio de la valorización energética de 5 variedades de bambú.

Análisis Próximo			Análisis Último					Poder calorífico	
Sólidos Volátiles	Ceniza	Carbón final	C	H	O	N	S	PCB	PCA
(% peso)								(MJ/kg)	
77.59	3.97	18.4	46.46	5.94	43.52	0.135	0.05	91.74	85.29

Análisis último. El porcentaje de azufre en bambú es muy bajo, lo cual es bueno porque no producirá compuestos ácidos. El nitrógeno está dentro del rango, pero la cantidad de carbón varía. La diferencia de carbón es la causa de la diferencia en los valores caloríficos de la biomasa.

Poder calorífico. El poder calorífico del bambú se encuentra por debajo comparado con la madera porque contiene menos carbón y más ceniza, sin embargo, es aceptable para un proceso de gasificación.

Variables del proceso

En la Tabla 2 se resumen las variables de operación resultado del proceso simulado de gasificación de bambú utilizando un software especializado, y de resultados reportados por Salovaara et al., En la figura 3, se muestra la producción de gas de síntesis en el prototipo de este proyecto obtenida con astillas de bambú.



Figura 3. Astillamiento de bambú y su conversión a gas de síntesis en el prototipo de este proyecto

Tabla 2. Variables de operación del proceso de gasificación de bambú

Variable	Unidad	Resultado
Condiciones de entrada		
Humedad de bambú	%	15
Flujo másico de bambú	kg/h	62.9
Relación ER		0.374
Variables de operación		
Tasa Aire/combustible (estequiométrico)	kg aire/kg bambú	4.62
Tasa aire/ combustible, (real)	kg aire/kg bambú	1.73
Entrada de aire	kg/h	108.64
Tasa Gas/combustible	(N)m ³ gas/kg bambú	2.53
Flujo de gas de síntesis	(N)m ³ /h	159.44
Relación Combustible/Electricidad	kg bambú/kWh	1.42
Produccion electrica (Motor)	kW	45.69
Poder calorífico bajo (gas)	kJ/(N)m ³	4284.11
Eficiencia del gas frío	%	66.39

Composición del gas esperado		
CO	%	16.36
CO ₂	%	12.14
CH ₄	%	0.0015
N ₂	%	41.18
H ₂ O	%	10.09
H ₂	%	20.23
H ₂ S	%	0.00



Figura 4. Motogenerador Cumins para gas de síntesis y su conversión a electricidad

Eficiencia global del sistema

Es definida como el producto de la eficiencia del gas frío (gasificador), la eficiencia del motor y la eficiencia del generador.

La eficiencia del gas frío es una medida de su eficiencia antes de entrar al motogenerador de combustión interna (66.39 %). La eficiencia del motor es 28% de acuerdo con la FAO (FAO, 1986). La eficiencia del motogenerador Cummins (Figura 4), 85% - 86% (Chacón, 2014). Por lo tanto, la eficiencia global del sistema se calcula con la ecuación (8):

$$\eta_{global} = \eta_{gas\ frío} * \eta_{motor} * \eta_{generador} = 0.6639 * 0.28 * 0.86 = 0.1599 \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\eta_{global} = \eta_{gas\ frío} * \eta_{motor} * \eta_{generador} = 0.6639 * 0.28 * 0.86 = 0.1599$$

El valor obtenido (~16%) se encuentra en el rango reportado en la literatura, entre 13.89% a 20% (FAO,1986; Garg and Sharma, 2013).

Conclusiones

En general, por su poder calorífico, bajo contenido de ceniza y bajo contenido de azufre, el bambú puede ser una fuente de biomasa adecuada para su conversión a energía, utilizando un gasificador de flujo descendente.

De acuerdo con este estudio, la variedad de bambú *Old Hamii Munro* y *Dendrocalamus Strictus* son las más aptas para gasificación. Actualmente se realizan las pruebas experimentales en el prototipo para obtener la producción de gas de síntesis obtenida de la simulación del proceso y su utilización en un motogenerador Cummins con capacidad para producir entre 20 a 35 kW.

Agradecimientos

Al Fondo de Sustentabilidad Energética SENER CONACYT, Proyecto 152364, Fideicomiso 2138 y al Instituto de Investigaciones Eléctricas por el apoyo financiero; a Bambuver, A.C., empresa colaboradora del proyecto, Al equipo de colaboradores que hacen posible este proyecto.

Referencias

Reed T. and Gaur S.(2001). *A Survey of Biomass Gasification – Gasifier Projects and Manufacturers around the World*. 2nd Edition, the National Renewable Energy Laboratory and the Biomass Energy Foundation, Inc. Colorado, USA.

Higman C. and Van Der Burgt M.(2008). *Gasification*. 2nd edition, Elsevier, USA.

Raiko R., Saastamoinen J., Hupa M, and Kurki-Suonio I. . (2002). 2nd improved edition, Gummerus, Jyväskylä.

Basu P.*Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*.(2013). 2nd edition. Elsevier, USA. Kristiansen A. *Understanding Coal Gasification*. (1996). IEA Coal Research, England.

Salovaara, J., Romero-Tehuitzil, H., Vaca, M.C.M. and Villamar, J.H. (2015) Pre-Operational Analysis of a Prototype Downdraft Gasifier Fueled by Bamboo. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*, 5, 62-72.<http://www.scirp.org/journal/jsbs>

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Wood Gas as Engine Fuel*. (1986). Mechanical Wood Products Branch,