

GASIFICACIÓN EN UN REACTOR REALMENTE LIBRE DE ALQUITRÁN

Daniel Travieso Pedroso* y **Ramon Cala Aiello**,
Thermal Process of Biomass Research Group, University of Camagüey, Cuba.
Leonetto Conti** y **Stefano Mascia**
University of Sassari-Department of Chemistry, Italy.

Recibido: Octubre/2005

Aceptado: Enero/2006

Uno de los principales obstáculos para la aplicación de los sistemas de gasificación de la biomasa, es el alto contenido de alquitrán y polvo en el gas producto, que imposibilita su utilización en motores, turbinas o celdas combustibles sin emplear sistemas para la limpieza del gas antes de su empleo. En este trabajo se exponen las características de un novedoso gasificador libre de alquitrán. Se obtuvo gas con un contenido de 2 mg/Nm³ de alquitrán y polvo. Este gas puede ser utilizado directamente como combustible en motores de ciclo Otto para producir electricidad y calor. La biomasa fue convertida en el gas producto con más de un 78 % de eficiencia. Típicamente de 1,3 kg de madera en base seca se obtiene 1 kWh_e y más de 2 kWh_t. Su operación y mantenimiento son muy simples y pueden ser desarrollados por personal con entrenamiento mínimo.

Palabras clave: Biomasa, gasificación, alquitrán.

GASIFICATION A TAR-FREE REACTOR

One of the major obstacles for the application of biomass gasification systems is the high tar content of the producer gas that prevents the use in engines, turbines or fuel cells without further gas cleaning. In this work, features of a novel tar free gasifier are described. Producer gas, containing 2 mg/Nm³ of tar and dust was obtained. This gas can be used directly to fuel cycle Otto engines to produce electricity and heat. Biomass was converted in producer gas with up to 78 % efficiency. Typically from 1,3 kg of woody biomass in dry base, 1 kWh_e and up to 2 kWh_t can be obtained. Operations and maintenance are very simple and can be carried out by non-skilled operators.

Key words: Biomass, Gasification, Tar.

INTRODUCCIÓN

La biomasa es un combustible por el que existe un creciente interés a nivel mundial para su empleo en la generación de energía producto de la baja emisión en el proceso de conversión y por ser un combustible renovable. La industria

azucarera es una de las principales industrias generadoras de desechos biomásicos útiles para la gasificación en nuestro país.

La gasificación de biomasa troceada o paletizada para alimentar motores de combustión interna, es considerada como una de las técnicas más

(*) Thermal Process of Biomass Research Group, University of Camagüey. Carretera Circunvalación Norte, Km. 5.5. CP: 70650. Cuba. Tel. +53 32261019, E-mail: travieso@em.reduc.edu.cu

(**) University of Sassari - Department of Chemistry. Via Vienna, 2 - 07100 Sassari, Italy. Tel. +39 079 229533, E-mail: conti@uniss.it

prometedoras para una producción eficiente de electricidad de la biomasa a pequeña y mediana escala.^{3,4} Desafortunadamente, la mayoría de los gasificadores producen un gas incompatible con las especificaciones técnicas de la mayor parte de los diseñadores de motores modernos (contenido de alquitranes y polvo menor que 10 mg/Nm³), por lo que es necesario un sistema costoso de purificación de los gases, lo que resta rentabilidad a los sistemas de generación que emplean la gasificación.

En el presente trabajo se describen las características de un novedoso gasificador, capaz de producir un gas con muy bajo contenido de alquitranes y polvo. El gas producido tuvo un contenido de dichas sustancias en un rango entre 2 y 10 mg /Nm³, apto para ser empleado para alimentar directamente, luego de un sistema de lavado de muy bajo costo, motores de ciclo Otto para producir electricidad y calor. Su operación y mantenimiento son muy simples y pueden ser realizados por personal con un entrenamiento mínimo.

DESARROLLO

El gasificador

El gasificador y su sistema de filtrado son mostrados en la figura 1.

El gasificador está constituido por dos estructuras cilíndricas coaxiales. La sección donde ocurre el proceso de gasificación de la biomasa está construida de acero resistente a las altas temperaturas y a la corrosión química, para resistir la agresión de los componentes generados durante la gasificación así como la temperatura que se alcanza en el proceso.

La biomasa, preferiblemente en bloques, es introducida por la parte superior a través de tapas equipadas con cierres de seguridad.

Mientras cae, la biomasa atraviesa una zona de secado, una de pirólisis y seguidamente penetra en el corazón del gasificador. En esta zona el combustible interacciona con un flujo de aire introducido a través de orificios ubicados en la

pared, oportunamente orientados.

En esta zona el proceso de gasificación se desarrolla a altas temperaturas con el objetivo de asegurar el craqueo de cualquier residuo de alquitrán presente en el gas. El flujo de los gases es dirigido hacia el fondo del reactor y luego fluye hacia arriba por el espacio formado por las dos estructuras coaxiales. La superficie exterior está cubierta por un material aislante, mientras que la interior está provista con superficies intercambiadoras adicionales para mejorar el balance energético de la reacción de gasificación y alcanzar las temperaturas mencionadas anteriormente (figura 2).



Figura 1. Gasificador y sistema de lavado del gas

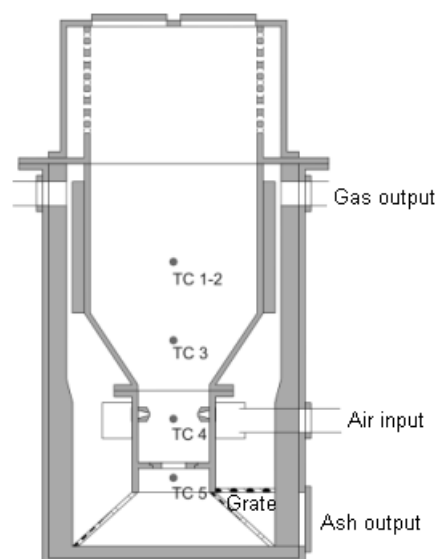


Figura 2. Esquema del gasificador

Para alcanzar uniformemente las temperaturas necesarias a través de todas las zonas de reacción, condición necesaria para el total craqueo de los alquitranes, deben ser evitadas las venas frías. Para lograr este fin los orificios en la pared del reactor son orientados de forma tal que envíen el aire directamente a la zona de oxidación, delimitada en el fondo por un plato transversal con una perforación.

El gas sale del gasificador a una temperatura moderada y prácticamente libre de alquitranes. Una limpieza final, fundamentalmente de polvo, es realizada por un muy simple y barato sistema de tres etapas, formadas por una unidad de fregado y enfriamiento, un demister y un filtro final.

La unidad de enfriamiento es un tanque cilíndrico lleno de un material barato (arcilla expandida). El gas es enfriado y lavado contracorriente por agua. El agua utilizada es enfriada y reciclada. Un tanque cilíndrico lleno con el mismo material, arcilla expandida, constituye un equipo para eliminar las gotas de agua dentro del gas (demister), mientras que el filtro final es un cilindro de acero lleno de astillas y de aserrín de madera.

Experimentos y resultados

Las corridas de gasificación se realizaron empleando diferentes biomásas. Sus características son reportadas en la tabla 1.

Tabla 1. Características de las biomásas

BIOMASA	C % peso b.s.	H % peso b.s.	N % peso b.s.	O % peso b.s.	Ceniza % peso b.s.	Humedad % peso b.s.
Melocotón	48,06	5,83	0,55	44,03	1,53	9,8
Olivo	46,43	5,63	0,55	44,91	2,48	10,6
Marabú	48,52	6,08	0,16	43,72	1,52	9,2
Pino	48,18	5,71	0,15	43,89	2,07	9,0

La biomasa fue troceada en piezas de aproximadamente 2 x 1x 1 cm.

El tamaño de los bloques es de vital importancia para el comportamiento del combustible en el interior del gasificador, así como su movimiento, para evitar la formación de puentes y canales. Igualmente tiene influencia en las dimensiones de la zona de oxidación, así como en la caída de presión en el interior del reactor.

La humedad afecta el poder calorífico del gas y la eficiencia del proceso de gasificación, porque necesita calor para vaporizarse, siempre que sea superior al 25 % de humedad en base seca de la biomasa a alimentar. La humedad vaporizada en la sección de secado y de pirólisis es condensada y colectada en la parte superior del gasificador, gracias al novedoso diseño realizado, así como parte de los gases condensables producidos.

Las biomásas fueron gasificadas satisfactoriamente en condiciones estables de operación. Todas las corridas tuvieron un tiempo de duración de entre 3 y 4 horas y fueron repetidas en tres ocasiones.

Los valores de los parámetros del proceso y la composición de los gases son resultado de las medias obtenidas en las relecturas con frecuencia de 30 minutos.

El valor del contenido de alquitrán es el resultado de un solo muestreo en cada corrida, con una duración de aproximadamente 2 horas.

La cantidad de biomasa consumida en cada prueba fue determinada por la diferencia entre la biomasa alimentada y la recuperada en el interior del gasificador al terminar las corridas.

Las condiciones del proceso y los resultados son

mostrados en las tablas 2 y 3.

La composición del gas es semejante a la reportada en la literatura. La razón de CO/CO_2 y H_2/CO son constantes; el poder calorífico del gas

es consecuencia directa de su composición química, la cual depende de la condiciones de reacción y del poder calorífico de la biomasa, los cuales presentan igualmente valores similares a los reportados en la literatura.

Tabla 2. Condiciones del proceso

Biomasa			Olivo	Melocotón	Marabú	Pino
Tiempo del proceso	(h)		3,80	2,50	3,10	3,10
Temperatura		(K)				
	T ₁		513	473	504	503
	T ₂		531	491	522	521
	T ₃		880	780	840	853
	T ₄		1193	1173	1141	1143
	T ₅		1123	1153	1102	1103
	T ₆		425	417	409	408
Biomasa Alimentada		(kg)	12,5	7,6	7,6	7,75
Flujos		(Nm ³ /h)				
	Aire		5,74	5,3	5,4	5,4
	Gas		28,9	18,4	21,2	21,3
Diferencia de presión		mm H ₂ O	17	22	23	24

Tabla 3. Resultados experimentales

Biomasa		Olivo	Melocotón	Marabú	Pino
Entrada					
Condiciones del gasificador:					
Alimentación	(kg/h)	3,3	3,05	2,5	2,5
Aire de gasificación (20°C, 1 bar)	(kg/h)	6,79	6,20	6,4	6,45
Salida					
Gas seco	(kg/h)	9,02	8,60	8,16	8,17
Agua	(g/Nm ³)	114,5	96,5	102,0	102,3
Carbón-ceniza	(kg/h)	0,160	0,085	0,125	0,128
Alquitrán	(mg/Nm ³)	9	2	10	10
Análisis del gas seco					
CO	(% vol.)	17,4	17,7	16,5	16,0
H ₂	(% vol.)	13,2	15,0	12,5	12,1
CO ₂	(% vol.)	12,4	13,5	12,0	11,4
CH ₄	(% vol.)	0,8	1,2	0,4	0,2
O ₂	(% vol.)	1,3	0,9	0,9	0,9
N ₂	(% vol.)	54,9	51,7	57,7	59,4
Dry gas HHV	(MJ/Nm ³)	4,17	4,65	3,86	3,65
Gas density	(kg/Nm ³)	1,183	1,167	1,190	1,191
Razones de operación					
O ₂ / biomasa seca		0,45	0,44	0,44	0,44
CO/CO ₂		1,40	1,31	1,35	1,40
H ₂ /CO		0,76	0,85	0,75	0,76
Balance de masa y eficiencia energética					
Masa entrada/Masa salida		1,01	0,98	0,99	0,99
Eficiencia gas trio		0,71	0,80	0,72	0,68

Empleo del gas producto en motores de combustión interna y generadores eléctricos

Como se señaló anteriormente el gas producido puede ser empleado directamente en motores de combustión interna, acoplado a un alternador eléctrico.

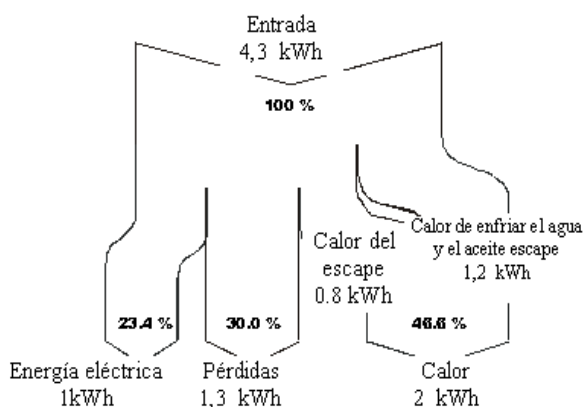


Figura 3. Balance energético

Además de la electricidad, energía térmica puede ser producida recuperando el calor del enfriamiento del agua, aceites lubricantes y del gas de escape. Más de 2 kW_t por 1 kW_e puede ser obtenido.

El balance energético del proceso es descrito en la figura 3; asumiendo una eficiencia térmica del 70 %, son necesarios 1,3 kg de biomasa (base seca) para producir 1 kWh de electricidad.

CONCLUSIONES

1. A través de la colaboración entre la Universidad de Sassari y la Universidad de Camaguey, se construyó y probó, un novedoso reactor de gasificación capaz de producir un gas libre de alquitranes y polvos; basado en la tecnología Imbert. Un gas limpio de bajo poder calórico se produjo con una eficiencia de hasta el 78 %.
2. La arquitectura de este gasificador de caída libre y lecho fijo permite la producción de un gas, bajos costos de producción por el empleo de componentes estándares, garantía en la calidad y estabilidad del gas producido de

acuerdo con las especificaciones técnicas del motor de combustión interna y bajos costos de mantenimiento.

3. Este gasificador puede proveer una fuente de energía competitiva, en particular en los países en desarrollo, donde la disponibilidad de combustibles es reducida, igualmente en los países desarrollados donde existen abundantes recursos biomásicos procedentes de la industria maderera y de la industria aceitera donde esta tecnología podría contribuir a la reducción de los costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kaupp, A. and J. R. Goss: *Small Scale Gas Producer-Engine Systems*, Ed. Friedr. Vieweg & Sohn, 1984.
2. Jenbacher Energiesysteme: AG, A-6200 Jenbach, Austria, www.jenbacher.com.
3. Reed, T. B. and A. Das: *Handbook of Biomass Gasifier Engine Systems*, 2nd ed., Biomass Energy Foundation Press.
4. Reed, T. B.; M. S. Graboski and B. Levie: *Fundamentals, Development & Scale-up of the Air-Oxygen Stratified Downdraft Gasifier*, Biomass Energy Foundation Press, 1994.