

PRINCIPALES MÉTODOS PRIMARIOS DE ELIMINACIÓN DE ALQUITRÁN DE LOS GASES PRODUCTOS DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

Daniel Travieso Pedroso y Ramón Cala Aiello,
Grupo de Estudio de Procesos Térmicos de la Biomasa, Universidad de Camagüey, Cuba.

Recibido: Febrero/2005

Aceptado: Marzo/2005

Los métodos primarios para la eliminación del alquitrán del gas producto de la gasificación, han demostrado ser muy efectivos cuando son implementados en instalaciones de gasificación de mediana escala. En el presente trabajo, se hace un resumen de las principales tecnologías implementadas para la eliminación de alquitrán empleando estos métodos y se presenta una nueva variante de diseño para los reactores concurrentes, dirigida a incrementar el craqueo térmico del alquitrán en el interior de los mismos.

Palabras clave: Métodos primarios, alquitrán, gases.

MAIN METHODS OF TAR ELIMINATION OF GASES FROM GASIFICATION PROCESS

The primary methods for tar elimination from gasification product gas, have demonstrated to be effective when they are implemented in medium scale gasification plants. In the present paper, a review of the principal technologies implemented for tar elimination with this methods, in the existent experimental installations are presented; and it's exposed a new design for downdraft gasification reactors, in order to increase the thermal cracking of the tar inside the reactor.

Key words: Primary methods, tar, gas.

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.

La gasificación de biomasa troceada o paletizada para alimentar motores de combustión interna,

es considerada como una de las técnicas más prometedoras para una producción eficiente de electricidad a pequeña y mediana escala.^{8, 10} Desafortunadamente, la mayoría de los gasificadores producen un gas, incompatible con las especificaciones técnicas de la mayoría de los diseñadores de motores modernos⁶ (contenido de alquitran y polvo menor que 10 mg/Nm³), por lo que es necesario un sistema adicional, relativamente costoso, de purificación de los gases, lo que resta rentabilidad a los sistemas de generación empleando la gasificación.

E-mail: travieso@em.reduc.edu.cu

El alquitrán es una mezcla compleja de hidrocarburos condensables, que incluye compuestos aromáticos desde un anillo simple hasta compuestos de cinco anillos, con otros hidrocarburos ligados a moléculas de oxígeno y complejos hidrocarburos poli-aromáticos, que condensa a temperaturas relativamente altas (300-400 K) causando daños a las aplicaciones usuarias del gas producto.

En el presente trabajo se discuten varias estrategias para la eliminación del alquitrán, desarrolladas hasta la actualidad, basadas en métodos primarios. Una comparación directa de las datas existentes en la literatura para el alquitrán, es compleja debido a las razones siguientes; empleo de diferentes condiciones de operación de las plantas, diferentes tipos de gasificadores, diferentes métodos para el muestreo y análisis del alquitrán y la más importante, la inconsistencia entre la definición de alquitrán empleada por los diferentes investigadores. Es por esto que en nuestro trabajo se realizan comparaciones, solo entre las investigaciones que emplean la misma metodología de muestreo del alquitrán contenido en los gases de gasificación, que es la estandarizada por los laboratorios de la Unión Europea y la Agencia de Energía de los Estados Unidos.

Múltiples aproximaciones a tecnologías para la reducción del alquitrán han sido reportadas en la literatura. La mayor parte de las investigaciones en progreso actualmente están relacionadas con el desarrollo de métodos más eficientes en términos de eliminación de alquitrán y viabilidad económica, pero fundamentalmente, no deben afectar la formación de los compuestos combustibles más importantes del gas.

Los métodos para la eliminación de alquitrán pueden tener un basamento físico, lo que implicaría una extracción del alquitrán del gas producto; o un basamento químico que implicaría la conversión del alquitrán en otro elemento químico.

Los métodos químicos tienen como ventaja sobre los métodos físicos, que los primeros transforman químicamente el alquitrán en otra sustancia que

no posee efectos perjudiciales para las aplicaciones finales que consumirán el gas. En el craqueo térmico del alquitrán es posible aprovechar la energía liberada en este proceso de descomposición (20-40 MJ/kg), y en el craqueo catalítico la nueva sustancia tiene igualmente característica combustible.

Todos los métodos disponibles en la actualidad pueden ser categorizados en dos tipos, dependiendo del lugar donde se actúa para la eliminación del alquitrán: en el propio gasificador (métodos primarios) o fuera del gasificador (métodos secundarios).²

Los métodos secundarios son empleados para el tratamiento del gas caliente a la salida del gasificador.

Los más empleados actualmente son los siguientes:

1. Craqueo del alquitrán presente en el gas a la salida del gasificador, puede ser térmicamente o catalíticamente.
2. Métodos mecánicos como el empleo de ciclones, filtros de fibras de distintas clases, filtros cerámicos, separadores rotatorios de partículas, filtros electrostáticos y enjuagadores del gas.

Los métodos secundarios no fueron objetivo de este trabajo. En Millene⁶ se puede encontrar más información.

DESARROLLO

Métodos primarios para la eliminación del alquitrán

Por método primario se entiende a toda acción que se realice para la eliminación del alquitrán antes de que el gas producto del proceso salga del gasificador. Estos métodos, de acuerdo a la forma de actuar, se dividen en:

- a) Selección de los parámetros óptimos de funcionamiento del gasificador.
- b) Incorporación de aditivos y catalizadores al lecho.

c) Modificaciones al diseño del reactor.

Estos métodos tienen fundamentalmente dos objetivos; lograr que el proceso de gasificación de la biomasa se realice con la mínima formación de alquitrán posible, o descomponer a través de la introducción de aditivos y catalizadores al lecho, el alquitrán en otras sustancias; con el consecuente aprovechamiento de la energía liberada durante el proceso de descomposición.

La selección de los parámetros óptimos de gasificación es un paso determinante, sin el cual no sería posible un desarrollo adecuado del proceso. El parámetro más importante a tener en cuenta en el momento de la gasificación es la Razón Equivalente; de la cual dependen todas las restantes variables del proceso.

La adición de sustancias al lecho para lograr la ruptura de las moléculas de alquitrán sin la necesidad de elevar la temperatura tiene como ventaja fundamental sobre los métodos de craqueo térmico, la de no disminuir significativamente el poder calórico del gas producto. Varios catalizadores han sido desarrollados con buenos resultados sobre la disminución del contenido de alquitrán en los gases productos. Morris⁷ plantea que los mejores resultados se obtienen con los compuestos de níquel, sin embargo, los costos de estos productos dificultan su aplicación en instalaciones de pequeña y mediana escala.

Los reactores de gasificación, en los cuales el contenido de alquitrán obtenido es mínimo, son los reactores concurrentes y entre ellos el Imbert.⁸ Las modificaciones al diseño de los reactores de gasificación para la disminución del alquitrán han sido, por razones obvias, aplicadas con mayor frecuencia a estos tipos de reactores.

Teóricamente, para obtener un gas producto de la gasificación con bajo contenido de alquitrán, es necesario crear una zona de alta temperatura donde los gases de pirólisis sean forzados a permanecer por un tiempo suficientemente largo, de forma tal, que el alquitrán presente en los mismos se descomponga en otras sustancias por craqueo térmico.¹¹ Esta temperatura se debe alcanzar en

las zonas de oxidación reducción del gasificador, logrando un bajo contenido de alquitrán en los gases productos. Sin embargo, los gases de pirólisis atraviesan la zona de oxidación por zonas "frías" impidiendo el craqueo del total del alquitrán portado.

Una de las experiencias más extendidas para la solución de este problema ha sido la desarrollada por Groeneveld *et. al.*,⁴ consistente en el reciclado de los gases de pirólisis, elevando la temperatura en una cámara externa al reactor y, posteriormente, introduciéndolo en la cámara de oxidación.

El mismo principio del reciclado de los gases es aplicado por Sunsanto *et al.*,¹¹ En esta tecnología son reciclados los gases producto del proceso de la pirólisis de forma variable.

La menor cantidad de alquitrán reportado para gasificadores del tipo Groeneveld que empleen madera como combustible⁵ es de 620 mg/Nm³. Mejores resultados se obtienen con el empleo de reactores del tipo Sunsanto, alcanzando valores de hasta 97 mg/Nm³ para una razón de reciclado de 1,90; valores que no son aún lo suficientemente bajos como para permitir el empleo de los gases directamente en determinadas aplicaciones como los motores de combustión interna.¹⁴

Otra variación realizada al diseño del gasificador fue la propuesta por Reed *et al.*,⁹ la cual consistió en la incorporación de una cámara para el craqueo del alquitrán en la parte inferior del reactor, donde era ingresada una pequeña cantidad adicional de oxidante para el craqueo del alquitrán, con la disminución de la concentración de este último en el gas producto a cerca de 50 mg/Nm³. Sin embargo, la dificultad para el mantenimiento de la temperatura de la cámara por encima de los 1 100 K origina una pérdida considerable en la calidad del gas obtenido. Otras modificaciones han sido realizadas por otros autores,^{3,1} sin lograr disminuir la concentración de alquitrán por debajo de los 50 mg/Nm³.

Recientemente se ha desarrollado un nuevo diseño de la cámara de combustión¹³ en los reactores concurrentes, tendiente a incrementar el

craqueo térmico del alquitrán a través de la eliminación de las venas frías. En este diseño se inclinan las boquillas de ingreso del agente gasificante un ángulo, respecto a la tangente de la circunferencia que describe la longitud de la cámara de oxidación, lo que origina que la circulación de los gases en el interior de la cámara de oxidación del reactor, sea distinta de cero. Este efecto, en combinación con la succión de que son objeto los gases desde la base de la cámara de combustión, suscita a que los mismos en el interior de la cámara describan un movimiento vorticial, lo que impide la formación de las venas frías en el interior de la cámara, incrementándose el craqueo térmico del alquitrán presente en dicho gas. Este método tiene como aspecto negativo, que el movimiento inducido a los gases causa un incremento de su tiempo de residencia en el interior de la cámara, lo que provoca que aparejadamente a la disminución del contenido de alquitrán en los gases, disminuya el poder calórico de los mismos. Susanto¹¹ demuestra que la razón de incremento óptima del tiempo de permanencia, está en el orden de 0,4-0,6 veces,

por lo que el ángulo óptimo de inclinación, según cálculos teóricos,¹² está entre 68 y 74 grados.

Dado que el objetivo principal es la disminución del contenido de alquitrán con el mínimo de pérdidas energéticas, se seleccionó un valor de 72 ° de inclinación, correspondiente al punto donde el incremento del tiempo de permanencia original es del orden de 0,45 veces; donde según reporta Susanto, la disminución del contenido de alquitrán es máxima, con el mínimo de pérdidas energéticas del gas.

Con esta modificación central, en conjunto con la inclusión de una rejilla sobre la zona de reducción para incrementar el área de esta zona con una mínima caída de presión, dadas las bajas velocidades a las que se mueve el gas en el interior del reactor; se logró disminuir considerablemente la concentración de alquitrán en el gas producto del proceso a valores menores de 10 mg/Nm³, en un reactor concurrente tipo Imbert de 15 kW;¹⁴ inferiores a los obtenidos cuando no se aplican métodos secundarios.

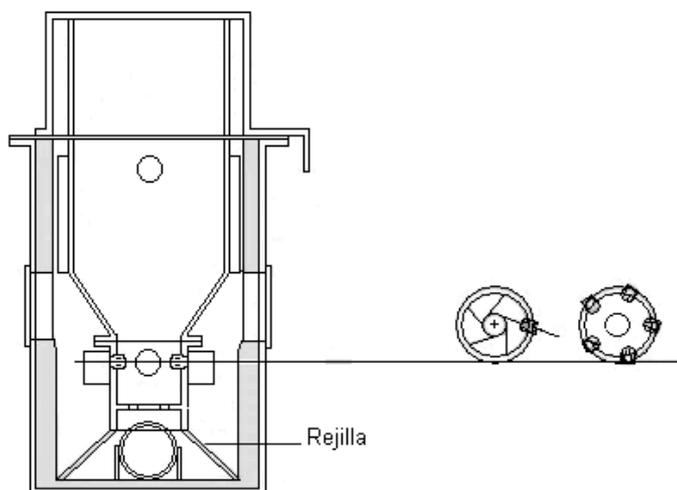


Figura 1. Ubicación de las toberas y la rejilla en el interior del reactor

CONCLUSIONES

1. Para el caso de gasificadores de pequeña escala, los métodos primarios han demostrado tener gran efectividad en la eliminación del alquitrán del gas producto, siendo las modificaciones al diseño del reactor concurrente tipo Imbert las de mejores resultados de las investigaciones reportadas.
2. La inducción de un movimiento vorticial en el interior de la cámara de combustión, es un método efectivo para impedir la formación de las venas frías en esta.

3. La combinación de las modificaciones al diseño, consistentes en la inclinación de las boquillas de ingreso del agente gasificante al reactor y la introducción de un rejilla sobre la zona de reducción, permiten disminuir la concentración de alquitrán en reactores de potencia del orden de 15 kW a concentraciones inferiores a los 10 mg/Nm³.
9. Reed, T. B.; B. Levie and A. Das: *Understanding Operating and Testing Fixed Bed Gasifier*. Bioenergy'84, Proceeding of World Conference, Goteborg, Swden, June 21, Elsevier, 1985.

BIBLIOGRAFIA

1. Chittick, D. E.: *Method for Converting Organic Material into fuel*. US. Patent 4,421,524 assigned to Pyrenco Inc, Prosser, Wash., 1983.
2. Devi, L. *et al.*: "A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification proceses", *Biomass and Bioenergy* 24: 125-140, 2003.
3. Geuter, M.: *Generator Gas: The swedish experience from 1939-1945*. Solar energy Research Institute, SERI/SP-33-140, Allenspark, Colo, 1986.
4. Groeneveld, M. J.: *The Co-current Moving Bed Gasifier*. Ph D. Tesis, Twente University, 1980.
5. Maniatis, K.: *Progress in biomass gasification: an overview*. pp. 1-32, Progress in Thermochemical Biomass Conversión, Blackwell Scientific Publications, A. V. Bridgwater (Ed.), Oxford, UK, 2001.
6. Milene, T. A. and R. J. Evans: *Biomass gasification "tars": their nature formation and conversión*. NREL, Golden, Co. USA, Report no. NREL/TP-570-25357, 1998.
7. Morris, Michael: *Catalytic cracking of tar in product gas from wood gasification*. Advances in Thermochemical Biomass Conversión, Conference Interlaken, Switserland, May 11-15, 1992.
8. Reed, T. B. and A. Das: *Handbook of Biomass Gasifier Engine Systems*, 2nd ed., Biomass Energy Foundation Press.
10. 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.
11. Susanto, H. and A. A. C. M. Beenackers: "A moving-bed gasifier with internal recycle of pyrolysis gas". *Fuel* 75(11), 1996.
12. Travieso Pedroso, Daniel: *Gasificación de madera, para producir gas combustible con bajo contenido de alquitrán (<50 mg/Nm³) en un reactor concurrente modificado tipo Imbert*. Tesis Doctoral, Santiago, 2006.
13. Travieso Pedroso, Daniel y Ramón Cala Aiello: "Gasificación en un reactor realmente libre de alquitrán", *Revista Centro Azúcar*, 2006.
14. Walker, M., G. Jackson and G. V. C. Peacocke: *Small scale biomass gasification: developmen of a gas cleaning system for power generation*. pp. 441-451, Progress in Thermochemical Biomass Conversión, Clackwell Scientific Publications A. V. Bridgwater (Ed.), Oxford, UK, 2001.