

Valorización energética de los residuos sólidos mediante la tecnología de gasificación por plasma

Briseño Escalante Juana de Lourdes^{1*}, Felipe Mendoza Carlos², López Sánchez Felipe¹, Lima Muñoz Enrique³

¹Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, ESIA ZACATENCO, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Politécnico Nacional, Av. Miguel Bernard s/n, Col. Zacatenco, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C.P. 07738, México.

²Departamento de Biociencias e Ingeniería, CIIEMAD, Instituto Politécnico Nacional, Calle 30 de junio de 1520, s/n, Col. La Laguna Ticoman, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México, C.P. 07340, México.

³Laboratorio de Físicoquímica y Reactividad de Superficies (LaFReS), Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito exterior s/n, Cd. Universitaria, Del. Coyoacán, CP 04510, CDMX, México.

*Autor para correspondencia: jbrisenoe1900@alumno.ipn.mx

Recibido:

28/febrero/2020

Aceptado:

11/diciembre/2020

Palabras clave:

Residuos sólidos urbanos, valorización energética, gasificación por plasma

Keywords:

Municipal solid waste, waste-to-energy, plasma gasification

RESUMEN

Actualmente el problema de los residuos sólidos es una dificultad ambiental, no menos importante que el agua, el aire, el suelo, etc. Por lo tanto, periódicamente se deberían evaluar los métodos de tratamiento y nuevas tecnologías térmicas en la disposición final, con el objetivo de aprovechar la riqueza de los residuos sólidos como fuente alternativa de energía renovable. La conversión térmica de los residuos sólidos (WtE) es una alternativa tecnológica prometedora al futuro del manejo y disposición final, en especial la gasificación por plasma debido a que maximiza la combustión y minimiza la contaminación, generando productos primarios amigables con el ambiente como el syngas (gas de síntesis) y el slag (residuo sólido vitrificado).

ABSTRACT

This work proposes an overview of thermal conversion of solid waste to recovering energy from waste (WtE) by gasification process. Nowadays, solid waste management is very acute, complicated and difficult problem because of population growth and increase in the consumption of goods and services. Furthermore, waste generation will outpace that we need to take urgent action on, about of new thermal technologies as methods of treatment. Those technologies not only treat all types of waste, but also produces many useful byproducts and electricity. On the other hand, the continuing growth in demand for fossil fuel has necessitated the search for alternative sources of renewable energy. Therefore, solid waste are one alternative of recovering energy to electricity but at the present time has not been given adequate attention.

Introducción

Desde que los humanos habitan la tierra, se han producido y desechado todo tipo de residuos, de manera que en la actualidad se han convertido en un problema universal molesto, afectando y contaminando a nivel global el agua, el suelo y el aire (Melosi et al., 2004).

A través de los años, la sociedad ha desarrollado la cultura del consumo de productos de un solo uso, provocando el despilfarro de recursos y poniendo en riesgo su futuro. Como consumidores, la sociedad no ha aprendido a reutilizar y a confinar los residuos.

Los residuos, el ruido, el aire contaminado y las aguas residuales aparecen por diversas causas y requieren soluciones específicas separadas. Por lo tanto, el estudio de la contaminación por residuos sólidos es un proceso que demanda de los mejores esfuerzos de los sectores: científico, industrial, sociocultural y político.

Por largo tiempo y alrededor del mundo, los residuos han representado un problema ambiental serio difícil de manejar pues son abundantes, contaminantes y molestos. En México de manera particular, los métodos actuales de disposición final de residuos sólidos más utilizados están basados en los rellenos sanitarios controlados y no controlados, los tiraderos a cielo abierto y el reciclaje (Kaza et al., 2018).

Por otro lado, el incremento poblacional y la industrialización han aumentado el volumen de residuos generados y la demanda de energía eléctrica. Para satisfacer este creciente requerimiento de energía, hoy en día el 80% de la producción energética mundial proviene de combustibles fósiles, ocasionando agotamiento de recursos, así como graves problemas ambientales (Irfan et al., 2019).

El continuo incremento en la demanda de combustibles fósiles ha obligado a la búsqueda de fuentes alternativas de energías renovables. Una fuente de energía renovable, a la cual no se le ha dado la atención adecuada, son los residuos, especialmente los residuos sólidos.

Claramente la sociedad no debe continuar con la demanda creciente de energía eléctrica y la generación de residuos, sin aprovechar la riqueza de éstos. De ahí ha surgido como alternativa tecnológica renovable de los rellenos sanitarios, la conversión térmica de los residuos sólidos (WtE). En dicho proceso, se reduce el volumen de los residuos, se genera calor y electricidad.

Por otro lado, la tecnología de gasificación es un proceso térmico casi tan antiguo como el de combustión, pero no se desarrolló tanto durante la industrialización debido a la abundante presencia de fuentes de carbono, petróleo y

gas natural. Sin embargo, recientemente se ha renovado el interés por estudiar la gasificación por ser una fuente de energía renovable y localmente viable, pues además se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero y se evita la incertidumbre económica provocada por las fluctuaciones e incrementos en los precios de petróleo (Prabir, 2010).

Metodología

La conversión de los residuos sólidos a combustibles líquidos o gaseosos se puede realizar mediante procesos bioquímicos y/o termoquímicos, ver figura 1 (Prabir, 2010).

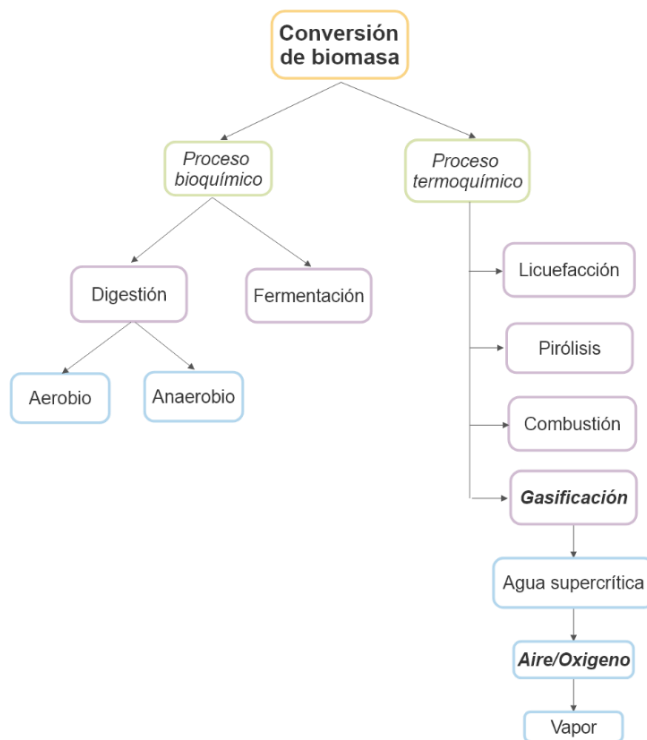


Figura 1. Conversión de biomasa a combustible (Prabir, 2010).

La gasificación es un proceso químico que transforma compuestos de carbono como biomasa, en un combustible gaseoso, llamado gas de síntesis (syngas) rico en CO , H_2 y algunos hidrocarburos saturados, principalmente metano; que pueden ser utilizados como materia prima para la generación de calor o electricidad, a través de un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera de vapor en condiciones de oxígeno excedente, ver figura 2.

La gasificación es una técnica energéticamente eficaz para reducir el volumen de los residuos sólidos y recuperar energía.

Esencialmente es el término global utilizado para describir el proceso de combustión parcial de un combustible carbonoso, en el que un combustible es quemado a propósito con menos aire que el estequiométrico. Aunque el proceso se descubrió en el siglo XIX, sólo recientemente se han aplicado para el procesamiento de residuos sólidos.

La combustión también convierte material con carbono en gases pero existen algunas diferencias importantes, por ejemplo: los gases generados de la combustión no alcanzan un valor de calentamiento útil mientras que el gas de la gasificación es de mayor utilidad.

El proceso de gasificación acumula los paquetes de energía en los enlaces químicos mientras que la combustión libera esa energía.

La gasificación se lleva a cabo en un ambiente reductor (deficiencia de O_2) requiriendo calor para su proceso, mientras la combustión se lleva a cabo en un ambiente oxidante desprendiendo calor durante su proceso.

El objetivo de la gasificación y pirólisis no es solo la conversión a energía, sino también es importante el generar un gas de síntesis que se pueda utilizar en un proceso secundario de ciclo combinado.

Sin embargo, la gasificación por plasma es un proceso endotérmico, en el cual la corriente de plasma es utilizada para facilitar el contacto completo del gas-sólido, con la finalidad de calentar las partículas sólidas de un material carbonoso y proveer de especies activas, especies excitadas, especies ionizadas y moléculas activas como el O_3 y NO_x que reaccionarán con las partículas sólidas.

La gasificación por plasma se lleva a cabo en reactores de lecho fluidizado de plasma térmico y los electrodos son localizados a lo largo de la cámara, del reactor, conectados a una fuente de alimentación de voltaje de CC o CA, con el objetivo de inducir la descarga eléctrica dentro del reactor a través de las antorchas de plasma, ver figura 3.

A su vez, la fluidización de partículas provoca una mezcla concentrada de gas de plasma y partículas sólidas, distribuidas uniformemente; por lo que la flama de plasma y el lecho fluidizado sirven como medios de reacción entre gas-sólido y sólido-sólido, debido a las temperaturas elevadas, a la transportación física y a la atmósfera química activa formada, ver figura 4 (Du et. al, 2018).

En años recientes, la “gasificación de residuos de petróleo” ha tenido popularidad para la síntesis de hidrocarburos ligeros. Las plantas de gasificación se han dedicado a generar mezclas de carbón y otros

hidrocarburos. La hidrogenación o hidrogasificación implica agregar H_2 al carbón y producir un combustible con contenido alto de área de contacto H/C.

Otra opción nueva es la “gasificación supercrítica” y puede ser utilizada con biomasa que contenga humedad.

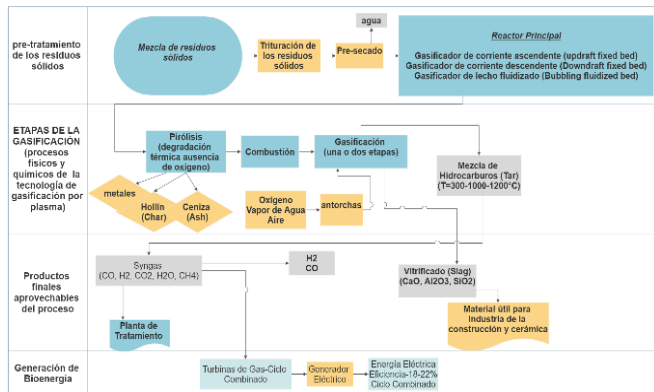


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de gasificación por plasma (fuente propia).

Generadores de plasma por descarga eléctrica gaseosa:

Tipos de descarga: corona, luz y arco eléctrico

Fuentes de energía eléctrica para generación de plasma:

| Descarga eléctrica | Descarga por pulsos |
|--|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> DC (ver figura 3) | <input type="checkbox"/> Condensador |
| <input type="checkbox"/> AC (ver figura 3) | |
| <input type="checkbox"/> RF | |
| <input type="checkbox"/> Microondas | |

Figura 3. Tipos de generación de plasma (fuente propia).

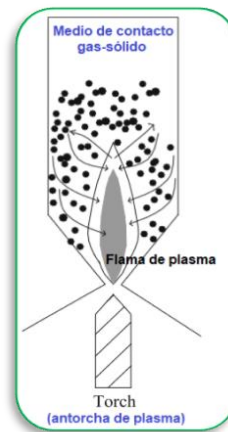


Figura 4. Representación medio de contacto gas-sólido (Du et. al, 2.18).

Tecnologías de gasificación

Los reactores utilizados en la gasificación son clasificados principalmente con base en la interacción que tienen las cargas; en este caso el gas de trabajo y los residuos sólidos alimentados.

El proceso de interacción gas-sólido se lleva a cabo a través de la fluidización, que es un proceso donde se inyecta una corriente gaseosa dentro de un lecho o cama de partículas, las cuales se comportan como un fluido y dependen de la velocidad del gas para mantenerse en movimiento.

Basados en esta configuración los gasificadores son divididos en 3 grupos principales (Prabir,2010):

- Lecho fijo
- Lecho fluidizado
- Lecho arrastrado

Una característica de los gasificadores es la forma en la que el combustible (residuo sólido) entra en contacto con las etapas del proceso (Quaak,1999). En la figura 5 se menciona la clasificación de los gasificadores de acuerdo a cada grupo.

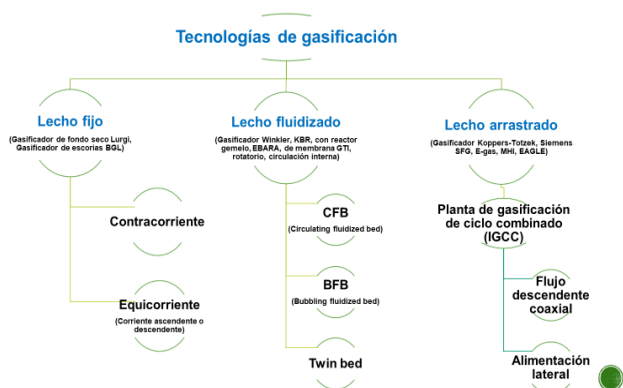


Figura 5. Tecnologías de gasificación y fuentes comerciales (Prabir,2010; Pérez, 2017).

Objetivo del trabajo

Comparar diferentes tecnologías térmicas para el aprovechamiento de los residuos sólidos (urbanos y de manejo especial) y explorar su viabilidad aplicable en México.

Justificación del problema

En el contexto mundial, la demanda de energía se ha incrementado debido al crecimiento poblacional y a la industrialización. Para satisfacer este creciente requerimiento de energía, aproximadamente el 80% de esta demanda está siendo cubierta por combustibles

fósiles, ocasionando agotamiento del recurso, así como graves problemas ambientales (Irfan et al., 2019).

Por lo tanto, existe una creciente necesidad de explorar fuentes alternas sustentables para cubrir los requerimientos futuros de energía, la disposición final de los residuos y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. De manera que las tecnologías de tratamiento térmico de residuos, parecen ser un enfoque prometedor para la generación de energía sostenible.

Actualmente una fuente de energía renovable a la que no se le ha puesto atención adecuada, son los residuos, especialmente los residuos sólidos.

En México el tratamiento y disposición final de los residuos se realiza mediante rellenos sanitarios (controlados y no controlados), tiraderos a cielo abierto y el reciclaje. Mientras que en otros países ocupan alguna tecnología térmica para el tratamiento de residuos, tal es el caso de Australia, Austria, Bélgica, Las Bermudas, Islas Vírgenes Británicas, Bulgaria, Canadá, Chile, China, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Groenlandia, Hungría, Islandia, Irán, Irlanda, Italia, Japón, Corea del Sur, Lituania, Luxemburgo, Malta, Mónaco, países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Catar, Rumania, Singapur, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Ucrania, Reino Unido y Estados Unidos (Kaza et al., 2018).

Método de trabajo

Aplicar la investigación cualitativa, evaluando teorías existente en libros, artículos y revistas científicas de acceso abierto, bases de datos indexadas relacionadas con las tecnologías térmicas para el tratamiento de residuos sólidos e indicando ventajas y desventajas de cada proceso.

La metodología de análisis de datos fidedignos ayudará a seleccionar parámetros de prueba del sistema y del gasificador, con el fin de optimizar la información que se utilizará en el modelo matemático a través de MATLAB.

La información obtenida en MATLAB se utilizará para la caracterización y simulación del proceso de gasificación por plasma de residuos sólidos. Este modelo de equilibrio para gasificación será simulando mezclas uniformes en el reactor, sin tomar en cuenta parámetros de tiempo y espacio. Optimizando las variables fijas de entrada se obtendrán las variables o parámetros de salida a través del software de ASPEN PLUS® (Khuriati, et al., 2006). ver figura 6.

Prabir Basu (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis. Practical Design and Theory. Elsevir, p. 1-11

Pérez Bayer Juan Fernando (2017). Gasificación de biomasa para generación de energía a pequeña escala. Universidad de Antioquia, Colombia. http://eventos.uanl.mx/energias_renovables/presentaciones/03_juan_fernando_perez.pdf

Quaak Peter, Knoef Harrie, Stassen Hubert (1999). Energy from Biomass. A review of combustion and gasification technologies. The World Bank, p. 26-39

Rojas-Perez F., Castillo-Benavides J.A., Richmond-Navarro G., Zamora E. (2018). CFD Modeling of Plasma Gasification Reactor for Municipal Solid Waste. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 46(7), 2435–2444. <https://doi.org/10.1109/TPS.2018.2844867>

Tchobanoglous George (1994). Gestión integral de residuos sólidos, volumen 2, McGraw-Hill, p. 687-751

Zhang Q., Dor L., Biswas A.K., Yang W., Blasiak W. (2013). Modeling of steam plasma gasification for municipal solid waste. *Fuel Processing Technology*, 106, 546–554. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.09.026>