

Combustible Biogás en Celdas de Hidrógeno

Investigación

Dr. Dietmar Rössel Kipping¹, Hipólito Ortiz Laurel²

¹ Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, Salinas de Hgo., SLP. C.P. 78600, Tel. 01 (496) 9630240. Ext. 4032. edietmar@colpos.mx

² Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, km 348 Carr. Fed. Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, C.P. 94946, Tel: 01(271) 7166000. hlaurel@colpos.mx

Resumen

Celdas de hidrógeno con una capacidad de hasta 10 kW se ensayan en plantas pequeñas de generación de energía eléctrica. Esta es una fuente motriz alternativa, viable y competitiva. El combustible biogás consiste principalmente de metano y dióxido de carbono y otros compuestos, además de una variedad de impurezas que sin embargo, son dañinas para las celdas. Se exploró la viabilidad de producir un biogás adecuado para utilizarse en las celdas, la identificación de los gases dañinos y su remoción exitosa y el estudio de los parámetros tecnológicos del reformado con vapor. Existe una correlación entre la formulación del sustrato en el biodigestor con la cantidad de gases perjudiciales en el biogás. La concentración del biogás tiene variaciones hasta del 15% con respecto al tiempo. La sensibilidad de las celdas a ciertos compuestos nocivos obliga a someter el biogás a un riguroso proceso de limpieza/acondicionamiento y finalmente a un reformado para lograr un combustible rico en hidrógeno. Para el reformado del biogás hasta lograr una calidad aceptable para utilizarse en las celdas de baja temperatura se requieren tratamientos de limpieza más agresivos y mayor equipamiento cuando se dispone de un biogás con bajo contenido de metano y un alto contenido de CO₂.

Palabras clave: Celdas de hidrógeno, biogás, biodigestión, proceso de reformado.

Abstract

Hydrogen cells with a generation capacity up to 10 kW are being tested on small electric energy plants. This is an alternative, viable and competitive power source. Fuel biogas contains methane, dioxide carbon and several other constituents including a number of impurities which could damage hydrogen cells. This work explored the feasibility of generating suitable biogas to be used for these cells, identification of damaging gases and its successful removal and analyzing the technological factors that intervene on the steam reforming process. There is a correlation between formulae for the substrate in the biodigestor and the amount of harmful substances inside biogas.

Concentration of biogas has variations up to 15% against time. Since cells are highly susceptible to harmful components, biogas requires an arduous rigorous cleaning and conditioning process; and after that, a reforming in order to upgrade hydrogen content. For reforming of biogas to be used on low temperature hydrogen cells, it requires accurate treatments and more equipment because of its low methane and high CO₂ content.

Key words: Hydrogen cells, biogas, biodigestion, reforming process.

Introducción

El uso de la biomasa en la generación de energía alterna a la de los combustibles fósiles tiene un cúmulo de ventajas, sin embargo, invariablemente su uso es acompañado de problemas de diferente índole. Primeramente, la baja densidad que puede obtenerse de la biomasa, la cual está en función de la extensión de la superficie para su colección, por ejemplo, la acumulación de suficiente cantidad de biomasa para obtener energía de manera constante, resulta incosteable en términos de transporte cuando hay que colectarla y trasladarla en pequeñas cantidades desde un gran número de sitios hacia la ubicación de la planta de generación. Y, en segundo lugar es necesario incrementar la entalpía y mejorar el nivel de entropía, para la aplicación de esta energía en los procesos de transformación, y así agregarle valor a los productos generados, en los que se utilizaron insumos a partir de materiales biológicos.

Una solución integral sería, primeramente, sembrar cultivos para producir alimentos tanto para animales como para el hombre y que en los procesos de cosecha es posible utilizar los residuos vegetales para generar una cantidad adicional de bioenergía, así como con el uso de los desechos de las actividades pecuarias y los restos de una sobreproducción, que regularmente se presentan por la variación natural de la productividad agrícola. La digestión de la masa vegetal, de los residuos pecuarios y residuos orgánicos produce biogás y un fertilizante orgánico. La utilización de materiales considerados de desecho para la producción de biogás en proyectos de generación de energía en

las comunidades de zonas aisladas y/o marginadas, alejadas de los centros de suministro de energía tradicionales, con lo que se cumple la condición básica de que se produce un bioenergético que no compite con la producción de alimentos y donde las fuentes de energía comunes o son escasas o no se encuentran disponibles [1].

El biogás es utilizado en los motores de las plantas generadoras de energía eléctrica de tamaño mediana y grande, mientras que en las pequeñas se ensaya el biogás en celdas o pilas de hidrógeno (CH) de baja temperatura para generar energía hasta una capacidad de 10 kW (Figura 1). Las celdas CH requieren para su funcionamiento de gases muy limpios y entre mayor sea el contenido de hidrógeno se incrementa su eficiencia, sin embargo, el biogás resultante de la digestión contiene diferentes compuestos además de impurezas que son dañinas para los componentes de las celdas CH, por lo que es indispensable establecer procedimientos de limpieza confiables para el biogás [2].

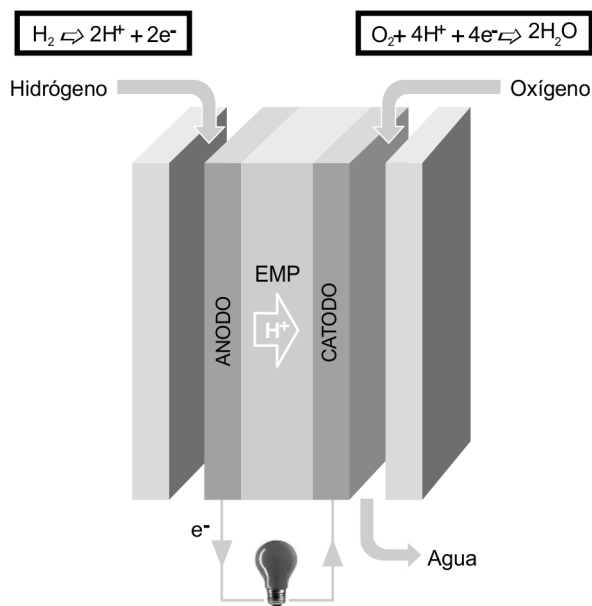


Figura 1. Esquema básico del funcionamiento de una celda de hidrógeno de baja temperatura.

El objetivo de este trabajo es explorar la producción rentable de un biogás de calidad aceptable para las celdas de combustible CH, mediante la identificación de los gases dañinos así como de su remoción exitosa y el análisis de los parámetros tecnológicos del proceso de reformado con vapor.

Materiales y métodos

La composición y las características del biogás dependen del tipo de la materia prima en la digestión, así como de la tecnología utilizada. Los insumos que

se emplean para la obtención del biogás pueden ser los siguientes: residuos agrícolas y ganaderos, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, residuos industriales biodegradables generados en las industrias cervecera, azucarera, alcoholera, láctea, etc., y lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Las aplicaciones del biogás como fuente energética pueden ser térmicas o eléctricas, en función de su grado de pureza. Un biogás con alta cantidad de impurezas se utiliza como combustible en equipos comerciales diseñados para gas natural o propano, como son los calentadores, lámparas, estufas, refrigeradores, etc. No obstante, no cabe duda de que el uso más interesante que tiene el biogás en estos momentos es en la generación de electricidad y de calor, de manera individual o conjunta [3]. El biogás con un grado medio de pureza, se puede utilizar en motores de combustión interna (motores de ciclo Otto -gasolina- y motores Diesel) y turbinas de gas [4].

Las celdas de combustible o de hidrógeno son una tecnología prometedora para la producción de energía eléctrica, desarrolladas inicialmente para utilizar gas natural y que, pueden utilizar biogás debido a su menor impacto ambiental, su menor consumo y a la obtención de un rendimiento aceptable, siempre y cuando éste se encuentre libre de impurezas y con un alto contenido de hidrógeno.

Las celdas de combustible que se revisaron en este estudio son dispositivos electroquímicos que convierten la energía de la reacción química producida entre un combustible y un oxidante, en energía eléctrica (corriente continua), liberando agua y calor (Figura 1).

Cada celda dispone de dos electrodos, los cuales están separados por una membrana electrolítica de polímero (EMP). Por el ánodo se realiza el suministro del gas combustible y por el cátodo se introduce aire que es la fuente de oxígeno. En el ánodo se produce la disociación de la molécula de hidrógeno en dos protones (H⁺), liberándose dos electrones. Los electrones circulan por el circuito externo hacia el cátodo y los protones atraviesan el electrolito, permeable a ellos. Una vez en el cátodo, los electrones y los protones se combinan con el oxígeno del aire, liberando agua y energía en forma de calor.

Las plantas de energía descentralizadas a base de celdas CH se componen de una sección en la que se realiza el procesamiento del biogás (limpieza y reformación), la sección del empaquetamiento de un número específico de placas (similar al de una batería de vehículo) de la celda de combustión, el regulador de la separación de los elementos y radiadores térmicos, además de las bombas, compresores, instalaciones para

medir y regular la humedad proveniente del aire y las instalaciones de medición y de control [5].

Las celdas de combustión actuales no pueden utilizar el biogás directamente, ya que se requiere aplicarles un proceso de reformado para mejorar su calidad en base a su pureza y alto contenido de hidrógeno [6]. Las diferencias en el funcionamiento de las celdas son producto de las diferentes características de los sustratos empleados en la generación del biogás y a su consecuente variable contenido de los diferentes gases que lo componen. El biogás, aún después de que se le haya aplicado un reformado, cuando es comparado

con el gas natural, contiene aún mayor contenido de dióxido de carbono y una menor cantidad de gas de combustión H_2 (Tabla 1).

A un biogás típico saliendo del digestor (60% CH_4 y 40% CO_2) se le hizo un reformado para obtener un gas rico en hidrógeno (60 hasta 70% de H_2) y se suministro a una celda de combustible la cual estuvo conformada por una serie de placas ensambladas en forma de paquete. El conjunto de placas de la celda se mantuvieron en operación estable y se obtuvo un coeficiente de rendimiento aún menor que cuando se emplea un hidrógeno más limpio [7].

Tabla 1. Contenido fundamental del biogás y del gas natural, incluyendo sus gases reformados.

Componente	Biogás	Gas natural	Reformado de biogás	Reformado de gas natural
CH_4 (%)	45-65	Superior a 80	0-5	0-5
CO_2 (%)	30-50	Menor a 10	25-35	10-20
H_2 (%)	-	-	55-68	70-80
N_2 (%)	Menor a 10	Superior a 15	3-8	3-10
O_2 (%)	Menor a 2	0	Menor a 1	Menor a 1
NMHC ³ (%)	0	4-15	0	0
Enlaces de S (ppm)	Superior a 6000	Menor a 20	0	0

Resultados y discusión

La composición del biogás es una función del tipo de sustrato formulado, de la clase de procedimiento a que es sometido para su limpieza y el control de los parámetros que intervienen en el proceso mismo. El biogás contiene una menor cantidad de metano y una alta proporción de CO_2 y la composición del biogás producido es altamente variable con respecto al tiempo, llegándose a tener variaciones hasta de más del 15% entre muestras.

El proceso de reformado más eficiente es el tratamiento con vapor con el que se consigue una eficiencia muy alta en la producción de hidrógeno. Aunque, el procedimiento por medio de una oxidación parcial tiene una dinámica mejor y con menos problemas de que se dañen los catalizadores [8].

Para la reacción química del aparato del reformado, éste utiliza el calor saliente de las celdas de combustión de alta temperatura, que puede ser mediante la integración térmica (indirecta) del reactor de reformado y de la celda de combustión o mediante la integración de catalizadores del reactor de reformado en el sistema de distribución del gas sobre el ensamblado de placas de la celda de combustión. Por consiguiente,

el proceso se realiza con un coeficiente de efectividad relativamente alto para el sistema completo.

El proceso del reformado mediante el empleo del vapor en las grandes plantas se realiza con reactores de reformado del tipo de cama fija que se encuentran disponibles en el mercado y trabajan a temperaturas de 750 hasta 850°C y con presiones de 3 hasta 30 bar (Tabla 2). El inconveniente es conseguir la presión suficiente, que a la entrada debe ser mayor a 10 bar, que en los combustibles gaseosos se requiere de mucho esfuerzo para lograr esa compresión. El calor para la reacción endotérmica proviene de la combustión del gas natural. Estos aparatos tienen una gran capacidad, una alta versatilidad en la función que desarrollan y un acoplamiento seguro con la instalación de generación de hidrógeno altamente limpio [6].

Conclusiones

El contenido de metano obtenible de los digestores de materiales agrícolas muestra una relación directa a la calidad de la composición del sustrato y al procesamiento en el rango de 50 al 65% del gas seco. Una instalación que realiza una digestión de doble fermentación sólido-líquido, puede ser adecuada para conseguir metano en una concentración de 70 a 82%.

Existe una correlación directa entre los contenidos de los componentes en la formulación del sustrato dentro del biodigestor con la cantidad de gases de baja concentración finales encontrados en el biogás.

Para el reformado de un combustible biogás de materiales orgánicos diversos para usarse en las celdas

CH de baja temperatura se requieren más tratamientos y más equipos debido a su menor contenido de metano y alto CO_2 .

Tabla 2. Reacciones químicas en el proceso del reformado del metano y la consecuente eliminación del CO en el gas natural.

Procesamiento	Reacción	$D_R H^0$ (kJ/mol)	Temperatura del proceso (°C)	Informaciones adicionales
Reformado por vapor	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$	206	600-850	75-80 H_2 ¹⁾
	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$	165		
Oxidación parcial	$\text{CH}_4 + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$	-36	1300	31-34 H_2 ¹⁾
Cambio de CO	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	-41	350-420 ²⁾ 220-280 ³⁾	CO menor al 1%
Oxidación selectiva	$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$	-283	60-180	CO menor a 10 ppm
	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	-246		

¹⁾ Eficiencia de la producción de H_2 de los procesos de la limpieza del gas natural; ²⁾ Rango de variación para altas temperaturas; ³⁾ Rango de variación para bajas temperaturas

Referencias

- [1] Schiegel, M., Pérez Pineda, E., Ortiz Laurel, H., Rössel, D., Schnabel, D., y Kanswohl, N., (2012), "La Generación de Biogás con un Biogás-Contenedor en Zonas Marginadas", *AGROCENTRO 2012: V Edición de la Conferencia Científica Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sustentabilidad*. Las Villas, Cuba. 12 p.
- [2] Siddle, A., Pointon, K.D., Judo, R.W., and Jones, S.L., (2003), ETSU F/03/00252/REP; URN031644, UK.
- [3] Arnold, J., and Beckmann, F., (2005), Enertec Leipzig. 8-11 März.
- [4] Strenziok, R., (2007), Abschlussbericht FNR FKZ 22006404 Rostock, Alemania.
- [5] De Brulin, F., (2007), *Green Chemistry*. volumen 7, p. 132-150.
- [6] Effendi, A., Zhanger, Z.G., Hellgardt, T., Honda, K., and Yoshida, T., (2002), *Catalysis Today*. Volumen 77, p. 181-189
- [7] Schmersahl, R, and Scholz, V., (2005), *The CIGR Ejournal*. VII - EE 05 002.
- [8] Haldor-Tropsch., (1988), *EPRi Report AP – 6071* Palo Alto, USA.

Recibido: 15 de octubre de 2012

Aceptado: 9 de abril de 2013