

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS OBTENIDO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Autores: Hernán G. Asís(1), Fabián Dopazo(2), Paulo J. Gianoglio(3)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISENER. Avenida de la Universidad 501

(2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA. Tel. (03564) 421147/435402

<http://www.frsfco.utn.edu.ar/>

(1): hernanasis@gmail.com; (2): fd_11_9@hotmail.com; (3): paulo_racing89@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Entre las diferentes formas de producción de energía, en este proyecto, se investiga la obtención de energía eléctrica a partir de la generación de biogás que se adquiere de la recolección y fermentación de los residuos urbanos. En base al notable crecimiento demográfico de muchas ciudades, el incremento de los residuos sólidos urbanos se ha transformado en una de las principales problemáticas ambientales en la actualidad.

En la ciudad de San Francisco, provincia de Córdoba, el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables es inexistente. Por otro lado, en cuanto a la existencia de residuos urbanos, la metodología de recolección diferenciada y su posterior disposición y aprovechamiento, la generación de energía no ha podido ser implementada con éxito, generando un problema sanitario y ecológico de relevancia. En las condiciones en que se plantea la realidad urbana de la ciudad, la generación de energía eléctrica desde el biogás es posible y necesaria.

El proyecto de investigación presentado, tratará de evaluar la factibilidad de generación de energía eléctrica desde el Biogás obtenido por el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos.

METODOLOGÍA Y DISCUSIÓN

La generación de Biogás es un proceso natural que tiene lugar en la degradación de la materia orgánica, y que, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y descomposición de los residuos, adquiere significativa importancia desde el punto de vista energético. El Biogás es un combustible que se obtiene de manera biológica por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, y cuyos componentes principales son metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Todo residuo orgánico, o fuente de Biomasa, atraviesa en estado anaeróbico las distintas etapas que culminan en la producción de metano. Este producto generado principalmente por actividades agrícolas y por descomposición de basura de consumo humano, es transportado hacia la estratósfera por medio de las corrientes de aire, para convertirse en una fuente importante de calentamiento global. Estudios de la EPA (Agencia de Protección Ambiental), determinan que el metano tiene un coeficiente de calentamiento global (GWP) de 56, lo que representa un potencial importante de una sustancia para contribuir al calentamiento global, en referencia al dióxido de carbono, al que se le asigna un GWP de 1.

Si bien la concentración del metano en la estratósfera es mucho menor que la del CO_2 , su alto potencial contaminante lo convierte en la segunda fuente de calentamiento global. Desde hace tiempo, según las fuentes bibliográficas consultadas; la concentración de metano en la estratósfera se está incrementando peligrosamente. El aprovechamiento a nivel global de este gas, generaría en algún punto una contribución a la reducción de esta problemática, y un beneficio económico al utilizar energía proveniente de fuentes disponibles y renovables, disminuyendo el costo de generación y distribución en las redes de gas natural habitualmente utilizadas.

Selección de la biomasa a utilizar

Las fuentes de biomasa disponibles en la actividad humana son diversas, tantas como tipos de materia orgánica se hallen disponibles para su degradación. Entre ellas las que adquieren mayor importancia son los desechos orgánicos provenientes de la agricultura, los desechos de granjas de animales y los residuos domésticos. Existen distintos factores positivos y negativos para la elección de la biomasa que varían según su origen:

Desechos orgánicos resultantes de la agricultura y granjas de animales

La explotación agrícola de la tierra en esta región pampeana, por el tipo de cultivo realizado y las condiciones de cosecha y siembra posterior, no genera grandes cantidades de materia orgánica disponible para la generación de gas. Los desechos de los animales de granja generan una contribución importante en la acumulación de metano atmosférico, el cual influye negativamente en el efecto invernadero siendo el segundo gas de más aporte a esta problemática. Sus residuos son librados a la descomposición natural, sin ejercer el uso eficiente de la energía que estos naturalmente proveen. Si bien la ciudad se sitúa en una zona de gran importancia ganadera, los tambos de la región, se hallan muy dispersos unos de otros, lo que dificultaría la posibilidad de trabajar en una planta comunitaria de biogás, que plantearía las condiciones ideales para incrementar la producción del combustible y su distribución.

Desechos orgánicos resultantes de los residuos domésticos:

La disposición y el uso de los mismos están netamente vinculados a la actividad socioeconómica de las poblaciones, y su utilización requiere de la colaboración y el compromiso de la población y sus gobernantes. El aprovechamiento ecológico de los desechos y la reducción de la contaminación que generan los actuales basurales a cielo abierto son temas que incentivan a la elección de este tipo de biomasa.

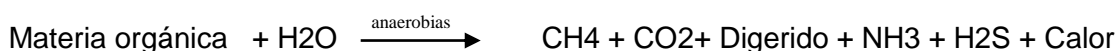
En base a las ventajas y desventajas nombradas anteriormente y a las investigaciones realizadas sobre situaciones similares en distintas ciudades en el mundo, hemos adoptado la utilización de los residuos sólidos urbanos como biomasa a utilizar. Esta opción es la seleccionada para la realización de los cálculos iniciales, que entregarán los datos necesarios para el estudio de la eficiencia de conversión de biogás en energía eléctrica.

El proceso de Obtención de Biogás

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de la materia orgánica por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno, que, como producto de tal degradación, generan metano, dióxido de carbono y otros compuestos.

Con esta metodología, en condiciones adecuadas, puede obtenerse un gas con alto contenido de metano y un sólido residual que puede ser utilizado como fertilizante agrícola.

La conversión de materia orgánica en metano se describe de la manera siguiente:



En la digestión anaeróbica intervienen cuatro etapas del metabolismo bacteriano, como se muestra de manera resumida en la Fig 1, que conlleva la producción de biogás.

1) Hidrólisis: convierte los biopolímeros complejos en moléculas más sencillas, por acción de bacterias hidrolíticas anaeróbicas.

2) Acidogénesis: Las bacterias hidrolíticas son convertidas en ácidos orgánicos de cadena corta, alcoholes y diversos gases.

En estas dos primeras etapas se alcanza una producción de biogás de entre un 20 y 25%.

3) Acetogénesis: los productos finales del proceso de acidogénesis se convierten en acetato por medio de la deshidrogenación acetogénica.

4) Metanogénesis: el acetato producido a partir de los gases hidrógeno y dióxido de carbono, se convierten en metano por medio de bacterias metanogénicas.

Los microorganismos que intervienen en este proceso requieren de un medio con pH cercano a la neutralidad para una actividad óptima. Estas condiciones deben ser monitoreadas y ajustadas convenientemente en las diversas etapas de la degradación.

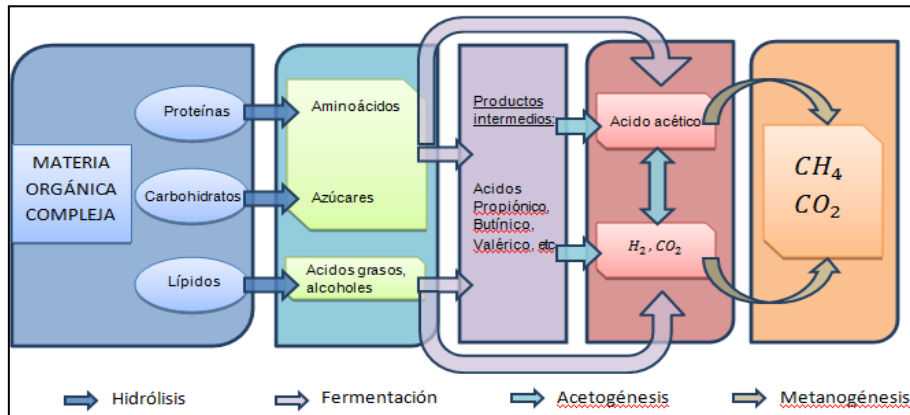


Fig. 1. Esquema síntesis del proceso de obtención del biogás.

Selección del biodigestor

Para la elección se evaluaron diversos trabajos concretos, y estudios de laboratorio, cuyas investigaciones estén sustentadas por la experimentación práctica. Se seleccionó así un estudio realizado por el departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Cádiz, en el cual las condiciones ambientales analizadas, y de la materia prima a utilizar se asemejan a la realidad de nuestra ciudad. Concluyendo que el uso de un reactor anaeróbico discontinuo que funcione en un rango de temperaturas termofílicas disminuye el tiempo de permanencia del residuo dentro del reactor, acelerando así la producción de biogás.

Además este proceso de obtención de biogás genera ciertas ventajas económicas, ya que en un único reactor se lleva a cabo el proceso completo con un alto rendimiento de conversión, una obtención de un residuo digerido con propiedades fertilizantes y una disminución notable del tiempo necesario para el arranque y la estabilización del digestor.

El tiempo de retención hidráulico debe contemplarse para la correcta selección del tamaño del reactor y las fases diarias de carga y descarga en el reactor semicontinuo. El tiempo de retención hidráulico seleccionado es de 15 días, tiempo necesario para la degradación biológica anaeróbica completa. El proceso optado se realizará en un digestor de alto contenido de sólidos a temperatura promedio de 55 °C, asegurando así una máxima producción de biogás y un alto nivel de destrucción de patógenos. Esta digestión seca, permite una reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) de entre 70 y 90 % generando así un biogás que contendrá un porcentaje de metano de entre 50 y 70 %.

Cálculo de la producción de gas para un reactor discontinuo

En la ciudad de San Francisco, se generan en promedio 50 t. de basura por día, de la cual, aproximadamente un 40% está constituida por desechos de materia orgánica.

Para el proyecto en estudio, se evaluará la conversión de estos desechos orgánicos en un reactor tanque discontinuo que se alimentará con RSU, en una concentración del 20 % de los sólidos totales (ST).

La búsqueda de información y los relevamientos realizados en la ciudad por empresas y organismos relacionados al sistema de tratamiento de residuos, permite estimar que la composición de la fracción orgánica coincide con la evaluada en diversas ciudades estudiadas, en las cuales, el nivel socioeconómico de la población pudiera ser comparado a la de la ciudad de San Francisco. En función de esto se considera que la fracción orgánica de los RSU depositados en las instalaciones del basural y relleno sanitario de la ciudad puede describirse con suficiente precisión en estimaciones porcentuales según la tabla I. Los parámetros de análisis de laboratorio de la materia orgánica en estado primario, previo a su dilución, arroja los siguientes resultados según la tabla II⁽¹⁾ y la tabla III⁽¹⁾.

Tabla 1. Valor % de RSU

Elementos	Porcentaje
Papel y cartón	15 a 40 %
Veg. y mat. putrescibles	20 a 65 %
Plásticos	2 a 6 %
Metales	1 a 5 %
Vidrio	1 a 10 %
Caucho y cuero	1 a 5 %
Inertes (tierra y arena)	1 a 30 %

Tabla 2. Val. Característicos

Materia prima	
Parámetro	Valor
Densidad	328 kg/m ³
Humedad	52,6%
Sólidos totales	47,4%
DQO	803 mg/g
Materia orgánica	69,3 %

Tabla 3. Parámetros de RSU

RSU-20% de concentración	
Parámetro	Valor
Sól. totales	819 g/kg
Sól. volátiles	433,5 g/kg
Sól. Tot. solubles	13,1 g/kg
Sól. Vol. solubles	12,1 g/kg
DQO	57,6 g/l
COD	52,2 g/l
Carbono	10,4 %

La cantidad de metano producida requiere de un cálculo en el que intervienen parámetros propios del tipo de residuo, porcentaje de dilución y temperatura de reacción. Se expondrá a continuación el cálculo analítico de producción de biogás considerando óptimas condiciones de trabajo, que generan resultados ideales, y que se verán afectados, en la práctica, por diversos factores que intervienen en el funcionamiento real. En virtud del objetivo de la presente investigación, el análisis posterior no acredita condiciones reales de investigación, sino un cálculo aproximado del combustible disponible para la generación eficiente de energía.

Dada la producción diaria de la ciudad, promediada en 50.000 kg, del cual se considera una producción de residuos orgánicos es el 40 % del total de la basura, se tiene que:

$$50.000 \text{ kg} \times 0,4 = 20.000 \frac{\text{kg org.}}{\text{día}}$$

Siendo la concentración necesaria para la alimentación del 20%⁽¹⁾ de orgánico dentro del reactor, y los sólidos totales (S.T.) = 819 g/kg, deberá diluirse el residuo con agua de la siguiente manera:

$$Q_{\text{alimentación}} = 20.000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{100}{20} = 100.000 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Los sólidos totales obtenidos dentro del reactor diariamente luego de su alimentación se calculan de la siguiente manera;

$$ST = 819 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 100.000 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times \frac{\text{kg}}{1000\text{g}} = 81.900 \frac{\text{kg ST}}{\text{día}}$$

Se considera el porcentaje de sólidos volátiles como el 52,93 %⁽¹⁾ de los ST dada la composición inicial del RSU, para lo cual:

$$SV = 0,5293 \times 81.900 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \cong 43.350 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Dados los resultados del estudio tomado como comparativo para el proceso de degradación en las condiciones planteadas. Se considera un porcentaje de reducción de los sólidos volátiles (SV) del 79,4%⁽¹⁾ dado los parámetros medidos en laboratorio:

$$\% \text{ Reducción} = 43.350 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,794 \cong 34.500 \frac{\text{kg SV}}{\text{día}}$$

El proceso de conversión anaeróbica genera una conversión en metano que se estima habitualmente en 0,15 m³/kg⁽²⁾ SV, por lo cual:

$$Q \text{ Biogás} = 34.500 \frac{\text{kg SV}}{\text{día}} \times 0,15 \frac{\text{m}^3}{\text{kg SV}} \cong 5.200 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El porcentaje de metano promedio obtenido para la generación de biogás en este tipo de reactores es de aproximadamente 60%⁽³⁾ con lo cual:

$$5.200 \frac{\text{m}^3 \text{ Biogás}}{\text{día}} \times 0,6\% \cong 3.000 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{día}}$$

Este volumen de metano producido por día, considerando su poder calorífico⁽⁴⁾ por metro cúbico de metano, a presión atmosférica y 25°C, genera una energía calórica de:

$$3.000 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{día}} \times 8708,4 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} \cong 27.000.000 \frac{\text{kcal}}{\text{día}}$$

RESULTADOS

La obtención de energía disponible por hora es entonces la equivalente a 1.125.000 kcal/h. Este valor pudiera ser convertido de manera ideal, a un valor de potencia disponible de aproximadamente 1.307 kJ / s. Esta potencia, lejos de ser la que se obtendrá de manera real, proporciona una base teórica para determinar la viabilidad del estudio.

Distintas opciones como para aprovechar el biogás

Turbina de gas: Entre las turbinas de gas, un rasgo significativo que las caracteriza es que se adaptan mucho mejor a las características del biogás, pudiendo trabajar con contenidos elevados de H₂S y concentraciones bajas de CH₄. Tiene una buena relación de potencia, peso y volumen y una buena flexibilidad en su operación.

Además, tienen una emisión baja de NO_x a la atmósfera y una rápida puesta en marcha, es decir, alcanza en poco tiempo su generación nominal o lo que se conoce como plena carga, lo que la hace muy útil para cubrir picos de consumo. Al ser una máquina rotativa presenta una clara ventaja frente a los motores alternativos, por la ausencia de movimientos alternativos y de rozamientos entre superficies sólidas, lo que se traduce en menores problemas de equilibrado y menores consumos de aceite lubricante, lo que otorga un mantenimiento sencillo y una elevada fiabilidad.

Las desventajas que imponen la negativa de la elección para nuestro proyecto son dos, la alta velocidad de rotación y su bajo rendimiento (30-35%) comparado con los motores alternativos diesel.

Celdas de combustibles: En la actualidad, las celdas de combustible son una tecnología prometedora para la producción de energía eléctrica y cogeneración a partir de biogás debido a su bajo impacto ambiental, su menor consumo y el elevado rendimiento que presentan.

Este tipo de obtención de energía presenta una clara desventaja que la omite en nuestra elección, precisa un biogás con un grado de pureza medio-alto lo que demanda una mayor inversión en la obtención del biogás, ya que la separación de residuos debería ser mucho más estricta, con máquinas más sofisticadas y también debe contar con un reactor de mayor tecnología y elevado coste. Además los materiales constructivos de la celda de combustible, debido a la tecnología que demanda su obtención, tienen un elevado coste. Por el momento, no es un sistema económicamente competitivo respecto a las turbinas de gas o a los motores de combustión interna para la generación de electricidad a partir de biogás.

Turbina de vapor: Con respecto al biogás utilizado como combustible externo en la generación de electricidad a través de las turbinas a vapor, el rendimiento que se logra es importante (puede llegar al 40%), es mayor que el de la turbina a gas y el motor y se puede mejorar el mismo haciendo extracciones de vapor y realizando ciclos combinados aprovechando los gases de combustión del biogás en las calderas.

Pero el montaje de una usina térmica, con calderas, condensadores, recalentadores, desgasificadores, desmineralizadores de agua, torre de refrigeración y demás, hace que para una potencia, como la que tenemos disponible para nuestro caso, no sea viable ya que el valor del Kilovatio generado tendrá un elevado coste debido a la inversión que demanda este tipo de usina.

Motor de combustión interna: El biogás con un grado medio de pureza, se puede utilizar en motores de combustión interna (motores de ciclo Otto -gasolina- y motores diesel). Los motores de ciclo Otto pueden funcionar solamente con biogás, aunque necesitan de otros combustibles en el momento del arrancado. Los motores de ciclo diesel constan de un sistema mixto de biogás y diesel que permite utilizar distintas proporciones de ambos combustibles. Sin embargo, los motores de combustión interna tienen como desventaja principal las elevadas concentraciones de NOx y CO que emiten a la atmósfera.

Debido a su baja inversión, su destacable rendimiento y considerando la potencia disponible, debido a la cantidad de metros cúbicos de biogás generado por los desechos orgánicos de nuestra ciudad, es el mecanismo de transformación de energía que elegimos para nuestro proyecto que a continuación desarrollaremos más sobre la elección del tipo de motor elegido.

El motor que irá acoplado al generador funcionaría de manera dual, en el arranque lo haría con gas oíl por sus propiedades detonantes y luego una vez en régimen comenzaría a alimentarse con biogás. La proporción de consumo sería en porcentajes 30% de gas oíl ya que se utiliza en el arranque y cada tanto durante su funcionamiento, en un tiempo estipulado por mantenimiento, con la finalidad de lubricar los mecanismos en contacto con el combustible y utiliza un 70% de biogás.

Afectando el rendimiento del motor que es de un 35% nos quedaría un valor de potencia eléctrica

$$1.307 \frac{kJ}{s} \times 0,35\% \cong 457.5 \frac{kJ}{s}$$

CONCLUSIÓN

Si bien se requiere de una separación del residuo previa a la recolección y de un tratamiento eficiente de la disposición de los mismos, la combustión de la fracción orgánica de los mismos, puede generar una potencia eléctrica de 457.5 kW, disponible para su utilización.

Esta generación de energía eléctrica no llega a cubrir la demanda actual de la ciudad pero puede incrementar la oferta actual.

Aparte de ser una nueva alternativa de obtención de energía, con este proyecto se logra un doble beneficio: generar energía limpia con baja emisión de contaminantes durante su combustión y, a la vez, reducir el impacto ambiental que generan los basurales a cielo abierto.

REFERENCIAS

(1) TANIA FOSTER CARNEIRO; "Digestión anaeróbica termofílica seca de RSU; estudio de la variable del proceso de arranque y estabilización del bio-reactor"; Tesis Doctoral en Ingeniería Química, Universidad de Cádiz, Cádiz, España 47,107, (2005)

(2) GERARD KIELY; "Ingeniería Ambiental; Fundamentos, entornos, tecnología y sistemas de gestión", Primera Edición, Mc Graw Hill,770,(1999)

(3) MARIANO SEOANEZ CALVO; "Tratado de la contaminación atmosférica; problemas tratamientos y gestión" 188. (2002)

(4) PERRY; *Manual del Ingeniero Químico, Sexta Edición*; tomo 1; pág. 3.195, tabla 3.207.