

## Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario

### Evaluation of a purified biogas compression system for the agriculture sector

MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac\*†, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet

*Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Carretera al Ingenio Km. 2 Col. Vista Hermosa, Ciudad Valles, S.L.P.*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Cuitláhuac, Mojica-Mesinas* / ORC ID: 0000-0001-8585-8249, Researcher ID Thomson: T-3267-2018, arXiv ID: MOMC640319JF8, CVU CONACYT ID: 744041

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Dulce Carolina, Acosta-Pintor* / ORC ID: 0000-0003-0784-7039, Researcher ID Thomson: T-3349-2018, arXiv ID: DulceAcosta, CVU CONACYT ID: 626925

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Eleazar, Vidal-Becerra* / ORC ID: 0000-0003-3857-2103, Researcher ID Thomson: T-1547-2018, arXiv ID: elia.vidal, CVU CONACYT ID: 623037

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Belzabet, Rueda-Chávez* / ORC ID: 0000-0003-1370-9994, Researcher ID Thomson: T-2820-2018, CVU CONACYT ID: 730631

Recibido: 20 de Abril, 2018; Aceptado 29 de Junio, 2018

#### Resumen

Hoy en día uno de los tipos de energías alternas es la bioenergía, en sus diferentes formas, que pueden ser el biogás, biodiesel y bioetanol. En el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, a la fecha se ha trabajado en la caracterización de residuos orgánicos, en la producción de biogás a partir de éstos y su purificación. Lo anterior ha planteado la necesidad de diseñar y desarrollar un sistema de compresión que permita comprimir el biogás, a fin de facilitar su manejo (transporte y almacenamiento) y asegurar su valor energético para un uso óptimo como combustible. El sistema de compresión de biogás diseñado, se conectó a un cilindro en el cual se almacenó el biogás purificado, y para la compresión el presostato se calibró a 4 kg/cm<sup>2</sup>, a fin de controlar la presión del biogás purificado almacenado. La evaluación del sistema de compresión consistió en la medición del poder calorífico y la densidad, donde se obtuvieron un poder calorífico de 13.098 kcal/kg y una densidad 0.651 kg/m<sup>3</sup>.

**Biogás, Biogás purificado, Sistema de compresión, Poder calorífico, Densidad**

#### Abstract

Today one of the alternative types of energy is bioenergy, in its different forms, which can be biogas, biodiesel and bioethanol. In the Technological Institute of Ciudad Valles, to date has been working on the characterization of organic waste, in the production of biogas from them and their purification. This has raised the need to design and develop a compression system to compress the biogas, in order to facilitate its management (transport and storage) and ensure its energy value for optimum use as fuel. The designed biogas compression system was connected to a cylinder in which the purified biogas was stored, and for compression the pressure switch was calibrated at 4 kg / cm<sup>2</sup>, in order to control the pressure of the stored biogas. The evaluation of the compression system consisted in the calorific value measurement and the density, where a calorific power of 13,098 kcal / kg and a density of 0.651 kg / m<sup>3</sup> were obtained.

**Biogas, Purified biogas, Compression system, Calorific value, Density**

**Citación:** MOJICA-MESINAS, Cuitláhuac, ACOSTA-PINTOR, Dulce, VIDAL-BECERRA, Eleazar y RUEDA-CHÁVEZ, Belzabet. Evaluación de un sistema de compresión de biogás purificado para el sector agropecuario. Revista de Simulación Computacional. 2018. 2-4: 13-18.

\* Correspondencia al autor (Correo Electrónico: cuitlahuac.mojica@tecvalles.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

Hoy en día la necesidad de potenciar la generación de energías limpias como respuesta a la problemática de la situación energética mundial ha permitido investigar posibilidades de utilizar nuevas formas de energía sustentable como los biocombustibles, que son producidos a partir de biomasa.

En México, se han realizado esfuerzos significativos en materia legal y de investigación en el tema bioenergético para ampliar el desarrollo de los principales biocombustibles entre los que se encuentran el biodiesel, bioetanol y biogás.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Varnero, 2011). En este proceso realizado por bacterias, el biogás está compuesto en un 50% a un 70% de  $\text{CH}_4$  y en un 30% a un 50% de  $\text{CO}_2$ , además de contener ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros gases trazas.

La industria agropecuaria, de gran importancia y magnitud en México, genera cantidades significativas de residuos, algunos de los cuales se aprovechan o se tratan, mientras que otros simplemente se desechan. Es clave prevenir y minimizar la producción de los mismos y extraer su valor, siempre que sea posible. Existen algunos casos en los que ya se aprovechan los residuos para la producción de metano que se utiliza para generar calor o electricidad, pero en la mayoría de los casos sólo se quema sin aprovechar su valor energético (Centro Mario Molina, 2016).

Al ser considerado el biogás un recurso energético importante para la transición energética, éste puede ser empleado para la generación de energía y calor en las actividades diarias del sector agropecuario. A través de un sistema que permita la compresión del biogás es posible almacenarlo de manera adecuada para su uso posterior.

El biogás comprimido debe tener un valor energético para su uso posterior, determinado por su poder calorífico y densidad.

De acuerdo a Perry (2001) el metano tiene un poder calorífico superior de 13.249 kcal/kg y 11.940 kcal/kg como mínimo. La densidad del metano es igual a  $0.6784\text{kg/m}^3$ , a una temperatura de  $15.6^\circ\text{C}$  y 1 atmósfera (HDS, Praxair, 2009).

Con respecto a la problemática energética, en el Instituto Tecnológico de Ciudad Valles desde hace dos años, se ha trabajado en la valorización de los residuos orgánicos de la actividad agropecuaria de la localidad, se diseñó y desarrolló un sistema físico de purificación de biogás y derivado de estos avances se diseñó y desarrolló un sistema que permite comprimir el biogás generado y purificado, a fin de facilitar su manejo (transporte y almacenamiento) y asegurar su valor energético para un uso óptimo como combustible, y de esta manera utilizarlo en el sector agropecuario de la región.

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de evaluar el desempeño del sistema diseñado de compresión de biogás purificado.

## Metodología

Para realizar la prueba de desempeño del sistema de compresión de biogás purificado, fue necesario el uso de biogás generado del biodigestor ubicado en un rancho de la localidad a 5 km de Ciudad Valles, S.L.P., y en el cual se utilizaron excretas de ganado vacuno (Figura 1). Este biogás se pasó por un sistema físico de purificación de biogás (Figura 2), con la finalidad de mejorar su poder calorífico al reducir el  $\text{CO}_2$ . El proceso se desarrolló en las siguientes fases:

### Etapa 1. Diseño del sistema

Los materiales que se utilizaron para el diseño del sistema de compresión fueron: un compresor de  $\frac{1}{2}$  hp, dos manómetros (uno de alta presión y uno de baja presión), un presostato, una válvula de flujo, tubo de cobre de  $\frac{3}{8}$  de pulgada y 50 cm de largo, una manguera tramada, y válvula de bronce para gas (Figura 3).

Todas las conexiones tienen la medida estándar del presostato y válvula de flujo de ¼ de pulgada. Se decidió utilizar este material por sus numerosas ventajas, ya que debido a la presión que se maneja con el biogás, el compresor da un mejor manejo de compresión y al unirlo con un presostato y dos manómetros, favorece una mejor lectura y control al gas que entra a presión al cilindro.

## Etapa 2. Acondicionamiento del sistema

Antes de la prueba de compresión de biogás fue necesario revisar la instalación del sistema, examinando que las conexiones no presentarán fugas y que los manómetros estuvieran calibrados adecuadamente. Se revisó también la conexión eléctrica para evitar cortos, y el funcionamiento adecuado del presostato que tiene la función de cerrar o abrir el circuito eléctrico dependiendo de la lectura de presión del fluido. Finalmente también se mantuvo cuidado en la utilización de equipo de protección personal para la prueba de compresión.

## Etapa 3. Operación del Sistema

El sistema de compresión se conectó a una bolsa de geomembrana que se encuentra interconectado al purificador. A su vez se conectó a un cilindro en el cual se almacenó el biogás purificado, el presostato se calibró a 4 kg/cm<sup>2</sup>. Una vez que arrancó el sistema de compresión, el presostato cortó el circuito de energía, de esta manera se controló la presión del biogás purificado almacenado en el cilindro, para su uso posterior, la prueba fue realizada en condiciones ambientales a 31°C, utilizando un cilindro de 19.2 l.

## Etapa 4. Evaluación

La evaluación del sistema de compresión de biogás purificado consistió en la medición del poder calorífico y la densidad.

El poder calorífico se determinó a través del método del calorímetro, en el cual se colocaron 100 g de agua en un cristallizador de vidrio, y se anotó la temperatura inicial, se colocó dentro del calorímetro y finalmente se calentó el agua con biogás purificado, registrando la temperatura inicial, final y el tiempo de calentamiento (Figura 4). Se realizaron los cálculos correspondientes a la siguiente fórmula con respecto al agua:

$$Q = mcp\Delta T \quad (1)$$

Donde:

Q=flujo del calor  
m=masa de la sustancia  
cp=capacidad calorífica del agua  
 $\Delta T$ =variación de temperatura

Con la aplicación de esta fórmula, se calculó el calor absorbido por el agua a partir del calor generado por el biogás purificado; de acuerdo a la primera ley de la termodinámica que es el principio de conservación de la energía (Smith,1996).

La densidad de un gas se define como la masa por unidad de volumen y se puede expresar en kg/m<sup>3</sup> (Himmelblau, 2002). Por lo tanto se tiene que:

$$d = \frac{Pm}{RT} \quad (2)$$

Donde:

d=densidad del gas  
P=presión atmosférica  
m=masa molecular del gas  
R=constante de los gases ideales  
T=temperatura

De esta manera se realizaron los cálculos correspondientes al poder calorífico y a la densidad.

## Resultados

Los resultados de la prueba de compresión a través del sistema se presentan en la tabla 1:

Volumen de gas a presión atmosférica (inicial)	Volumen de gas comprimido (final)	Presión máxima alcanzada de compresión	Masa de biogás contenida en el tanque	Temperatura inicial de trabajo	Temperatura final de trabajo	Tiempo total del proceso
677.48 L	19.2 l	4 kg/cm <sup>2</sup>	0.48295 kg	31°C	31°C	1.0422 hrs

**Tabla 1** Resultados de la prueba de compresión de biogás.

Fuente: *Elaboración Propia*

Los resultados de la evaluación del cálculo del poder calorífico del biogás comprimido se presentan en la tabla 2:

Biogás purificado comprimido	Tiempo de consumo de biogás comprimido	Tiempo de consumo de biogás comprimido por minuto	Temperatura inicial de agua	Temperatura final de agua	Tiempo total del proceso para alcanzar 100°C	Consumo de biogás comprimido para alcanzar 100°C	Densidad calculada
19.2 l	240 min	2.82 min	27 °C	100° C	2.33 min	0.2639 g-mol	0.651 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 2** Resultados de la evaluación del poder calorífico y densidad del biogás comprimido.

Fuente: Elaboración Propia

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Para calcular el calor absorbido del agua utilizada se tiene entonces:

$$Q = mcp\Delta T \quad (3)$$

Dónde:

$$Q = (100 \text{ g}) \left( 4.186 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot \text{°K} \right) (373.15 - 300.15) \text{°K} \\ = 30557.8 \text{ cal}$$

$$Q = \frac{30557.8}{2.33} = 13098.07 \text{ cal/g}$$

Por lo que el calor que el agua absorbe en el período de tiempo para alcanzar su calentamiento es: 13.0980711 kcal/kg.

Además con el dato calculado del peso molecular del biogás purificado (0.2639 g/mol) y aplicando la ecuación de los gases ideales (Atkins, 2007), se tiene, que:

$$pV = nRT \quad (4)$$

Donde:

p= presión (atm)

V=volumen (l)

n=número de moles

T=temperatura absoluta

R=constante de los gases ideales

Entonces:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

$$n = \frac{(1 \text{ atm})(0.67748 \text{ m}^3)}{(82.057 \times 10^{-6})(304.15)}$$

$$n = 3.01844 \times 10^1 \text{ g - mol} \\ = 30.1844 \text{ g - mol}$$

Realizando las conversiones y cálculos se determinó que la masa de biogás purificado comprimido para esta prueba fue de:

$$m = 0.48295 \text{ kg}$$

Para el cálculo de densidad, se realizaron los siguientes cálculos:

$$d = \frac{Pm}{RT} \quad (5)$$

Donde:

$$d = \frac{(1 \text{ atm}) \left( \frac{16.04 \text{ g}}{\text{mol}} \right)}{(0.082 \text{ atm} \cdot \text{l/mol} \cdot \text{°K}) (300.15 \text{°K})}$$

$$d = 0.651 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0.651 \text{ kg/m}^3$$

La densidad del biogás purificado calculado fue de 0.651 kg/m<sup>3</sup>.

## Anexos



**Figura 1** Biodigestor con excretas de ganado vacuno.  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 2** Purificador de biogás.  
Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3** Sistema de compresión de biogás purificado.  
Fuente: *Elaboración Propia*



**Figura 4** Prueba del poder calorífico  
Fuente: *Elaboración Propia*

### Agradecimiento

Se agradece a los productores que colaboraron con la aportación de los residuos para la realización de la presente investigación, así mismo el Laboratorio de Química del Instituto Tecnológico de Ciudad Valles. Es importante mencionar que la información presentada forma parte del proyecto financiado en la Convocatoria de Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica de Tecnológico Nacional de México 2018.

### Conclusiones

Se diseñó un sistema básico de compresión de biogás purificado, cuyas pruebas de funcionalidad permitieron concluir que el sistema de compresión es apto para darle un mejor uso al biogás. Las pruebas se realizaron en condiciones a temperatura ambiente, en un área despejada lo que permitió tener una mejor seguridad en el manejo del sistema de compresión.

La utilización de este biocombustible puede dar paso, con base a la compresión, la viabilidad de envasar y transportar el biogás purificado, el cual permitirá utilizarlo en lugares distantes del lugar de producción. En esta evaluación del sistema de compresión, se trabajó a  $4 \text{ kg/cm}^2$ , para comprimir  $0.48295 \text{ kg}$  de biogás purificado. De la evaluación del biogás comprimido a través del sistema se obtuvo un poder calorífico de  $13.098 \text{ kcal/kg}$  y una densidad  $0.651 \text{ kg/m}^3$ .

De acuerdo a Perry (2001) el metano tiene un poder calorífico superior de  $13.249 \text{ kcal/kg}$  y  $11.940 \text{ kcal/kg}$  como mínimo. Con respecto a la densidad del metano, la Hoja de seguridad para este gas (HDS, Praxair, 2009) establece que es igual a  $0.6784 \text{ kg/m}^3$ , a una temperatura de  $15.6^\circ\text{C}$  y 1 atmósfera.

Los datos obtenidos para el poder calorífico y la densidad se encuentran cercanos a los parámetros de referencia. Se concluye entonces que el biogás comprimido puede llegar a tener un valor energético para su uso posterior.

### Referencias

- Centro Mario Molina. (2016). Bioenergía: Análisis regional del aprovechamiento integral de los residuos de la industria agropecuaria. 20 diciembre del 2017, de Centro Mario Molina Sitio web: <http://centromariomolina.org/energia/bioenergia-analisis-regional-del-aprovechamiento-integral-de-los-residuos-de-la-industria-agropecuaria-2016/>
- D. Himmelblau. (2002). Principios básicos y cálculos en Ingeniería Química. México: Editorial Pearson Prentice Hall. Sexta Edición.
- HDS, Praxair, 2009. Hoja de Seguridad de Producto Metano. México. Recuperado el día 01 de mayo del 2018 de <http://www.praxair.com.mx/-/media/documents/safety-data-sheets/metano-hds-p4618f-2009.pdf>
- J.M. Smith; H.C. Van Ness; M.M. Abbott. (2007). Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química. México: Mc Graw Hill.

P. Atkins, L. Jones. (2007). Principios de Química: los caminos del descubrimiento. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.

R.H. Perry. (2001). Manual del Ingeniero Químico. México: Editorial Mc Graw Hill. Séptima Edición.

Varnero, M.M.T., 2011. Manual de biogás. Gobierno de Chile. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Global Environment Facility, Proyecto CHI/00/G32: "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables". Chile. Recuperado de 14 de marzo del 2018 de <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>