

## **ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS EN UN REACTOR TIPO BATCH CARGADO CON VIRUTAS DE ASERRÍN Y RESTOS ORGÁNICOS**

**Gallipoliti V., Martina P., Corace J., Aeberhard R.**

Grupo de Investigación en Energías Renovables (GIDER) – Departamento de Termodinámica  
Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Nordeste  
Av. Las Heras 750 – (3500) Resistencia – Chaco  
Email: [angelinag2@arnet.com.ar](mailto:angelinag2@arnet.com.ar) [pablo@ing.unne.edu.ar](mailto:pablo@ing.unne.edu.ar)

**RESUMEN** se informa los resultados de un ensayo completo de biodigestión anaeróbica para la obtención de gas metano a partir de virutas de aserrín y restos orgánicos, con la finalidad de realizar el análisis energético en juego de toda la experiencia. Así, se comparan los consumos en la producción de energía para calentar la mezcla orgánica y de aserrín, con la energía producida por el biogás generado a partir del valor de la masa del gas y su poder calorífico. Se indican las variables medidas de masa de gas producida, valores de pH, y generación de CO<sub>2</sub>, entre otros. Se verifica un bajo rendimiento de toda la experiencia debido al alto consumo de energía eléctrica que demandó mantener la temperatura dentro del digestor durante los meses de invierno. No obstante, esta situación se revertiría si la experiencia se llevara a cabo en los meses de verano, que para estas latitudes, son mayoría.

**Palabras clave** Consumo de energía - Balance energético- Biodigestor – metano- residuos - algarrobo

### **INTRODUCCION**

La utilización de biomasa vegetal seca, en forma de madera, para la generación de calor por combustión directa cubre en promedio hasta 5 % de las necesidades energéticas en los países desarrollados (porcentaje similar al cubierto por la energía nuclear), llegando a ocuparse hasta un 95 % en países más pobres, donde la media de consumo alcanza aproximadamente una tonelada por habitante por año. (García Guerrero, 1983). La energía neta obtenida durante la combustión es de unos 8 MJ/Kg. de madera verde, 20 MJ/Kg. materia vegetal seca, 40 MJ/Kg. grasa, aceites naturales o ésteres de aceites de semilla, 55 MJ/Kg. metano, 27 MJ/Kg. hulla y 46 MJ/Kg. aceites minerales (Carrillo, 2004) La madera, paja, cáscaras, etc. son los materiales más convenientes para esta conversión ya que son de bajo contenido en agua y alto en lignocelulosa. Los procedimientos fisicoquímicos de conversión consisten en someter la biomasa a la acción de altas temperaturas, que en el caso de que el calentamiento se lleve a cabo en presencia de cantidades limitadas de oxígeno, se produce la gasificación ((Twidell J., 1998) El proceso de gasificación, genera un gas pobre compuesto de cantidades diferentes de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Este gas puede enriquecerse en metano, dando lugar así a un sustituto del gas natural. En trabajos anteriores (Martina et al., 2006) se obtuvo un valor del poder calorífico de 7492,24 Kcal./m<sup>3</sup> para un gas generado por residuos de madera de pino. La digestión anaeróbica de madera no ha sido considerada técnicamente factible sin algún tipo de pre tratamiento que aumente su biodegradabilidad. Los modelos predicen una reducción de solo el 15 % de materia orgánica (sólidos volátiles) para las maderas duras con un contenido de lignina del 25 % del peso seco. En un digestor "Bach" hubo una conversión significativa solo después de 120 días. El mayor rendimiento fue 0,32 m<sup>3</sup>/Kg. SV con aserrín de álamo en un reactor con un volumen de cultivo de 2 L e incubado a 35°C en un periodo de 105 días. (Smith et al., 1988)

En este marco se tiene por objetivo del presente trabajo conocer las energías puestas en juego en los procesos de generación del gas metano obtenido a partir de la mezcla de virutas de madera y residuos orgánicos, y la energía requerida para llevar a cabo dicho proceso. Esta última se calculara como el consumo eléctrico de una resistencia que permite calentar la mezcla del digestor, durante un periodo de tiempo estimado. La experiencia a analizar constituye una parte del proceso de producción de biogás, investigaciones que se vienen llevando a cabo en Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, desde la construcción del biodigestor (Martina et al., 2003) , medición de la composición del biogás generado (Martina et al., 2002) , comparación de la producción con algarrobo y pino (Martina et al., 2005) y su análisis cualitativo y cuantitativo de la producción en un reactor tipo Batch (Martina et al., 2007)

En la experiencia realizada en el año 2006 se cargo el digestor con aserrín de madera de algarrobo y como materia orgánica, rica en nitrógeno, orina y heces para lograr una relación C/N óptima. Se cargo el digestor con 5,4 Kg. de aserrín de algarrobo fino y tamizado de color pardo y sin deslignificar. La materia inoculante de bacterias digestivas se colocaron 4 litros de orina y 1 Kg. de heces. Se mezcló con 60 litros de agua. Esta experiencia constituyo el decimoprimer ensayo de biodigestión que llevo 140 días. El reactor utilizado de 88 litros, aislamiento térmico, carga única, contaba con un serpentín de calefacción interna, con un mecanismo contador de horas para determinar la cantidad de energía entregada al agua de calefacción circulante por la serpentina interna. Este sistema de calefacción por calentamiento de agua también estuvo equipado con un termostato de corte a 65 °C para mantener dentro del biorreactor una temperatura entre 25 °C y 35 °C, rango favorable para las bacterias mezofílicas.

También se colocó un presostato para interrumpir el suministro eléctrico ante la falta de agua. El sistema comenzó a producir gas recién a los 19 días después de cerrado. Los parámetros medidos periódicamente durante el ensayo fueron los siguientes:

- Temperatura ambiente,
- Presión del gas dentro del digestor y en el gasómetro,
- Volumen de gas generado,
- Presión ambiental, y
- Composición del gas mediante un aparato de Orsat (porcentaje de CO<sub>2</sub>)

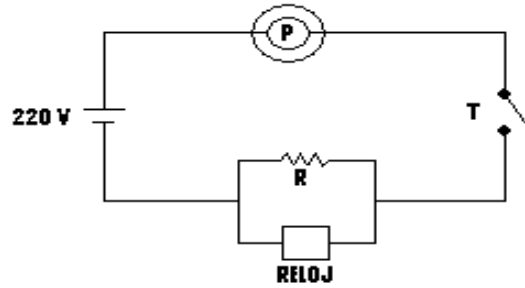


Figura N° 1: Equipo de calentamiento de agua para calefacción del reactor y circuito eléctrico

En cuanto a la calefacción del biodigestor por medio de una serpentina interna de agua caliente, esta se registró mediante un contador horario, el cual indicó el siguiente tiempo:  $T = 475,16 \text{ horas} = 1.710.960 \text{ segundos}$

La resistencia utilizada fue del tipo sumergida de valor  $R = 48,4 \text{ ohm}$  y el voltaje utilizado fue  $E = 220 \text{ voltios}$ , por lo que la energía eléctrica suministrada en forma de calor fue de acuerdo a la Ley de Joule:

$$Q = \frac{E^2 \cdot T}{R} = \frac{220^2 \cdot 1710960}{48,4} = 8,2810464 \cdot 10^{10} \text{ Joules} \quad (1)$$

Este valor de energía utilizada en forma de calefacción es elevado pero debe tenerse en cuenta que el biorreactor no está enterrado (lo cual lo protegería de las bajas temperaturas) y que la mayor parte del ensayo se realizó en invierno.

Por otro lado, en el trabajo realizado anteriormente (Martina et al., 2006) se halló el valor experimental de poder calorífico inferior del biogás producido. El calor entregado por el biogás al quemarse  $Q_b$ , será igual al producto de su poder calorífico  $P_{cb}$  multiplicado por su masa  $M_b$ . Se tomará una densidad del biogás  $D_b$  de  $1,08 \text{ Kg./m}^3$ .

De esta igualdad se despejará el poder calorífico del biogás  $P_{cb}$ :

$$Q_b = P_{cb} \cdot M_b / D_b \implies P_{cb} = Q_b \cdot D_b / M_b = 38,5469 \text{ kcal} \cdot 1,08 \text{ kg/m}^3 / 0,0055565 \text{ kg}$$

$$P_{cb} = 7.492,24 \text{ Kcal./m}^3 \quad (2)$$

La producción en biogás fue registrándose juntamente con valores de presión, temperatura y masa total generada. En la Gráfica N°2 se muestra la producción de masa de gas.

Para la determinación de la masa de gas producido se utilizó la ecuación de estado de los gases perfectos:

$$p \cdot V = m \cdot R_p \cdot T$$

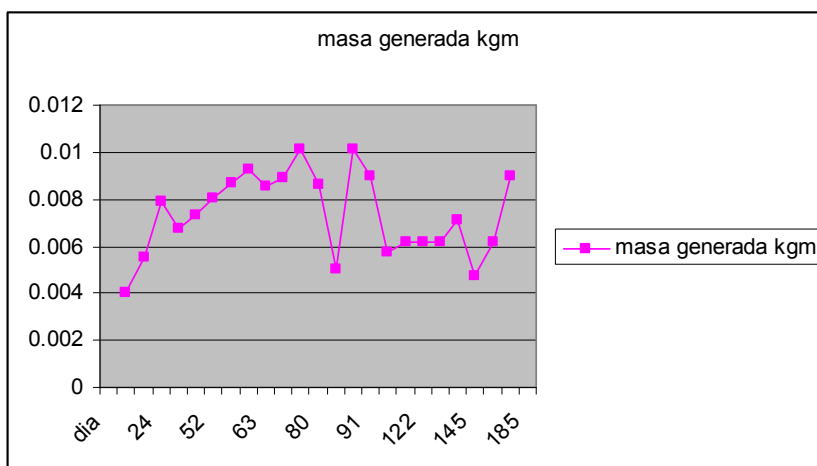


Figura N° 2: Gráfica de la producción de masa de gas en el biodigestor

La masa de gas obtenida, que fue calculándose en función de la ecuación de estado de los gases perfectos (1), la cual totalizó un valor de:

$$m = 0,169203 \text{ kg. Masa} \quad (3)$$

Otros valores obtenidos en la experiencia es la relación entre gas obtenido por digestión anaeróbica y cantidad de aserrín de madera colocado en el digestor (Rgm) resultó la siguiente:

$$Rgm = \frac{169,203 \text{ g. gas}}{5,4 \text{ kg. Aserrín}} = 31,333889 \text{ gr. de gas/kg. de aserrín}$$

Las mediciones de composición del gas se hicieron por medio de un aparato de Orsat, que mide el porcentaje de CO2 en el biogás. Como se observa en el gráfico, los valores de porcentajes de CO2, están cerca del 30%. Esto quiere decir que el porcentaje de metano en el biogás habría sido del 70%, lo cual se considera una cantidad satisfactoria.

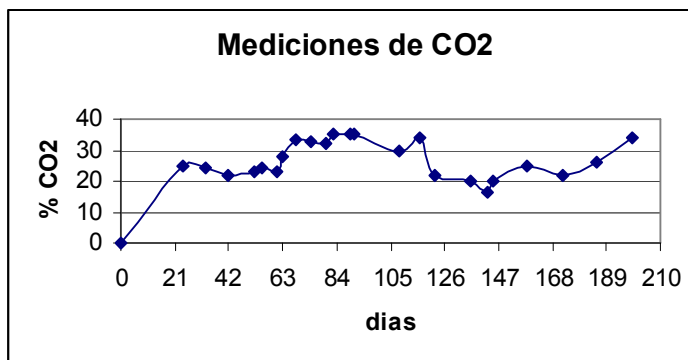


Figura N° 3: Datos de porcentaje de CO2 desde el día 0 hasta el día 203

El pH se midió regularmente una vez por semana con un pehachímetro marca Hanna modelo Checker, cuya resolución es de 0,01 pH y una precisión de +/- 0.2 pH. Los primeros 15 a 20 días, la medición de pH indicó valores ácidos, entre 6,1 y 6,5, valores típicos de la fase acidogénica. Luego, el proceso se hizo más alcalino (básico) estabilizándose en valores de pH entre 7,5 y 8, lo cual favorece la producción de metano. Este es el período de la fase metanogénica estricta, en el cual las bacterias no pueden vivir en presencia de oxígeno. Estos valores de pH obtenidos a lo largo de todo el ensayo, indican que la mezcla y proporción de los componentes con que se alimentó el reactor fueron los correctos, ya que a pesar de que la orina introducida es ácida (aprox. pH=5,8), esta fue contrarrestada por la alcalinidad de la materia fecal (aprox. 7,5). En el gráfico N° 1 se observan los datos de pH a lo largo del ensayo.

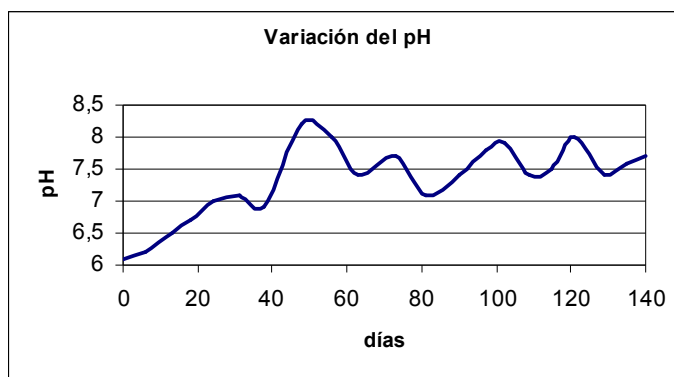


Figura N° 4: Datos de pH desde el día 0 hasta el día 140

### BALANCE ENERGÉTICO

Para poder evaluar los valores de energía convencional utilizada en este proceso para generar gas metano y la energía calórica que se obtiene, poder compararlos y estimar el rendimiento de todo este proceso, se tomaron los valores de las variables eléctricas que correspondían al consumo de energía de la resistencia eléctrica que calentaba la mezcla en el digestor (25 a 35 °C), y por otro lado, se calculo la energía contenida en el gas recolectado.

#### Energía eléctrica en juego

Del resultado (1) deducimos que, si la experiencia llevo un total de 140 días, en los cuales se consumió en la resistencia eléctrica  $8,2810464 \cdot 10^{10}$  Joules, el tiempo que registro el contador horario fue de 475,16 horas, o sea que, por día, funciono aproximadamente 7 horas, o sea 25200 segundos., por lo que la energía eléctrica suministrada en forma de calor fue de acuerdo a la Ley de Joule:

$$Q = \frac{E^2 \cdot T}{R} = \frac{220^2 \cdot 25200}{48,4} = 25 \text{ MJ por dia.}$$

#### Energía acalórica del biogás

De la serie de valores medidos para la obtención de la masa de gas total generada, tomamos el día que mas masa se obtuvo y el volumen generado (Figura N°2)

Dia	T °C	Pres. gás	Pres. Ambient	Presión total	Vol. generado (Litros)	Masa generada (Kgm)	Masa Total
83	20,6	0,0210	1,023711	1,044711	8,9	0,010154	0,085185

Sabemos que:

$$Q = m \times Pc = E$$

Donde:

m: es la masa generada de gas

Pc : es el poder calorífico del gas

$$E = 0,010154 \text{ Kg.} \times 7492,24 \text{ Kcal/m}^3 \\ = 0,009 \text{ m}^3 \times 7492,24 \text{ Kcal/ m}^3 = 67,43 \text{ Kcal} = 0,28 \text{ MJ por dia}$$

Lo que nos da una idea de de eficacia del sistema para la obtención de gas metano. Si hacemos la relación de porcentajes, veremos que resulta un sistema bastante ineficiente, por el alto consumo de energía eléctrica consumida (25 MJ) necesaria para calentar la mezcla, debido a que la experiencia se llevó a cabo en los meses de invierno, y era necesario mantener las temperaturas en el orden de 25 y 35 °C.

## CONCLUSIONES

Se infiere que las experiencias realizadas en la producción de gas metano en este digester arrojan valores aceptables de producción de masa de gas utilizable ya que se desprende que este digester necesitaría 320 kg. de aserrín para obtener 10 kg. de gas, que es el contenido de una garrafa de tamaño normal de gas de cocina o GLP (gas licuado de petróleo). Un aserradero mediano, que produce aproximadamente 200 a 300 kg. de aserrín por día, tendría así suficiente material como para obtener una garrafa por día. Por otro lado los valores de pH y producción de CO<sub>2</sub> también se ubican dentro de rangos aceptables. Otros factores ambientales como la temperatura, la concentración de sólidos, la concentración de ácidos volátiles, la formación de espuma, las substancias tóxicas y la concentración de nutrientes constituyen aspectos fundamentales que afectan al buen funcionamiento del digester y serán estudiados en trabajos próximos. Aunque no hubo un aislamiento suficiente del reactor, se comprobó degradación del aserrín. Si bien se priorizó mantener la temperatura a costa de bajo rendimiento, estas experiencias marcan un camino en la optimización de los procesos y materiales utilizados en la producción de gas con materia prima de la región.

## REFERENCIAS

- Carrillo, L: "Energía de Biomasa" Edición del autor, S.S. Jujuy 2004
- García Guerrero M, Losada M. Conversión biológica de la energía solar. Mundo científico 26: 616-630, 1983
- Martina, P., Corace J., Aeberhard, M. (2003) Construcción de un biodigester pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos. Avances en Energías Renov. y Medio Ambiente, Vol. 7, ISSN 039-5184.
- Martina, P., Yank, L., Corace J., Bucki, Wasserman, Aeberhard, M., Ventin, A. (2005) Estudio de la producción de biogás en función de la cantidad de residuos de madera un biodigester del tipo de carga única o Batch. Avances en Energías Renov. y Medio Ambiente, Vol. 9, ISSN 0329-5184.
- Taiganides, E.P. (1980) Biogás, recuperación de energía de los excrementos animales Zootecnia 35: 2-12
- Hilbert J. (2001) Manual para la producción de biogás. <http://www.inta.gov.ar/iir/info/matriz.htm> (8 marzo 06)

## ABSTRACT

Reports the results of a comprehensive test of anaerobic biodigestion for obtaining methane gas from sawdust shavings and organic debris, in order to perform energy analysis of the entire game experience. Thus, comparing the consumption in the production of energy to heat and organic mixture of sawdust, with the energy produced by biogas generated from the value of the mass of gas and its calorific value. The digester single or batch load was built in the Department of Thermodynamics, Faculty of Engineering UNNE. Measured variables are given mass of gas produced, pH, and CO<sub>2</sub> generation, among others. It verifies a low yield of the whole experience because of the high electricity consumption which sued to keep the temperature inside the digester during the winter month.