

ANÁLISIS CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS EN UN REACTOR TIPO BATCH CARGADO CON ASERRÍN DE ALGARROBO CHAQUEÑO

Martina P., García Solá E., Corace J., Bucki Wasserman B., Aeberhard R.,
Grupo de Investigación en Energías Renovables (GIDER) – Departamento de Termodinámica
Facultad de Ingeniería – UNNE
Av. Las Heras 750 – (3500) Resistencia – Chaco
Email: pablo@ing.unne.edu.ar

RESUMEN: se exponen los resultados de un ensayo completo de biodigestión anaeróbica para obtención de gas metano a partir de aserrín y viruta de algarrobo con el fin principal de obtener una relación entre la cantidad de biogas producido y la cantidad de residuos de madera utilizados. En un trabajo anterior se realizó un ensayo similar pero con aserrín de pino. Para ello se utilizó el biodigestor de carga única o batch construido en el Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE. Se indican los porcentajes y volúmenes de carga, la relación entre agua, aserrín y volumen libre, volúmenes de gases producidos, tiempos de reacción, mediciones de pH y porcentajes de dióxido de carbono obtenidos. Los valores obtenidos servirán para tomarlos como referencia para dimensionar biodigestores mayores de carga continua para uso comunitario o industrial.

PALABRAS CLAVE: biodigestor, biogas, metano, residuos de maderas, aserrín y virutas de algarrobo, pH, gasómetro, relación entre biogas y residuos.

INTRODUCCION TEORICA: el Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE se encuentra trabajando ya hace 7 años en la realización de ensayos de biodigestión para determinar la cantidad de gas metano que producen las especies madereras de la zona. La Región Chaqueña, tiene gran cantidad de aserraderos, carpinterías, obrajes, bosques, etc, donde se produce gran cantidad de virutas y aserrines. La idea de esta investigación es tratar de especificar cuanto biogás producen las especies más importantes. En un trabajo anterior, se determinó la cantidad de biogás que produce la digestión de la madera de pino, y en este trabajo se tratara de determinar el mismo valor para el algarrobo.

El Algarrobo Chaqueño negro (*Prosopis Nigra*) es la especie maderable por excelencia de la región chaqueña. Como consecuencia de su manufactura e industrialización quedan en los aserraderos, carpinterías y obrajes montañas de virutas y aserrines cuya acumulación entraña peligros e inconvenientes, como ser riesgo de incendio, contaminación del aire y proliferación de alimañas. Actualmente estos desechos se queman o entierran o se dejan de lado. Todos estos residuos se podrán colocar en un biorreactor y generar una cantidad de biogas que se puede usar para calefacción, cocción o fuerza motriz, y todo con una materia prima que de otra manera se tiraría. El rendimiento de la producción de biogas es muy bajo ya que de todo la materia orgánica, la madera es la que menos produce biogas (Hilbert, 2001), pero se compensa debido a que la existencia de los desechos es altísima y gratuita.

La digestión anaeróbica se lleva a cabo mejor y con mayor velocidad cuando la relación entre las cantidades de carbono y de nitrógeno de las materias primas suministradas a las bacterias guarda cierta proporción. La razón de carbono a nitrógeno (C/N) representa la proporción de estos 2 elementos. La razón C/N de 30 permitirá que la digestión se lleve a cabo a un ritmo óptimo (Stuckey, 1983). En el caso de cargarse el digestor con aserrín, la relación C/N es muy elevada (de 200 a 300), por lo que hay que aportar nitrógeno de alguna manera. En nuestro caso resolvimos este problema agregando abundante materia orgánica rica en nitrógeno (orina y heces).

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

$$p \cdot V = m \cdot R_p \cdot T \quad (1)$$

Los valores de p, V y T se midieron experimentalmente, mientras que el valor del R_p del gas ya había sido calculado anteriormente:

$$R_p \text{ biogas} = 848 / 27,2 = 31,172 \text{ Kgf m} / \text{Kgmasa} \cdot \text{K}$$

De esta manera se calculó la masa de biogas producida a medida que se la iba trasvasando al gasómetro, el cual estaba especialmente aforado para las mediciones de volumen y de presión.

EQUIPO UTILIZADO: el reactor utilizado fue el mismo ocupado en ensayos anteriores (Martina et al., 2003), de 88 litros, aislación térmica, carga única y serpentina de calefacción interna, con el agregado de un mecanismo contador de horas

para determinar la cantidad de energía entregada al agua de calefacción circulante por la serpentina interna. El sistema de calefacción por calentamiento de agua también estuvo equipado de un termostato de corte a 65°C (impedía que el agua llegue a hervir en el recipiente de calentamiento), de tal manera que luego de las pérdidas térmicas en el circuito de llegada hasta el biorreactor, en el interior de éste la temperatura se mantuviera entre 25°C y 35°C, rango adecuado para las bacterias mesofílicas.

La agitación del sustrato se efectuó por medio de sacudidas externas e inclinaciones sucesivas en ambos sentidos. También se montó un presostato que interrumpía el suministro eléctrico ante la falta de agua. En la foto N° 1 se observa una vista del reloj contador de horas, del termostato (al costado del tanque plástico) y del presostato (arriba del tanque plástico), equipos que sirvieron para automatizar el funcionamiento del sistema de calefacción del biorreactor.



Foto N° 1 – Instalación de calentamiento de agua para calefacción.

DESCRIPCION DEL ENSAYO: se describirán los resultados del undécimo ensayo de biodigestión realizado en el Departamento de Termodinámica, que duró desde el 14 de junio de 2006 (cerrado de la boca de carga) hasta el 1 de noviembre de 2006 (apertura de la boca de carga y vaciado), o sea 140 días en total. En este 11° ensayo se cargó el biodigestor con 5,4 kg de aserrín de algarrobo fino y tamizado, de color pardo y sin deslignificar. Como materia inoculante de bacterias digestivas y para lograr una mejora en la relación C/N (ya que la madera tiene mucho carbono y poco nitrógeno, o sea una relación C/N muy alta) se colocaron 4 litros de orina y 1,150 kg de heces. Todo esto se mezcló con 60 litros de agua, de tal manera que aproximadamente el 70% del biodigestor estaba ocupado con líquidos, y el restante 30% era aire. Al cerrarse el digestor se sacudió el recipiente para producir una buena mezcla de los componentes, y esta operación se repitió en forma regular a lo largo de toda la duración del ensayo para evitar la estratificación de lodos y la formación de una costra espumosa que impida al biogas ascender hacia la parte superior del recipiente. El sistema comenzó a levantar presión (producir gas) recién a los 19 días después de cerrado.

Los parámetros medidos periódicamente durante el ensayo fueron los siguientes: temperatura ambiente, temperatura en el digestor, presión del gas dentro del digestor y en el gasómetro, volumen de gas generado, tiempo de calefacción de la serpentina interna (horas), presión ambiental, composición del gas mediante un aparato de Orsat (porcentaje de CO₂), pH de la mezcla, partes por millón de sulfuro de hidrogeno (H₂S) y también se controló la producción o no de llama (combustión del gas en un mechero de Bunsen).

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 horas = 1.710.960 segundos
La resistencia utilizada fue del tipo sumergida de valor R = 48,4 ohm y el voltaje utilizado fue E = 220 voltios, por lo que la energía eléctrica suministrada en forma de calor fue de acuerdo a la Ley de Joule:

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

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.

En la foto N° 2 se observa el equipo para medición del contenido de H₂S en partes por millón, formado por una ampolla de vidrio en cuyo interior se encuentra el reactivo. Esta ampolla de vidrio es cilíndrica, de 11 cm de largo y 9 mm de diámetro y a lo largo de su longitud se observan divisiones que van desde 0 ppm hasta 15 ppm. Se observa en la parte superior de la ampolla la conexión de ingreso de la manguera plástica con el gas proveniente del biorreactor, mientras que la parte inferior

de la ampolla se conecta a un dispositivo de aspiración y bombeo especial llamado bomba Dräger accionada manualmente que aspira el gas por medio de su fuelle.



Foto N° 2: medición de H₂S mediante bomba Dräger y ampolla reactiva

La temperatura dentro del biodigestor se mantuvo en todo momento entre los 25°C y 35°C, para lograr que se desarrollen las bacterias mesofílicas. Las bacterias termofílicas producen una mayor cantidad de biogas pero requieren mayor temperatura (>40°C) fuera del rango de trabajo de nuestro biodigestor y además su sensibilidad a los cambios de temperatura es muy alta (+/- 0,5 °C/hora), lo cual las hace débiles y propensas a morir si no se tiene un biodigestor muy bien regulado (Taiganides, 1999). Esta temperatura se midió mediante un sensor infrarrojo marca TIF-7201 de 0,1°C de resolución, rango de trabajo entre -27°C y 428°C y rango de emisividad = 0.95 fijado

RESULTADOS Y CONCLUSIONES: La producción de biogas, que comenzó a los 19 días de iniciarse el ensayo fue registrándose detalladamente en una tabla en función de todos sus parámetros. En esta tabla n° 1, que se observa a continuación, se indican las primeras mediciones y la última del día 140. Las 2 últimas columnas muestran la masa generada día a día y la masa total, ésta última como resultado de la sumatoria de las masas parciales.

| Día | Temp. °C | p. de gas kgf/cm ² | p. ambiente kgf/cm ² | p. total kgf/cm ² | vol. Generado Litros | masa generada Kgm | masa total Kgm |
|------|----------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| 0 | | | | | | | |
| 19 | 21,6 | 0,0119 | 1,020742 | 1,032642 | 2,7 | 0,003034 | 0,003034 |
| 32 | 20,6 | 0,0141 | 1,018075 | 1,032175 | 3,8 | 0,004285 | 0,007319 |
| 44 | 19,5 | 0,0178 | 1,019581 | 1,037381 | 5,4 | 0,006143 | 0,013462 |
| 50 | 17,4 | 0,0163 | 1,008752 | 1,025052 | 4,9 | 0,005548 | 0,019010 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 132 | 26,2 | 0,01898 | 1,019920 | 1,038900 | 1,9 | 0,002116 | 0,096462 |
| 140 | 28,3 | 0,0204 | 1,030188 | 1,050588 | 1,8 | 0,002013 | 0,098475 |

Tabla n°1: Mediciones de presión, temperatura, volumen y masa obtenida

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

$$m = 0,098475 \text{ kg. masa}$$

La relación entre gas obtenido por digestión anaeróbica y cantidad de aserrín de madera colocado en el digestor (Rgm) resultó la siguiente:

$$Rgm = \frac{98,475 \text{ g. gas}}{5,4 \text{ kg. aserrín}} = 18,2361 \text{ gr. de gas/kg. de aserrín}$$

Este valor de producción de biogas para el algarrobo es menor que el del pino, que es de 31,33 gr de gas /kg de aserrín (Martina et al., 2005). Esto se debería probablemente a la mayor cantidad de aceites en la madera del pino y a la mayor cantidad de lignina de la madera de algarrobo, que es una madera más dura que la del pino. Los valores de producción de gas del algarrobo y del pino son bajos, pero debe tenerse en cuenta la abundancia y gratuidad de la materia prima utilizada. Por otra parte estos valores son importantes para tener una referencia a la hora de diseñar reactores que trabajen con estas maderas.

La composición del biogas generado se midió por medio de un aparato de Orsat, de la forma indicada en trabajos anteriores (Martina et al., 2002). A lo largo de todo el ensayo el porcentaje de CO₂ resultó ser entre el 25 y el 35%, es decir que el contenido de metano fue del 65% al 75 %. Las 2 primeras extracciones de gas no produjeron llama, debido al alto contenido de nitrógeno (aire) inicial. Ya en la tercera extracción de gas, aproximadamente a los 44 días de iniciado el ensayo, la llama producida era notoria con un poder calorífico similar al calculado en trabajos anteriores (Martina et al., 2006). En la foto N°3 se observa el aparato de Orsat utilizado y debajo, en un recipiente plástico, la sal blanca (hidróxido de potasio KOH) que actúa por el principio de quimisorción como reactivo del CO₂.



Foto N° 3: aparato de Orsat y reactivo utilizado

La medición de H₂S indicó la siguiente cantidad de gas:

$$\text{H}_2\text{S} = 8 \text{ ppm}$$

Este valor se obtuvo en base a la cantidad de aspiraciones hechas con la bomba Dräger y la cantidad indicada en la ampolla de vidrio según la siguiente fórmula:

$$\text{N}^\circ \text{ de ppm} = \frac{A \cdot 10}{B}$$

Donde A es la indicación de la ampolla de vidrio y B es la cantidad de aspiraciones o bombazos. El valor de 8 ppm es extremadamente bajo, pero dentro de los rangos indicados en la bibliografía (Bastin y Dochain, 1999). Este valor tan bajo se debe a que la carga del reactor se realizó solo con madera, cuyo contenido de azufre es prácticamente despreciable. Si la carga hubiera tenido restos de frutas, verduras, alimentos, el contenido de H₂S hubiera sido mayor, lo cual también se hubiera notado en el fuerte olor desagradable del biogas, lo cual no se notó en nuestro caso. Es un valor muy pequeño, pero debe tenerse en cuenta que con el tiempo el H₂S va atacando los metales, por lo que deben tomarse los recaudos necesarios.

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, en la cual las bacterias facultativas todavía pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno (Arvizu, 2005). Pero ya luego del mes, 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.

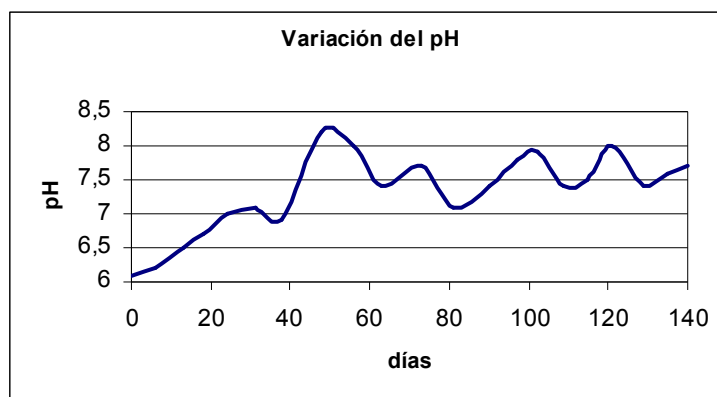


Gráfico N° 1: datos de pH desde el día 0 hasta el día 140

BIBLIOGRAFIA:

- Hilbert J. (2001) Manual para la producción de biogás. <http://www.inta.gov.ar/iir/info/matriz.htm> (5-may-04)
- Stuckey, D. (1983) Technology Assesment Study of Biogas in Developing Countries, International Reference. Centre for Waste Disposal, (IRCWD) Switzerland, p.p. 16-22
- Martina P., Corace J., Aeberhard A., Aeberhard R. (2003) Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos. Avances en Energías Renov. y Medio Ambiente, vol 7, ISSN 0329-5184.
- Taiganides P., (1999) Pig waste management and recycling-The Singapore Experience. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. ISSN 0-88936-591-1 pp 95-98
- Martina P., Bucki Wasserman B., Corace J., Aeberhard R. (2005) Estudio de la producción de biogas en función de la cantidad de residuos de madera en un biodigestor del tipo de carga única o batch. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 9, ISSN 0329-5184
- Martina P., Yank L., Corace J. (2002) Determinación de CO₂ en diferentes muestras de gas mediante el uso del Aparato de Orsat, Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNNE.
- Martina P., Bucki Wasserman B., Corace J., Aeberhard R. (2006) Propuesta de un método experimental alternativo para la determinación del poder calorífico del biogas Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 10, ISSN 0329-5184
- Bastin G., y Dochain D. (1999) On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors. Elsevier Science Publishers. Process Measurements and Controls,1. ISBN 0-444-88430-0 pp. 102-103
- Arvizu J., (2005) Tratamiento anaeróbico de estiércol porcino, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Temixco, Morelos, <http://www.agrored.com/agroicultura/jlarizu@iie.org.mx> (17-ago-07)

ABSTRACT: results of complete test of anaerobic biodigestion to obtain methane gas from sawdust and carpenter dust of carob tree (algarrobo) are exposed aimed to get ratio quantity of produced biogas – quantity of used wood wastes. In a previous work a similar essay but with pine sawdust was done. For this purpose the constructed biodigestor at Department of Thermodynamics of Engineering School in UNNE was used. Percentages and charge volumes, ratio of water, sawdust and free volume, produced gases volumes, time of reaction, pH measures and percentages of carbon dioxide obtained are indicated. Obtained values will serve to get as reference in order to dimension bigger constant charge digesters for community or industrial use.

KEY WORDS: biodigestor, biogas, methane, wood wastes, sawdust and shavings of carob tree (algarrobo), pH, gas-meter, biogas and waste use.