

## **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**

Martina P., Yank L., Corace J., Bucki Wasserman B., Aeberhard R., Ventín A.  
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 pino con el fin principal de obtener una relación entre la cantidad de biogas producido y la cantidad de residuos de madera utilizados. 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 en el marco de un Proyecto sobre producción de biogas a partir de los desechos de madera de la zona, principalmente algarrobo, quebracho y pino. 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.

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

**INTRODUCCION TEORICA:** la biodigestión de residuos de madera tiene algunos puntos sobre los cuales no hay prácticamente bibliografía, o la que hay es muy general y poco explícita. Los puntos poco claros son concretamente la necesidad o no de deslignificar los residuos de madera previamente a su digestión y el otro punto es que cantidad de biogas se produce con una cierta carga de residuos.

La deslignificación de los residuos de madera, como paso previo a su colocación dentro del biodigestor, tiene por objeto eliminar la lignina, que es uno de los componentes principales de la madera, junto a la celulosa, la hemicelulosa, y los hidratos de carbono coligados. La lignina es la que forma la estructura rígida de las plantas y los árboles, la que le da sustento mecánico. Sirve como cemento en el armazón celulósico y está unida en ciertos sitios con las cadenas de celulosa. La lignina, que es un heteropolímero amorfo formado por cadenas de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno (Kollmann, 1993), no es digerible, y permanece en la lechada al final de la digestión de la misma manera que entró. Por ello, es conveniente tratar de eliminarla mediante un diversos pretratamientos, como el cortado, macerado, compostado y ataque con sustancias químicas como soda cáustica, ácidos, etc (Libby, 1974). En los ensayos realizados hasta la fecha en el Departamento de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, se observó que no sería necesaria la deslignificación, ya que igualmente se produce una apreciable cantidad de gas al digerirse anaeróticamente la madera sin ningún tratamiento. De todas maneras este punto no es el objeto de ésta publicación y será tratado en trabajos ulteriores.

En cuanto a la relación entre la cantidad de residuos colocados dentro del biodigestor y la masa de biogás producido, este dato es particularmente difícil de hallar en la bibliografía, y lo poco encontrado es muy genérico y varía entre márgenes muy amplios. Esto es debido a que el biogas producido depende de varios factores entre los que se pueden mencionar algunos ajenos a la medición como ser la temperatura media, el pH, la relación C/N, el tiempo total de duración del ensayo (Stuckey, 1983), etc., y otros propios de la medición o intrínsecos, que tienen relación con la medición de la masa de gas producida, entre los que se encuentran principalmente la medición del volumen de los gases y la determinación de la constante particular del biogás ( $R_p$ ) utilizada en la ecuación de estado de los gases perfectos:

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

Donde M es la masa de gas producida y T es la temperatura absoluta del gas. Este valor de  $R_p$  se lo determinó de la siguiente manera: siendo el biogas una mezcla de gases, principalmente metano y anhídrido carbónico, que forman el 98-99% del total (Hilbert, 2001), su masa molecular se calculó en función de las concentraciones estimadas de cada uno de los gases (60% de metano y 40% de anhídrido carbónico) y de las masas moleculares de ambos (16 Kg/Kmol y 44 Kg/Kmol respectivamente). La masa molecular del biogas será entonces:

$$\text{Masa molecular biogas} = 0,6 \cdot 16 + 0,4 \cdot 44 = 27,2 \text{ Kg/Kmol}$$

Con este valor de la masa molecular del biogas, su constante particular se calculará en función de la Constante Universal de los gases R, cuya valor es 848 kgf. m / Kmol.°K

$$R_p \text{ biogas} = 848 / 27,2 = 31,172 \text{ kgf m / Kg } ^\circ\text{K}$$

Para la medición del volumen de los gases producidos se armó un gasómetro con un recipiente de vidrio invertido, sellado mediante un sello hidráulico de agua (Martina et al., 2004). En este gasómetro se acumulaba el gas luego de generarse en el biodigestor. Este gas acumulado se medía en volumen y composición, y luego se quemaba o venteaba.

**EQUIPO UTILIZADO:** El biodigestor se construyó con un tanque plástico de forma cilíndrica levemente abombada, de 35 cm de diámetro inferior y superior, mientras que en su parte media el diámetro es de 45 cm (Martina et al., 2003). La altura es de 70 cm, lo que da una capacidad aproximada de 88 litros. Tiene en su parte superior una boca de carga con tapa a rosca de 7,5 cm de diámetro y una salida de 1 cm donde se coloca el manómetro (cuya escala va desde 0 hasta 1 kg/cm<sup>2</sup>) y otra salida también de 1 cm de diámetro donde se encuentra una válvula para salida de gases. El espesor de la pared plástica del tanque es de aproximadamente 6 mm. En su lateral tiene colocada una válvula de descarga de líquidos a 18 cm del suelo. Esta válvula se utiliza cuando se quiere desagotar el digestor y también cuando se quiere tomar una muestra de líquido para medir pH, color o densidad. En la foto N° 1 se observa una vista del biodigestor levemente hinchado debido al gas contenido en su interior. Se nota claramente el nivel del líquido en su interior, así como también la parte superior libre de líquidos y llena de los gases producidos por la digestión o fermentación anaeróbica.



Foto N° 1 - Digestor.

**DESCRIPCION DEL ENSAYO:** se describirán los resultados del noveno ensayo de biodigestión realizado en el Departamento de Termodinámica, que duró desde el 16 de abril de 2004 (cerrado de la boca de carga) hasta el 5 de noviembre de 2004 (apertura de la boca de carga y vaciado), o sea 203 días en total, aunque a los 199 días realizó su última producción de gas. En este 9° ensayo se cargó el biodigestor con 5,4 kg de aserrín de pino fino y tamizado, de color blanco 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) se colocaron 6 litros de orina y 1,126 kg de heces. Todo esto se cubrió 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 24 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, composición del gas mediante un aparato de Orsat (porcentaje de CO<sub>2</sub>) y también se controló la producción o no de llama (combustión del gas en un mechero de Bunsen)

Debido a que buena parte de este ensayo se realizó en el invierno, las temperaturas dentro del Laboratorio eran relativamente bajas, con valores entre 18°C y 22 °C. Estos valores tan bajos retardan o anulan la producción de biogas, ya que las bacterias mezofílicas y termofílicas son muy sensibles a las bajas temperaturas. Para solucionar este inconveniente se realizaron 2 acciones: recubrimiento del equipo con una cubierta externa de lana de vidrio para aislarlo del ambiente en invierno y colocación de una serpentina de agua caliente interna para acelerar el proceso de producción de gas. La serpentina de agua caliente se observa en la foto n° 2.



Foto N°2: serpentina interna de calefacción

Durante todo el noveno ensayo se midió el pH de la carga líquida, para tener una medida somera del funcionamiento químico del proceso. El pH tiene efectos profundos sobre la actividad biológica, el mantenimiento de un pH estable es esencial para el desarrollo de la vida. La mayor parte de los procesos vivos tiene lugar entre pH 5 y 9, pero en cuanto a los digestores, las exigencias relativas al pH son más estrictas: pH de 6,8 a 8,2, ya que al apartarse de estos valores, la producción de metano se detiene.

**RESULTADOS Y CONCLUSIONES:** la producción de biogas, que comenzó a los 24 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 observan en las 2 últimas columnas la masa generada día a día y la masa total, resultado de la sumatoria de las masas parciales.

Día	Temp. ° C	p. de gas kg/cm2	p. ambiente kg/cm2	p. total kg/cm2	vol. Generado cm3	masa generada Kg	masa total Kg
0							
24	22,8	0,0115	1,020992	1,032492	3600	0,004029	0,004029
33	20,2	0,0148	1,018273	1,033073	4900	0,005536	0,009565
42	18,2	0,0185	1,019633	1,038133	6900	0,007887	0,017452
52	17,9	0,0165	1,008757	1,025257	6000	0,006780	0,024232
55	19,7	0,0175	1,023711	1,041211	6400	0,007300	0,031532
61	19,5	0,0196	1,016914	1,036514	7100	0,008067	0,039599
63	22,8	0,0204	1,020992	1,041392	7700	0,008692	0,048291
68	22,5	0,0196	1,020992	1,040592	8200	0,009259	0,057550
74	22,6	0,0198	1,015554	1,035354	7600	0,008535	0,066085
80	18,9	0,0204	1,023711	1,044111	7800	0,008946	0,075031
83	20,6	0,0210	1,023711	1,044711	8900	0,010154	0,085185
89	22,4	0,0204	1,012835	1,033235	7700	0,008636	0,093821
91	20,8	0,0135	1,027790	1,041290	4400	0,005000	0,098821
108	20,8	0,0225	1,020992	1,043492	8900	0,010135	0,108956
116	20,4	0,0205	1,022352	1,042852	7900	0,009003	0,117960
122	19,7	0,0145	1,030509	1,045009	5000	0,005724	0,123684
136	24,4	0,0156	1,022352	1,037952	5500	0,006155	0,129838
143	29,6	0,0255	1,031868	1,057368	5500	0,006162	0,136001
145	26,8	0,0156	1,018273	1,033873	5600	0,006192	0,142193
158	22,6	0,0243	1,018273	1,042573	6300	0,007125	0,149317
172	27,2	0,0125	1,023711	1,036211	4300	0,004759	0,154076
185	27,0	0,0205	1,025071	1,045571	5500	0,006146	0,160223
199	27,8	0,0253	1,027790	1,053090	8000	0,008980	0,169203
203							

Tabla n°1: Mediciones de presión, temperatura y 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:

$$m = 0,169203 \text{ Kg}$$

La relación entre gas obtenido por digestión anaeróbica y cantidad de aserrín de madera colocado en el digestor, es decir el rendimiento (rend.) de este proceso resultó ser el siguiente:

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

Con este valor, un digestor 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.

En cuanto al pH, en el gráfico n°1 se observan las mediciones realizadas durante el 9° ensayo de digestión.

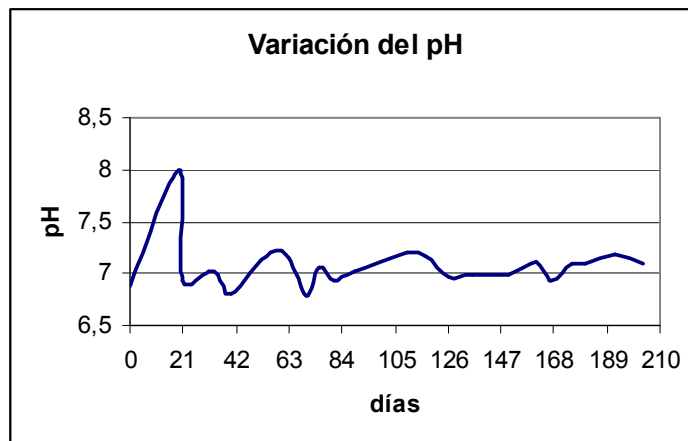


Gráfico n°1: Datos de pH desde el día 0 al día 203

Se observa en el gráfico n° 1 que durante la mayor parte del ensayo el pH se mantuvo en un valor neutro (pH=7) o ligeramente alcalino (pH >7), lo cual favorece la producción de metano. Si bien se obtuvieron algunos valores ácidos, (pH<7), éstos no afectaron la producción de metano por ser pocos valores y muy cercanos al valor neutro.

Las mediciones de composición del gas se hicieron por medio de un aparato de Orsat, que mide el porcentaje de CO<sub>2</sub> en el biogas. Como el biogas está compuesto principalmente por metano y CO<sub>2</sub> (98-99% entre ambos en volumen), el porcentaje de metano se obtiene por diferencia. El reactivo que ocupa en aparato de Orsat es el hidróxido de potasio (KOH), que absorbe por quimisorción al CO<sub>2</sub>, dejando en la solución los demás componentes de la mezcla gaseosa (Martina et al., 2002). Este método es el único posible para determinar la cantidad de metano en el biogas ya que no existen reactivos específicos para el metano. En el gráfico n°2, se observan los valores medidos de CO<sub>2</sub> durante el 9° ensayo de digestión.

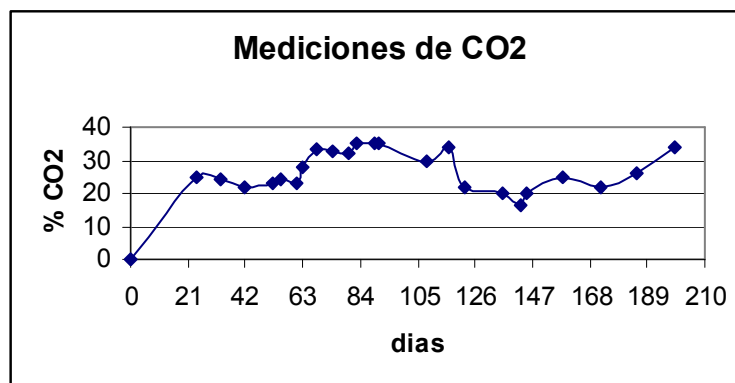


Gráfico n°2: Datos de porcentaje de CO<sub>2</sub> desde el día 0 hasta el día 203

Como se observa en el gráfico, los valores de porcentajes de CO<sub>2</sub>, rondaron cerca del 30%. Esto quiere decir que el porcentaje de metano en el biogas habría sido del 70%, lo cual se considera una cantidad satisfactoria. Cuanto menor sea el porcentaje de CO<sub>2</sub> en la mezcla, mejor combustión y mayor poder calorífico se logrará, ya que el CO<sub>2</sub> no aporta poder calorífico, sino que actúa de moderador bajando la temperatura y el rendimiento de la combustión. El biogas producido en este ensayo al principio no fue combustible (no generó llama) posiblemente porque al inicio del proceso químico el porcentaje de metano es bajo y los porcentajes de gases inertes como el oxígeno y de nitrógeno (residuales del aire inicial) son todavía altos. Pero a los 28 días ya comenzó a producir una buena llama de color azul intenso, lográndose en el mechero de Bunsen una buena combustión inodora hasta el final del ensayo (día 203). El poder calorífico de esta combustión se tratará de determinar en trabajos posteriores.

#### BIBLIOGRAFIA:

- Kollmann F. (1993) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Springer Verlag, Berlin, pp 553-561
- Libby E. (1974) Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel, tomo I, Pulpa, capítulo 5, página 116. Compañía Editorial
- Stuckey, D. (1983) Technology Assesment Study of Biogas in Developing Countries, International Reference Centre for Waste Disposal, (IRCWD) Switzerland, p.p. 16-22
- Hilbert J. (2001) Manual para la producción de biogás. <http://www.inta.gov.ar/iir/info/matriz.htm> (5-may-04)
- Martina P., Yank L., Corace J., Aeberhard A., Aeberhard R. (2004) Ensayos en un biodigestor con aserrín de diferentes maderas, 2° Jornada de Comunicación Científica para Ingeniería 2004, UNNE, pp 150-154
- 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 Renovables y Medio Ambiente, vol 7, ISSN 0329-5184.

Martina P., Yank L., Corace J. (2002) Determinación de CO<sub>2</sub> 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.

**ABSTRACT:** results of complete test of anaerobic biodigestion to obtain methane gas from sawdust and carpenter dust of pine tree are exposed aimed to get ratio quantity of produced biogas – quantity of used wood wastes. For this purpose the constructed biodigester at Department of Thermodynamics of Engineering School in UNNE was used, in the overall Project of a study of biogas production from wood waste of the region, mainly carob tree (algarrobo), break ax tree (quebracho) and pine tree (pino). 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 use.

**KEY WORDS:** biodigester, biogas, methane, wood wastes, sawdust and shavings of pine, pH, gas-meter, biogas and waste use.