

## PROPUESTA DE UN MÉTODO EXPERIMENTAL ALTERNATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DEL BIOGAS

Martina P., García Sola E., Corace J., 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 propone un método experimental alternativo para la medición del poder calorífico inferior del biogas. Este método podría usarse ante la imposibilidad práctica y económica de conseguir el calorímetro de Junkers, que es el instrumento utilizado para medir poder calorífico a presión constante de gases y líquidos. El método consiste en quemar en idénticas condiciones de temperatura y presión un volumen de biogas (cuyo poder calorífico se quiere determinar) y el mismo volumen de un gas cuyo poder calorífico se conoce. Ambos volúmenes se queman calentando un litro de agua por vez, y en base a la variación de temperatura lograda en cada uno de los 2 ensayos, las masas de ambos gases y el poder calorífico del gas conocido, se puede calcular el poder calorífico del gas incógnita.

**PALABRAS CLAVE:** biogas, poder calorífico superior e inferior, metano, butano, calorímetro de Junkers, porcentaje de CO<sub>2</sub>.

**ANTECEDENTES:** Desde el comienzo de los trabajos del GIDER en producción de biogas a partir de residuos orgánicos (marzo de 2001), permanentemente ha surgido la incógnita de saber cuanto quema el biogas, si quema más o menos que el gas de las garrafas, cuantas calorías entrega, etc. Esta duda se presentó no solamente entre los investigadores que trabajan directamente en el proyecto sino entre la gente ajena al mismo, que observaba sorprendida la llama producida a partir de los residuos. Para determinar el poder calorífico de un gas a presión constante se debe utilizar un equipo conocido como calorímetro de Junkers (Didacta, 2006), que básicamente consiste en un intercambiador de calor (haz de tubos metálicos) en el cual se quema en forma controlada el gas incógnita, mientras que un flujo de agua en contracorriente refrigera el circuito, al mismo tiempo que se miden caudales y temperaturas en diversos puntos del aparato. Este equipo mide el poder calorífico inferior ya que el agua que queda entre los productos de la combustión se encuentra como vapor (Mesny, 2002). Ahora bien, el problema con este calorímetro es que es muy difícil de conseguir (en nuestra región Nordeste ninguna Facultad ni empresa posee alguno), es difícil de fabricar (no hay planos ni esquemas fidedignos para tratar de hacerlo), y finalmente es muy caro y no se fabrica en nuestro país (un equipo italiano consultado en Internet cuesta 1.200 euros). La otra forma de medir el poder calorífico de un gas sería calcularlo en forma indirecta por medio de un cromatógrafo de gases, que mide en forma exacta la composición del gas (porcentaje de metano, propano, butano, anhídrido carbónico, hidróxido de azufre etc) y luego calcula el poder calorífico por medio de fórmulas. Estos cromatógrafos, utilizados por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS) para medir el poder calorífico del gas de red (ENARGAS, 2006), no solo no realizan ensayos para afuera sino que no están disponibles en nuestra zona (las provincias de Chaco, Corrientes, Formosa y Misiones son las únicas en el país que no cuentan con gas de red). Por estos motivos se buscó un método alternativo para efectuar esta medición. La ventaja del método consiste en que es económico, fácil de implementar y no requiere equipamiento costoso. Como desventaja se menciona que aún debe ser mejorado para aumentar su precisión.

**DESCRIPCION:** El método calorimétrico propuesto consiste en quemar en idénticas condiciones de temperatura y presión un volumen de biogas (cuyo poder calorífico se quiere determinar) y el mismo volumen de un gas cuyo poder calorífico se conoce de antemano. Ambos volúmenes se queman calentando un litro de agua por vez, y en base a la variación de temperatura lograda en cada uno de los 2 ensayos, las masas de ambos gases y el poder calorífico del gas conocido, se puede calcular el poder calorífico del gas incógnita. La cantidad de gas quemada en ambos casos es de 5 litros, y ésta cantidad se encuentra confinada en un gasómetro (ya descrito en ensayos anteriores), donde una columna de agua actúa tanto de sello hidráulico como de columna de presión (Martina et al., 2003). El ensayo se empieza con un volumen inicial de gas de 6 litros y una presión de columna de agua de 17,4 cm, y se finaliza con un volumen de 1 litro y una presión de columna de agua de 6,5 cm. Por encima de esta columna de presión manométrica actúa la presión atmosférica sobre la superficie libre del agua que se mantiene siempre en el mismo nivel, lo cual explica que vayan variando las columnas de agua al ir quemándose el gas. Este método de presión variable en el quemado del gas se eligió por cuestiones de facilidad operativa y por que los resultados finales no variarían con respecto a una combustión a presión constante. Las 2 muestras de gas se queman de a una por vez en el mismo mechero de Bunsen, y los 2 ensayos se hacen uno a continuación del otro, en idénticas condiciones de temperatura ambiente y presión atmosférica. Exactamente a una distancia de 2 cm por encima del mechero de Bunsen se coloca un matraz aforado conteniendo 1 litro de agua con un termómetro en su interior, que medirá la variación de temperatura desde el comienzo del ensayo hasta el final del mismo en las 2 experiencias (biogas y gas de poder calorífico conocido). La repetición de las condiciones de ambos ensayos (ambientales, de posición de los instrumentos y de ubicación relativa de los mismos, etc.), garantiza y posibilita que el rendimiento de la combustión (es decir el calor recibido por el agua dentro del matraz

dividido el calor entregado por la llama) sea igual en ambos casos. Esta igualdad en los rendimientos de la combustión se utilizará para relacionar ambos ensayos y calcular así el poder calorífico incógnita, tal como se verá más adelante. A continuación, en la figura N° 1 se observa un esquema de la disposición de los equipos y elementos mencionados anteriormente:

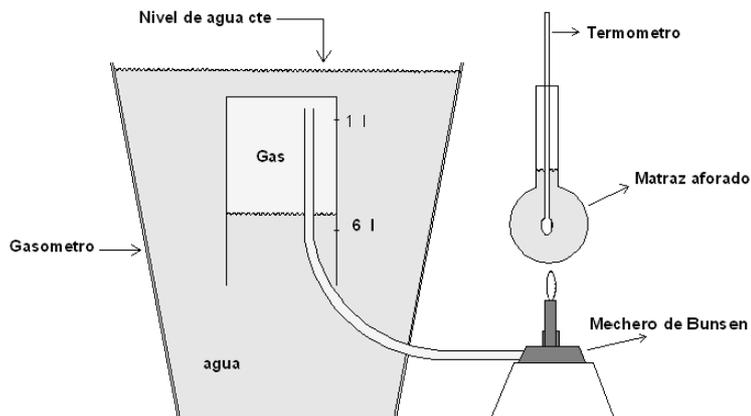


Figura N°1.: Esquema del equipo utilizado

Para la realización de los ensayos se usó como gas de referencia una garrafa de 15 kg cargada con isobutano de alta pureza, comercializado como ecobutano, cuyo poder calorífico inferior (certificado por la envasadora de gas y coincidente con la bibliografía encontrada) era de:

$$\text{Poder calorífico inferior: } 25.990 \text{ kcal} / \text{m}^3$$

Se realizaron 8 ensayos dobles a lo largo de 2 días, buscándose que se cumplan 2 condiciones para lograr que los ensayos sean comparables: 1) que la presión atmosférica y la temperatura ambiente tengan una variación dentro de un margen mínimo y 2) que el biogas utilizado tenga aproximadamente la misma composición (porcentajes de metano y de CO<sub>2</sub>). Se utilizó el biogas que se fue produciendo en el biodigestor del tipo batch cargado con aserrín de madera de pino (Martina et al., 2004). El procedimiento consistió cargar el gasómetro con biogas y luego quemarlo y medir la diferencia de temperaturas en el agua dentro del matraz aforado de 1 litro. Inmediatamente se cargaba el gasómetro con gas de garrafa y se realizaba el mismo procedimiento. A continuación, en la tabla N° 1 se indican los valores promedio obtenidos en estos 8 ensayos y que son comunes al biogas y al isobutano.

temp. amb.	pres. atmosf.	pres. manom.	vol. inicial	vol. final	temp. inicial agua
°C	mm de Hg	cm de agua	lt.	lt.	°C
24,8	750	12	6	1	23,7

Tabla N° 1: valores promedio comunes

El valor de 12 cm de columna de agua como presión manométrica es el promedio entre la presión del gas en el inicio de la combustión y la presión al final.

Primero se calculará la masa de isobutano contenida en los 5 litros:

$$\text{Para } V = 5 \text{ lt} = 5 \text{ dm}^3$$

$$T = 297,8 \text{ } ^\circ\text{K}.$$

$$P = \text{presión atm.} + \text{pres. manométrica} = 1,031625 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$R_{\text{particular del isobutano}} = 14,15 \text{ kgm} / \text{kg} \cdot \text{ } ^\circ\text{K}$$

Para estos valores, de acuerdo a la ecuación de estado de los gases, da una masa  $M_i = 0,01224 \text{ kg}$  de isobutano.

La masa de biogas  $M_b$  contenida en los 5 litros se calculará también por la ecuación de estado:

$$\text{Para } V = 5 \text{ lt} = 5 \text{ dm}^3$$

$$T = 297,8 \text{ } ^\circ\text{K}.$$

$$P = \text{presión atm.} + \text{pres. manométrica} = 1,031625 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$R_{\text{particular del biogas}} = 31,172 \text{ kgm} / \text{kg} \cdot \text{ } ^\circ\text{K} \text{ (Martina et al., 2005)}$$

Para estos valores, da una masa  $M_b = 0,0055565 \text{ kg}$  de biogas

En la tabla N° 2, se indican los valores promedio de temperatura final del agua, de variación de temperatura  $\Delta T$  (con relación a la temperatura inicial del agua de 23,7 °C) y de duración del ensayo para los 2 gases (biogas e isobutano).

b i o g a s			i s o b u t a n o		
temp. final agua	$\Delta T$	duración	temp. final agua	$\Delta T$	duración
°C	°C	seg	°C	°C	seg
40,2	16,5	414	74,7	51	484

Tabla N° 2: valores finales para biogas e isobutano

## CALCULOS

\*Isobutano: se calculará a continuación el calor entregado por el isobutano al quemarse  $Q_i$ , que será igual al producto de su poder calorífico  $P_{ci}$  multiplicado por su masa  $M_i$ . Se tomará una densidad del isobutano  $D_i$  de 2,67 kg/m<sup>3</sup>

$$Q_i = P_{ci} \cdot M_i / D_i = 25.990 \text{ kcal/m}^3 \cdot 0,01224 \text{ kg} / 2,67 \text{ kg/m}^3 = 119,145 \text{ kcal}$$

Por otro lado, al quemarse el isobutano, el agua contenida en el matraz de 1 litro recibe una parte de ese calor. El calor recibido por el agua  $Q_{ai}$  se calculará de acuerdo a la ecuación fundamental de la calorimetría:

$$Q_{ai} = m \cdot c_e \cdot \Delta T = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal / kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 51 ^\circ\text{C} = 51 \text{ kcal}$$

De todo el calor entregado por el isobutano al quemarse, solo una parte es aprovechada por el agua, el resto se pierde o desaprovecha. Se puede calcular entonces el rendimiento de ésta combustión:

$$\text{Rend.} = Q_{ai} / Q_i = 51 \text{ kcal} / 119,145 \text{ kcal} = 0,42805$$

Este rendimiento al quemar el isobutano, se supone que es el mismo al quemar el biogas, ya que todas las condiciones en ambas combustiones son iguales (presión y temperatura del gas, presión y temperatura ambiente, ubicación relativa entre el mechero y el matraz, etc). A partir de esta suposición se comienza el cálculo de los parámetros del biogas yendo hacia atrás.

\*Biogas: Al quemarse el biogas, el agua contenida en el matraz de 1 litro recibe una parte de ese calor. El calor recibido por el agua  $Q_{ab}$  se calculará de acuerdo a la ecuación fundamental de la calorimetría:

$$Q_{ab} = m \cdot c_e \cdot \Delta T = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal / kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 16,5 ^\circ\text{C} = 16,5 \text{ kcal}$$

El calor entregado por el biogas al quemarse  $Q_b$ , se calculará en función del rendimiento de la combustión y de  $Q_{ab}$ :

$$Q_b = Q_{ab} / \text{Rend.} = 16,5 \text{ kcal} / 0,42805 = 38,5469 \text{ kcal}$$

El calor entregado por el biogas 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 biogas  $D_b$  de 1,08 kg/m<sup>3</sup>. De esta igualdad se despejará nuestra incógnita, que es el poder calorífico del biogas  $P_{cb}$

$$Q_b = P_{cb} \cdot M_b / D_b \implies P_{cb} = Q_b \cdot D_b / M_b = 38,5469 \text{ kcal} \cdot 1,08 \text{ kg/m}^3 / 0,0055565 \text{ kg}$$
$$P_{cb} = 7.492,24 \text{ kcal/m}^3$$

El poder calorífico del biogas calculado por este método experimental alternativo entrega un valor aceptable, aunque levemente alto. Esto demuestra que el método propuesto es válido, aunque debe ser corregido para mejorar su confiabilidad. De acuerdo a la bibliografía, el poder calorífico del biogas debería andar entre 5.500 y 6.200 kcal/m<sup>3</sup>. En trabajos posteriores se estudiarán las posibles causas de estas divergencias (pérdidas de calor al medio ambiente, desigualdad entre ambos rendimientos de combustión, diferentes relaciones estequiométricas aire-gas entre los 2 ensayos, etc) con el objeto de ajustar el método y hacerlo más preciso. También se tratará de determinar el porcentaje de CO<sub>2</sub> que contenía el biogas a partir del poder calorífico calculado y si los diferentes tiempos empleados en la combustión (414 segundos para el biogas y 484 segundos para el isobutano) pueden utilizarse para calcular o tener una aproximación del poder calorífico del gas incógnita.

## BIBLIOGRAFIA:

Didacta, (2006) [http://www.didacta.it/relazioni/CE\\_T136d\\_S.pdf](http://www.didacta.it/relazioni/CE_T136d_S.pdf) (4-junio-06)

Mesny M., Generación del Vapor, Ediciones Marymar (2002) p.p. II-44 y II-45

Enargas (2006) [http://www.metrogas.com.ar/news\\_gnc01.htm](http://www.metrogas.com.ar/news_gnc01.htm) (4-mayo-06)

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., Aeberhard A., Aeberhard R. (2004) Ensayos en un biodigestor con aserrín de diferentes maderas, 2º Jornada de Comunicación Científica para Ingeniería 2004, UNNE, pp 150-154

Martina P., Yank L., Corace J., Bucki Wasserman B., 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

**ABSTRACT:** an alternative experimental method for measuring lower calorific power in biogas is proposed here. This method could be used cause of economic and practical impossibility to get Junkers calorimeter, the gage used to measure calorific power of liquids and gases at constant pressure. The method consists of burning in similar conditions of temperature and pressure a given volume of biogas (it is wanted to determine its calorific power) and the same volume of a gas which its calorific power is known. Both volumes are burnt by heating 1 liter of water at the time, and taking account the temperature variation achieved in each test, mass in both gasses and calorific power known gas, the calorific power of unknown gas can be calculated.

**KEY WORDS:** biogas, upper and lower calorific power, methane, butane, Junkers calorimeter, percentage of CO<sub>2</sub>.