

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA A PARTIR DEL BIOGAS

Alfredo Oliveros Donohue, Guillermo Lira Cacho, Raúl Figueroa Reynoso
Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Ingeniería
E-mails: edevialf@terra.com.pe; glira@uni.edu.pe ; rfigueroar@uni.edu.pe

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de las investigaciones llevadas a cabo por la Universidad Nacional de Ingeniería para generar electricidad, a partir del biogás, con la finalidad de electrificar poblaciones nativas ubicadas en la región del Alto Marañón en el Departamento de Amazonas. El combustible necesario se obtuvo de una planta piloto de biogás, tipo Olade-Guatemala de 5m³/día, del antiguo Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, ITINTEC, recuperada en la Unidad del Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial, SENATI, de Villa El Salvador. El motor de biogás se logró a partir de una innovación en un grupo estacionario gasoliner Honda, que cuenta con un motor monocilíndrico y genera 3,5 kVA. La innovación consiste en un carburador, de muy bajo costo, que permite introducir el biogás al motor para su posterior combustión en éste. Con este dispositivo, que no existe en el mercado local, se ha logrado un rendimiento de 1,38 m³ de biogás/(kWh) de electricidad generada en el grupo ensayado, y se puede aplicar en grupos de este tipo, que llegan hasta 8,0 kW. Estos resultados permitirán la electrificación de pequeños centros poblados, como los observados en el Alto Marañón, u otros como los requeridos por la actividad productiva o de servicios, como es el caso de la crianza de especies menores y mayores, o la hotelería.

ABSTRACT

This article present the results of a research carried out in the UNI to generate electricity from biogas with the purpose of providing electricity to the native towns of the Alto Marañón area of the Amazonas department. The necessary fuel was obtained from an existing plant of the type OLADE - Guatemala of 5m³/day of biogas. The plant was recuperated from the former ITINTEC experimental center located at the El Salvador's SENATI Unit in Lima. The biogas motor was developed from an innovation performed on an 3,5 kW Honda stationary motor. The innovation consists on a low cost carburetor for introducing the biogas into the motor to run it. This type of carburetor doesn't exist in our market and has permitted to obtained of 1,38 m³ of biogas/(kWh) on a tested stand and can be used in generation groups up to 8 kW. We hope that the results obtained will permit the electrification of small towns like those in Alto Marañón and cover the different necessities of the production and services like the breeding of animals or hotel services.

INTRODUCCION

Este trabajo nace de la visita realizada por uno de los autores al Alto Marañón, en el Departamento de Amazonas, donde encuentra una treintena de poblados nativos sin luz, pero con una cantidad interesante de vacas y cerdos, producto de la transacción comercial con la ciudad de Iquitos, que por un incompleto estudio de los recursos energéticos locales pretendían ser electrificadas con paneles fotovoltaicos de 53 W. En el presente artículo se describen los avances realizados por la UNI en la generación de electricidad, transformando grupos estacionarios, de 2,0 a 8,0 kW, de gasolina a biogás, con la intención de electrificar posteriormente las referidas poblaciones. De acuerdo a la bibliografía revisada [1, 2, 3], para

que un motor a gasolina trabaje con biogás, la modificación básica radica en la manera como se hace ingresar éste al motor, las que se pueden resumir en forma esquemática, en los dos dispositivos que se presentan en la figura 1.

En la figura 1-a, vemos que el biogás se inyecta al motor mediante un surtidor que se ubica en la sección de salida del carburador.

En la figura 1-b, se observa la otra alternativa, en la que el biogás ingresa a la garganta del carburador por una especie de anillo ubicado a la entrada del carburador.

La primera alternativa es más sencilla y se puede poner en práctica sin mayores modificaciones. La segunda es más elaborada y obliga a construir otro

carburador, en el que se considera que el biogás ingresa por la propia garganta de la tobera del carburador. Para cargar los digestores se revisó también, la literatura nacional e internacional, para tomar nota de los avances previos realizados en nuestro país [3, 4,

5, 8] y poder aplicar este conocimiento a la recuperación de una planta piloto de biogás construida por el antiguo Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas (en adelante, ITINTEC).

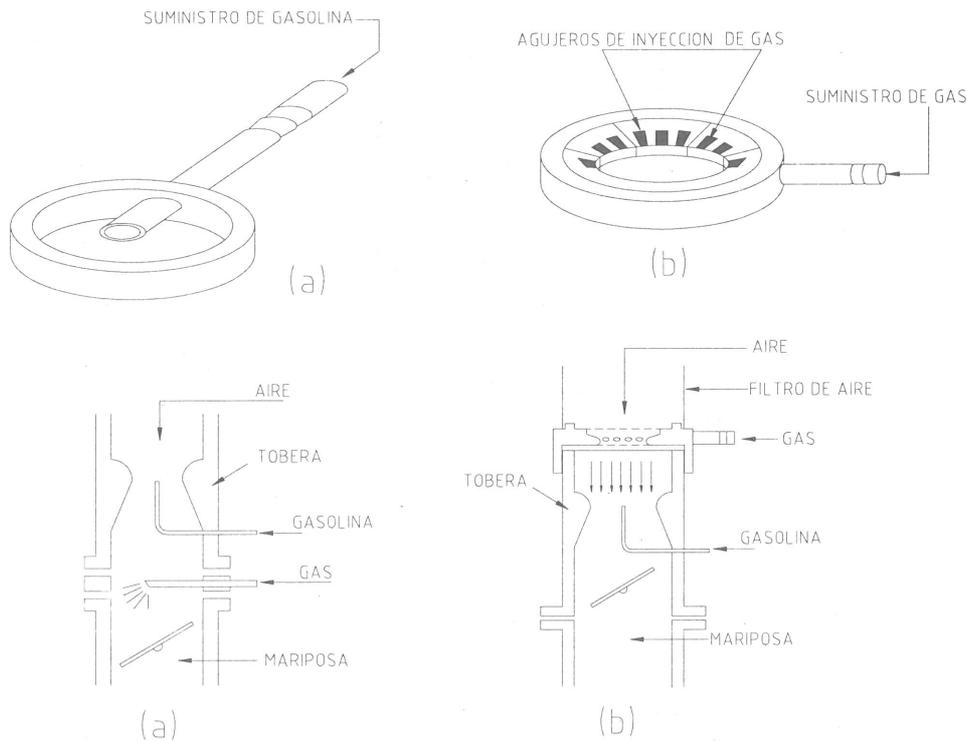


Fig. 1 Dispositivos utilizados para introducir biogás en un motor.

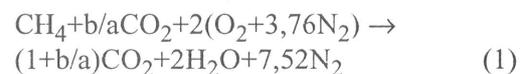
DISEÑO DEL CARBURADOR DE BIOGÁS

Para un diseño óptimo de un carburador, desde el punto de vista aerodinámico, se recomienda que las dimensiones del mismo estén en las relaciones que muestran en la figura 2 [13]. El coeficiente de descarga de este tipo de carburador puede alcanzar valores entre 0,94 y 0,99 [13], dependiendo del acabado superficial del mismo.

Cabe mencionar que las proporciones entre las dimensiones principales del carburador que se indican en la figura 2 son para un motor de gasolina, sin embargo, como una primera aproximación se tomaran como base para el biogás.

El carburador diseñado es una variante de la figura 1-b, con la diferencia que los agujeros se encuentran en la garganta de la tobera. Para calcular el área total de paso de los agujeros de suministro de biogás, se

debe conocer, previamente, la relación estequiométrica aire-combustible (biogás). Para ello se plantea la reacción química de combustión completa del biogás:



donde: b y a son las fracciones (en volumen) de CO_2 y CH_4 , respectivamente.

Por lo tanto, si consideramos $a=b=0,5$; entonces, la relación estequiométrica aire-biogás es $l_0=4,58$.

Si consideramos que la válvula de mariposa (de aceleración) está completamente abierta y que el coeficiente de exceso de aire (α) es igual a 0,9. Con estas suposiciones, se está considerando el máximo suministro de biogás.

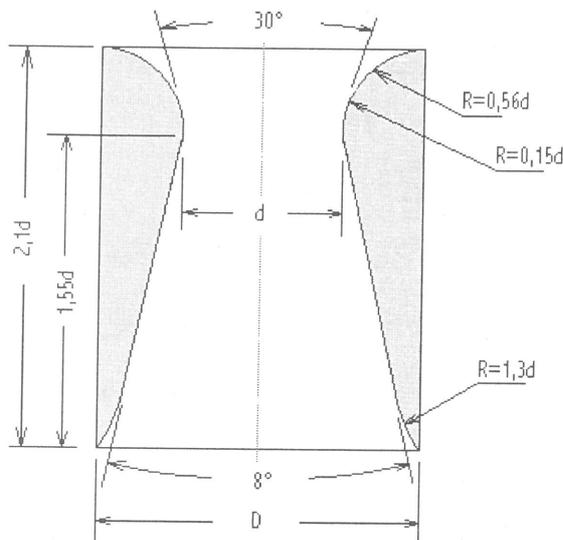


Fig. 2 Dimensiones generales de la tobera del carburador ($d/D=0,6-0,8$) [13].

El coeficiente de exceso de aire (α) se define como:

$$\alpha = \frac{G_a}{G_c \cdot l_0} \quad (2)$$

donde: G_a y G_c son los flujos máscicos de aire y combustible, respectivamente.

Tomando en cuenta conceptos de mecánica de flúidos, obtenemos:

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{A_d \cdot C_d}{A_c \cdot C_c} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} \quad (3)$$

donde: A_d y A_c son las áreas de la garganta del difusor y de los agujeros para el paso de biogás, respectivamente, C_d y C_c son los coeficientes de descarga de las áreas señaladas, ρ_0 y ρ_c son las densidades de aire y combustible, respectivamente.

Asumiendo que las condiciones de temperatura para el biogás y para el aire son iguales, entonces:

$$\frac{\rho_0}{\rho_c} = \frac{\mu_0 P_0}{\mu_c P_c} \quad (4)$$

donde μ_0 , μ_c , P_0 y P_c son los masas moleculares y las presiones absolutas del aire y del combustible, respectivamente.

A partir de estas ecuaciones se puede obtener el área total de los agujeros para el suministro de biogás al motor:

$$A_c = \frac{1}{\alpha \cdot l_0} \cdot \frac{A_d \cdot C_d}{C_c} \cdot \sqrt{\frac{\mu_0 P_0}{\mu_c P_c}} \quad (5)$$

Remplazando algunos valores numéricos constantes obtenemos:

$$A_c = \frac{(44/a - 28)}{206,4} \cdot \frac{A_d}{\alpha} \cdot \sqrt{\frac{1.013}{1.013 + \Delta P_c}} \quad (6)$$

donde ΔP_c es la presión manométrica de alimentación del biogás, en mbar.

INSTALACION EXPERIMENTAL

Para obtener el combustible necesario se tuvo que recuperar una planta piloto de biogás, tipo Olade-Guatemala de 5 m³/día, del antiguo Itintec, en Villa El Salvador [8]. Esta planta cuenta con 2 tanques de fermentación anaeróbica de 10 m³ cada uno, un gasómetro de 5 m³ y un tanque de biol (ver figuras 3 y 6).

El motor de biogás se logró a partir de modificaciones en un grupo estacionario a gasolina Honda de 3,5 kVA, con un motor monocilíndrico. Este grupo fue montado en un banco de pruebas en el que se simuló la carga con un arreglo de 35 focos incandescentes, de 100 W cada uno, en el que se podía variar fácilmente la carga, prendiendo o apagando los focos (de 5 en 5).

Parámetros medidos e instrumentación empleada.

En los digestores se midió:

- Presión, con manómetro en "U", mbar.
- Temperaturas, con termocuplas, °C.
- Volumen de biogás producido, con gasómetro y rotámetro, m³.
- Acidez, con papel tornasol, pH.

En el banco de pruebas se midió:

- Voltaje, con multímetro digital, V.
- Corriente, con multímetro digital, A.
- Frecuencia, con frecuencímetro, Hz.
- Rotación del motor, con tacómetro digital, rpm
- Composición de gases de escape del motor, con analizador de gases CO, CO₂, O₂, CH₄, %.

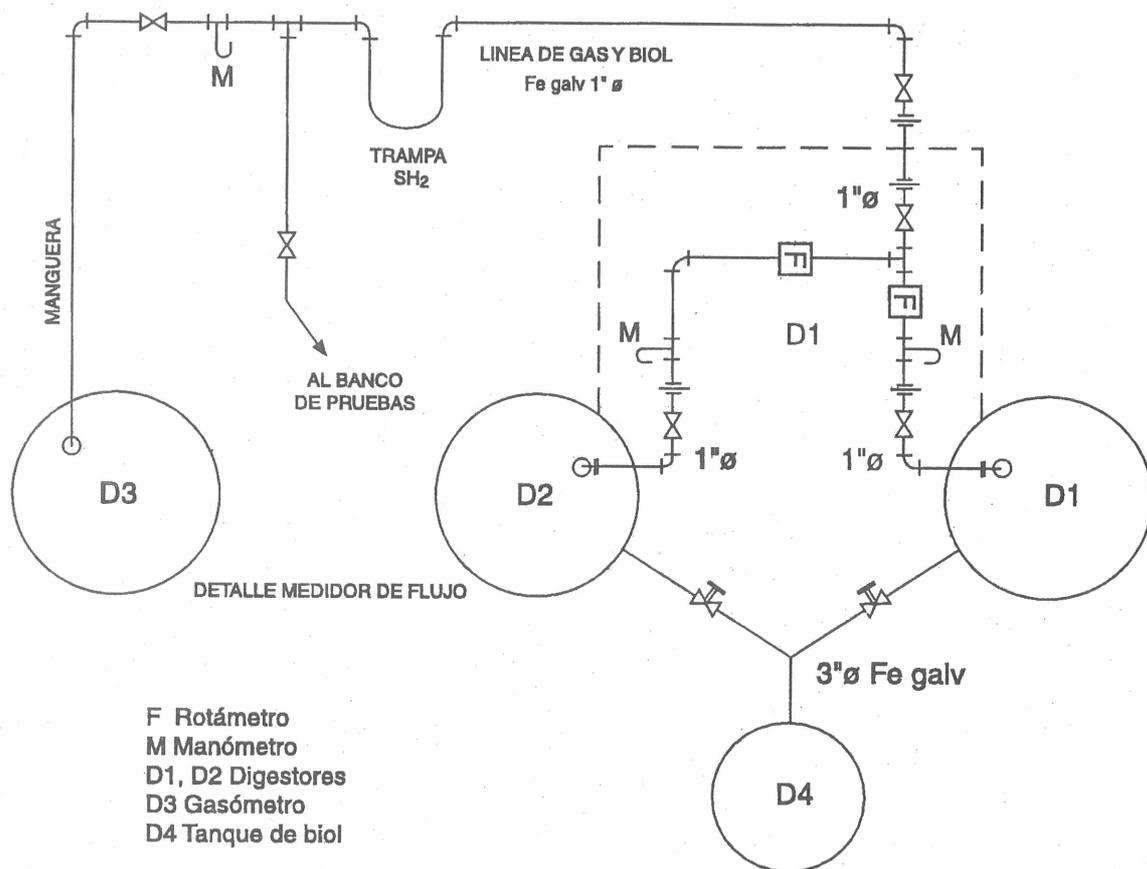


Fig. 3 Esquema de la instalación experimental para la obtención de biogás.

ENSAYOS REALIZADOS

Ensayos en el motor.

Las primeras pruebas realizadas estuvieron dirigidas al estudio del comportamiento del motor con alimentación directa de biogás (ver figura 1-b), pero no se obtuvieron los resultados esperados.

Luego, se modificó el carburador, tal como se indicó anteriormente, y se realizaron una serie de 8 ensayos en los que se probaron distintos reguladores y toberas para la alimentación del biogás. Las primeras cuatro pruebas se realizaron utilizando un "chicler" de uso automotriz, pero se tuvo que poner bloques de concreto sobre la tapa (en forma de campana en la figura 6) del biodigestor para aumentar la presión de alimentación del biogás, afin de que el motor funcionara. En la quinta prueba se cambió el chicler por una válvula de paso (ver figura 5), con la cual ya no fueron necesarios los bloques.

Una vez definida la forma de regular la cantidad de biogás suministrada al motor, se probaron dos

toberas, una de 16 mm \varnothing y otra de 18 mm \varnothing , determinando, luego de 3 pruebas más, aquella con la que se obtenía el mejor rendimiento del motor. La última prueba fue para verificar en cuánto disminuía el rendimiento cuando se hacían los ensayos con el filtro de aire puesto (ver Tabla 1).

Ensayos en los digestores.

El digestor 1 se cargó en junio de 1998, con 3.000 kg de estiércol de vaca, 120 kg de chala húmeda, 120 litros de rúmen y 1.500 litros de agua, generándose gas combustible al mes de cargado, pero se hizo un ajuste del pH, 2 semanas después. El digestor 2 se cargó a fines de noviembre de 1998 con 3.150 kg de estiércol de vaca, 350 kg de chala seca, 1.000 litros de agua y 900 litros de rúmen, cerrando la tapa un mes después, luego se repotenció en paralelo el digestor 1 con 1.500 litros de estiércol de vaca y 1.000 litros de agua.

Tabla 1. Relación de los ensayos efectuados

Ensayo	Fecha		Características	Resultados y comentarios
1	17/04/99	Con bloques de concreto	Con chicler, 4 bloques, 16/2,5*	No se pudo sostener la carga.
2	24/04/99		Con chicler, 6 bloques, 16/2,5	Funcionó media hora.
3	15/05/99		Con chicler, 7 bloques, 16/2,5	Funcionó mejor, P = 15,4 mbar.
4	22/05/99		Con chicler, 4 bloques, 16/2,5	Funcionó, difícil regular la carga, P= 13,6 mbar.
5	27/05/99	Sin bloques de concreto	Probar válvula de paso, sin bloque, 16/3,2	Positivo, se puede regular, pero gran consumo biogás a baja potencia.
6	03/06/99		Probar tobera de 18/3,2 (adaptación de 16/3,2)	Baja consumo de biogás a baja potencia. Tobera corta.
7	17/06/99		Probar nuevamente tobera de 18/3,2	Mejora eficiencia a baja potencia. Tobera normal.
8	10/09/99		Ensayo con filtro de aire, tobera 18/3,2.	Bajó un poco la eficiencia, pero se generó casi la misma potencia que ensayos anteriores.

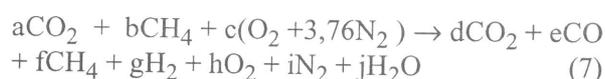
*Relación: Diámetro de la tobera/diámetro de agujeros para ingreso de biogás

Cálculo del porcentaje de metano en el biogás.

El porcentaje del metano en el biogás se determinó a partir de la ecuación de la reacción química teórica de combustión, haciendo el balance de los diferentes componentes, entre los reaccionantes y los productos.

Utilizando los resultados de la composición de los gases de escape mediante el analizador de gases se determinó, en porcentaje, el contenido de CO₂, CO, CH₄ (metano) y O₂.

La reacción química de combustión considerada para el cálculo es:



A partir de los resultados del análisis de gases de una de las pruebas realizadas en el motor, se obtu-

vieron los valores de algunos de estos coeficientes (el coeficiente g se asumió igual a 0,5e).

Asimismo, el porcentaje de metano en el biogás se puede calcular, de una manera general, mediante la siguiente fórmula, la cual se obtuvo de la misma forma que el caso anterior:

$$\% \text{CH}_4 = ((0,105 - 0,105[\text{CO}_2] + 0,19[\text{CO}] + 0,895[\text{CH}_4] - 0,5[\text{O}_2]) / ([\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{CH}_4])) \times 100 \quad (8)$$

donde los términos entre corchetes son las fracciones volumétricas de los componentes medidos con el analizador de gases.

De acuerdo a los resultados obtenidos durante los ensayos, se pudo determinar el porcentaje promedio de metano en las muestras de biogás, tal como se muestra en la tabla 2. Resultando que el porcentaje promedio de CH₄ en el biogás es de 50,61%

Tabla 2. Composición de los gases de escape del motor y porcentaje de metano en el biogás

Prueba	[CO ₂]	[CO]	[CH ₄]	[O ₂]	%CH ₄ en el biogás
1	0,1656	0,005	0,00142	0,0077	49,98
2	0,1206	0,0012	0,00542	0,0595	53,19
3	0,1257	0,0012	0,003	0,0535	52,32
4	0,1348	0,0009	0,0015	0,0478	49,90
5	0,153	0,001	0,00106	0,0246	50,16
6	0,1514	0,0009	0,00116	0,0277	49,83
7	0,1552	0,0012	0,00146	0,0239	49,59
8	0,1619	0,0016	0,00138	0,0145	49,91
				Promedio	50,61

Determinación del poder calorífico del biogás (H_u).

Para determinar el poder calorífico aproximado del biogás, en MJ/m^3 , se utilizó una fórmula empírica, propuesta por Jováj [13]:

$$H_u = (12,8[\text{CO}] + 10,8[\text{H}_2] + 35,8[\text{CH}_4] + 56,0[\text{C}_2\text{H}_2] + 59,5[\text{C}_2\text{H}_4] + 63,4[\text{C}_2\text{H}_6] + 91[\text{C}_3\text{H}_8] + 120[\text{C}_4\text{H}_{10}] + 144[\text{C}_5\text{H}_{12}]) \quad (9)$$

donde:

$[\text{CO}]$, $[\text{H}_2]$, etc, son las fracciones volumétricas de los componentes en el combustible gaseoso. En este caso, el único componente combustible de la mezcla es el metano, cuya fracción volumétrica es igual 0,506; por lo tanto, el poder calorífico será igual a:

$$H_u = 35,8 \times 0,506 = 17,9 \text{ MJ/m}^3$$

Determinación y comparación del gasto específico efectivo de calor (q).

Para tener una referencia que tan efectivo es el funcionamiento del motor se comparará el gasto específico de calor del motor trabajando con biogás con motores estándares a gas:

El gasto específico de calor representa cuanto de calor se necesita que desprenda el combustible para producir 1 kW.h de energía útil y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$q = H_u \times \text{CE} \quad (10)$$

donde:

H_u = poder calorífico bajo del combustible, en MJ/m^3 .

CE = consumo específico de combustible, en $\text{m}^3/(\text{kW.h})$.

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla de la experiencia del día 03 de junio de 1999, el consumo específico más bajo del motor fue de $1,33 \text{ m}^3 / (\text{kW.h})$; por lo tanto, el gasto específico efectivo de

calor será igual a:

$$q = 17,9 \times 1,33 = 23,86 \text{ MJ}/(\text{kW.h})$$

Según Jováj [12], el gasto específico de calor de los motores a gas es de $17 - 14,4 \text{ MJ}/(\text{kW.h})$. Es decir, en nuestro caso el consumo específico es 40% más alto que el mayor valor del rango mostrado.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

- La alimentación directa de biogás al carburador no dio buen resultado, lo que obligo a usar un carburador especialmente diseñado para biogás.
- Los chicleros ensayados no dieron el resultado esperado, por lo que fueron cambiados por una válvula de paso.
- De las toberas ensayadas, la de $18\text{mm } \varnothing$ mostró un mejor rendimiento a cargas parciales (ver figura 4).
- La electricidad generada se mantuvo estable a 220 V y 60 Hz por 1,5 horas, pero podría ser más tiempo en la medida de contar con digestores más grandes.
- El carburador ensayado tiene un costo de aproximadamente $\text{US\$ } 40,00$ y podría costar menos cuando se produzca en serie.
- En el digestor ensayado, la producción de biogás se mantiene constante por tres meses, luego empieza a disminuir periódicamente hasta que se estabiliza en un valor mínimo en el mes 8, contado a partir del cierre de la tapa del digestor.
- Puesto que en el mercado local existen generadores del tipo ensayado, hasta $8,0 \text{ kW}$, estos resultados permitirán vislumbrar la electrificación de pequeños centros poblados, como los observados en el Alto Maraón, u otros como los requeridos por la actividad productiva o de servicios, como es el caso de la crianza de especies menores y mayores, o en la hotelería.

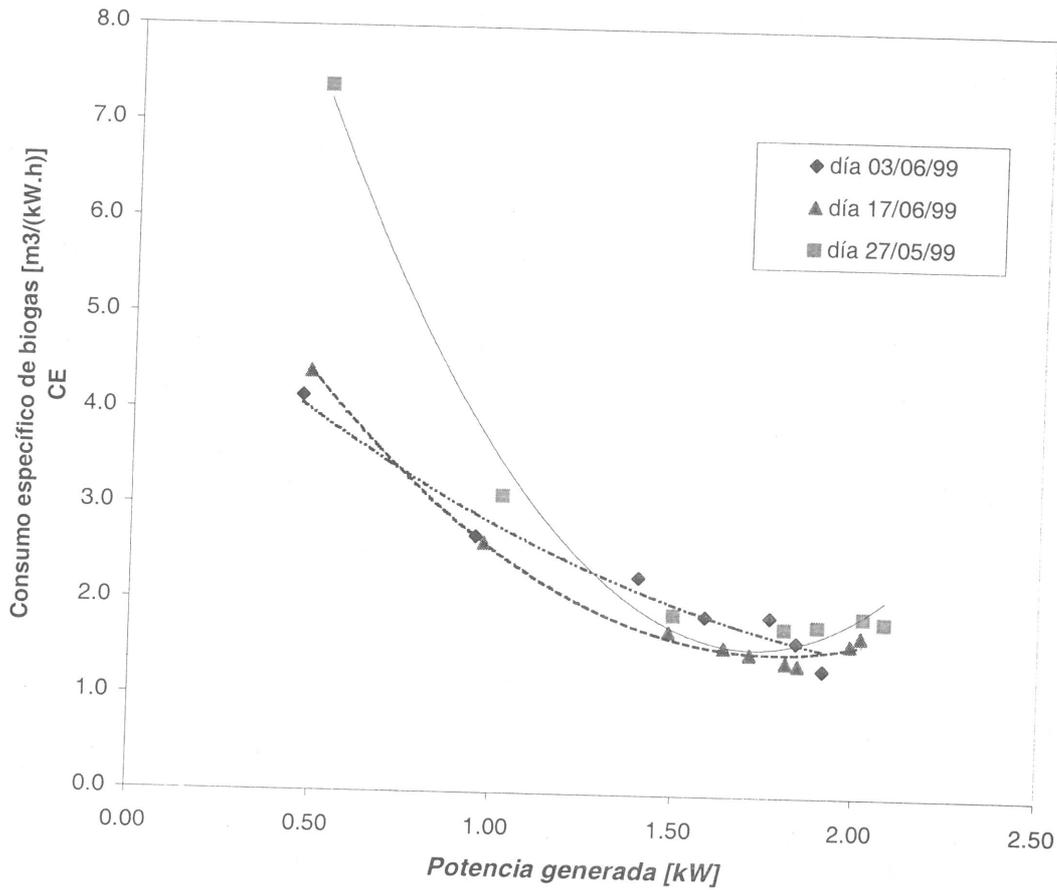


Fig. 4 Consumo específico de biogás en motores de baja potencia a nivel del mar y a 3600 rpm

Tabla 3. Resultados obtenidos en las pruebas realizadas con biogás en el motor estacionario.

Día: 27-May-99							tobera: 16 mm de garganta					
Condiciones del ensayo: 7,7 mbar (presión manométrica del biogás)							diámetro de orificios: 3,2 mm					
Densidad: 1,2 kg/m ³							Tamb: 21°C Patm: 1013,25 mbar					
Nº Focos	Frec. [Hz]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Tiempo [min]	Energía [kWh]	Hi [cm]	Hf [cm]	Vol. consumido		CE [m ³ /kW.h]	g _e ^{**} [g/kW.h]
									[m ³]	[m ³] _n *		
5	60	225	2,3	517,5	3	0,025	40,0	35,5	0,186	0,190	7,380	8856,089
10	61	222	4,6	1021,2	2	0,034	42,5	40,0	0,103	0,106	3,116	3739,902
15	60	220	6,8	1496,0	2,25	0,056	45,0	42,5	0,103	0,106	1,891	2269,274
18	60	220	8,2	1804,0	2	0,060	52,5	50,0	0,103	0,106	1,764	2117,066
19	59,5	218	8,7	1896,6	3	0,094	56,5	52,5	0,166	0,169	1,789	2147,949
20	59	220	9,2	2024,0	3	0,101	61,0	56,5	0,186	0,190	1,886	2264,341
21	58	217	9,6	2083,2	3	0,104	65,5	61,0	0,186	0,190	1,833	2199,993

Día: 03-Jun-99								tobera: 18 mm de diámetro de garganta				
Condiciones del ensayo: 7,8 mbar (presión manométrica del biogás)								diámetro de los orificios: 3,2 mm				
Densidad: 1,2 kg/m ³								Tamb: 20.5°C Patm: 1013,25 mbar				
N° Focos	Frec. [Hz]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Tiempo [min]	Energía [kWh]	Hi [cm]	Hf [cm]	Vol. consumido		CE [m ³ /kWh]	g _e [g/kWh]
									[m ³]	[m ³] _n *		
0					2		101,0	99,0	0,083			
5	59	220	2,1	462,0	2	0,015	96,5	95,0	0,062	0,063	4,140	4968,921
10	60	216	4,4	950,4	2	0,031	93,0	91,0	0,083	0,085	2,683	3220,597
15	61	212	6,6	1399,2	2	0,046	87,0	84,5	0,103	0,106	2,278	2734,469
17	61	211	7,5	1582,5	3	0,079	84,5	81,0	0,145	0,148	1,880	2256,554
19	60	210	8,4	1764,0	3	0,088	76,5	72,6	0,162	0,165	1,879	2255,732
20	60	209	8,8	1839,2	3	0,091	67,0	63,5	0,145	0,148	1,618	1941,604
21	60	208	9,2	1913,6	3	0,095	60,0	57,0	0,124	0,127	1,332	1599,527

Día: 17-Jun-1999								tobera: 18 mm de diámetro de la garganta				
Condiciones del ensayo: 7,4 mbar (presión manométrica del biogás)								diámetro de los orificios: 3,2 mm				
Densidad: 1,2 kg/m ³								Tamb: 20.5°C Patm: 1013,25 mbar				
N° Focos	Frec. [Hz]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Tiempo [min]	Energía [kWh]	Hi [cm]	Hf [cm]	Vol. consumido		CE [m ³ /kWh]	g _e [g/kWh]
									[m ³]	[m ³] _n *		
5	60	219,7	2,2	483,3	3	0,024	98,0	95,5	0,103	0,106	4,396	5275,201
10	60	216,2	4,5	972,9	3	0,048	95,0	92,0	0,124	0,127	2,620	3144,885
15	61	218,4	6,8	1485,1	3	0,074	90,5	87,5	0,124	0,127	1,716	2060,209
16	61	211,5	7,1	1501,7	2	0,050	48,5	46,0	0,103	0,106	2,122	2546,914
17	59,5	218,2	7,5	1636,5	3	0,081	87,0	84,0	0,124	0,127	1,558	1869,635
18	60	211,1	8,1	1709,9	2	0,057	45,0	43,0	0,083	0,084	1,491	1789,368
19	59	213	8,3	1809,4	3	0,090	83,0	80,0	0,124	0,127	1,409	1690,979
20	60	209,5	8,8	1843,6	2	0,061	42,0	40,0	0,083	0,084	1,383	1659,611
21	60	209,5	9,5	1990,3	2	0,066	39,0	36,5	0,103	0,106	1,601	1921,654
22	59	208,1	9,7	2018,6	3	0,100	69,0	65,0	0,166	0,169	1,684	2021,007

*[m³]_n valores normalizados a 25°C

** g_e consumo específico efectivo másico de combustible.



Fig. 5 Carburetor desarrollado para generar electricidad con biogás

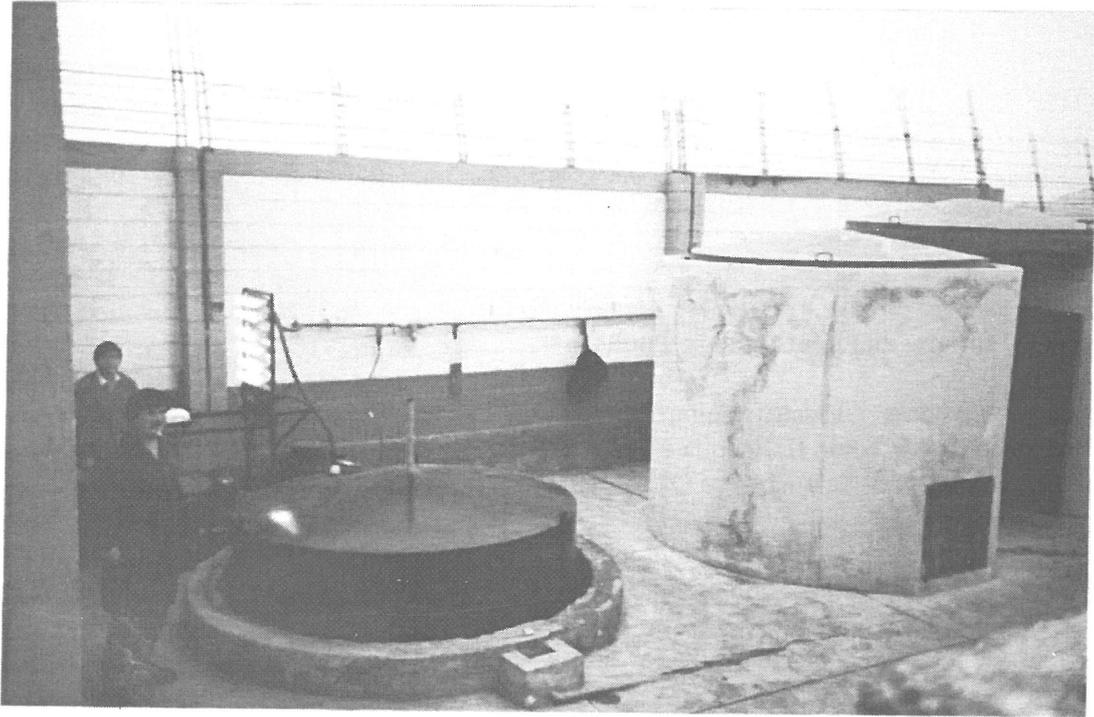


Fig. 6 Planta piloto para generar biogás en Villa El Salvador. Se observan los dos tanques de fermentación y el gasómetro para almacenar el biogás. Al fondo, el banco de pruebas generando electricidad con biogás.

CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado y construido un carburador simple y de bajo costo, que permitirá la transformación de pequeños grupos electrógenos gasolineros a biogás, que no se encuentran en forma comercial en el mercado local, por lo que constituye una innovación tecnológica para el país.
- El carburador construido, en esta primera fase del proyecto, es un carburador "elemental", al cual le falta una serie de accesorios que faciliten el funcionamiento del motor en diferentes regímenes (durante el arranque en frío, en vacío y bajas cargas, etc.), así como la conversión rápida y segura de biogás a gasolina y viceversa. Sin embargo, el diseño del carburador resultó adecuado para regímenes estacionarios de funcionamiento y para los objetivos del proyecto en su primera fase.
- Del análisis de la composición de los gases de escape se calculó (aproximadamente) el porcentaje de gas metano en el biogás, sin embargo, en las etapas siguientes es imprescindible su determinación a partir del análisis químico. El porcentaje de biogás es importante para el diseño más exacto del carburador y para la determinación de su poder calorífico. Asimismo, es necesario conocer el contenido de azufre o de compues-

tos sulfurosos y de agua para poder tomar las medidas preventivas.

- El consumo específico volumétrico de combustible logrado fue de $1,38 \text{ m}^3$ de biogás/(kWh), en condiciones de presión ambiental normales. La determinación del consumo de biogás se hizo de una manera algo rudimentaria e imprecisa, lo que obliga en las etapas siguientes del proyecto a utilizar instrumentación más sofisticada, sin embargo, el análisis cualitativo de los resultados sí es válido y nos permitirá hacer las correcciones necesarias.
- Los resultados obtenidos permitirán la eventual adaptación de estos equipos para la electrificación de pequeños centros poblados donde exista biomasa en cantidad suficiente para el propósito buscado.
- El empleo del biogás en motores de combustión interna permitirían reducir la emisión de gas metano a la atmósfera en los rellenos sanitarios, contribuyendo así a la reducción de la contaminación ambiental.
- Estos resultados podrían aplicarse también a la actividad productiva o de servicios, como la crianza de animales menores y mayores o la actividad hotelera, entre otros.

REFERENCIAS

1. Klaus von Mitzalf GATE, GTZ, "Engines for biogas: Theory, modifications, economic operation", Vieweg, 1988.
2. Instituto de Motores de Combustión Interna UNI/FIM, "Nuevas aplicaciones del gas en motores de combustión interna", Lima, 1996.
3. Arianne van Bure (editor), "A Chinese Biogas Manual", Intermediate Technology Public, Londres, 1979.
4. Oliveros, A. y otros, "Electrificación Rural, Subregiones IV y V, Tomo II, Energía y Desarrollo en el Dpto. de Chuquisa, Pre OEA, La Paz, noviembre 1987.
5. ITINTEC, "Cómo construir un Biodigestor", Serie: "Hágalo Ud. Mismo", Vol. N° 4, Lima, junio 1983.
6. Merrill, R. (editor) "Energy Primer: Solar, Wind, and Biofuels", New York, 1978.
7. Academia Nacional de Ciencias de EE.UU., "Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes", Washington D.C., 1977.
8. Penagos, M, "Desarrollo de Plantas Biológicas en Guatemala 1952-1979", Publicación OLADE, Quito, 1979.
9. Verástegui, J., Mateo, M., ITINTEC, "Producción de Biogás a partir de Desechos Orgánicos. Parte I: Planta Piloto a Escala Familiar", Lima 1979.
10. Verástegui, J., Mateo, M. y colaboradores, ITINTEC, "Generación de Biogás en las Zonas Rurales del Perú", Lima, 1980.
11. Memorias del I Curso Seminario Nacional de Biogás, Cajamarca, 1983.
12. Jóvaj, M.S., "Motores de automóvil", Editorial MIR, Moscú, 1982.
13. Orlin, A.S., "Sistemas de motores de pistón y combinados- Motores de combustión interna", Moscú, 1985 (en ruso).