



Los generadores Generac alimentados con gas propano o biogás proveniente de su biodigestor, le proveen una fuente autosuficiente de electricidad.



Contacte a nuestro Departamento Industrial para mayor información:

Tel. (506) 2210-5300 • Fax (506) 2231-5059  
e-mail: [info@agromec.co.cr](mailto:info@agromec.co.cr)

[www.agromec.co.cr](http://www.agromec.co.cr)

# Generación eléctrica con biogás

► Una alternativa de ahorro eléctrico para granjas lecheras y porcinas



**Ing. Joaquín A. Víquez Arias**  
VIOGAZ S.A.  
Especialistas en Tecnología de Biogás  
[jviquez@viogaz.com](mailto:jviquez@viogaz.com)  
Tel 8923-7412

**E**n Costa Rica, el sistema eléctrico, a diciembre del 2008, tenía una capacidad instalada efectiva de 2.313 MW, de los cuales un 66% corresponde a plantas hidroeléctricas, un 23% a térmicas, un 7% a geotérmicas, un 3% a plantas eólicas y un 1% a biomasa (ICE, 2009).

De 1990 al 2007, la demanda eléctrica creció a un ritmo anual promedio del 5%. Adicionalmente, hace dos décadas,

la principal fuente de generación era la hidroeléctrica. Más recientemente, se ha recurrido a los combustibles fósiles (plantas térmicas) para atender las crecientes demandas eléctricas. Por otro lado, el cambio climático ha alterado los pronósticos de los sistemas de abastecimiento de agua para los embalses. De continuar este panorama, el país podría verse forzado a cambiar su política energética, basada en renovables y modificar drásticamente la conformación de las nuevas adiciones de capacidad, utilizando combustibles fósiles (ICE, 2009).

Adicionalmente, a las consecuencias que pueden traer el poco y caro abastecimiento de petróleo en el futuro

cercano, habrá un efecto importante sobre el costo de la energía eléctrica. Por tanto, el considerar, implementar y poner en marcha un proyecto de autoabastecimiento eléctrico, parcial o total, es una alternativa que cada día toma mayor interés y fuerza.

En una lechería, los equipos que más consumen electricidad son: bomba de vacío, sistema de enfriamiento, calentadores de agua, picadoras de pasto, bombas de agua (riego), entre otros. En una granja porcina, los de mayor consumo son: mezcladoras y molinos (si producen el alimento balanceado); las de mayor tamaño tienen, además, bombas de agua y sistemas de calefacción para los lechones.



Existe una correlación proporcional y directa, entre el número de animales que tenga la granja (lechera o porcina) y el consumo de electricidad. Dicho en otras palabras, cuanto más animales, mayor será este rubro, según el tamaño y condiciones de la granja. Afortunadamente, existe la misma relación (en diferentes grados para cada granja) entre el número de animales y la producción de residuos orgánicos (excretas).

Por tanto, la opción de convertir estos residuos orgánicos, en biogás (cuanto más excreta mayor será el potencial para generar biogás; y por tanto más electricidad, como una alternativa técnica viable y económicamente justificable. El objetivo de este artículo es presentar un análisis de dicha alternativa y realizar algunas recomendaciones para aquellas granjas que tienen el potencial y el interés.

### ¿Qué es el biogás?

El biogás como la palabra bien lo define, es un gas generado a partir de un proceso biológico. El mismo fue descubierto a finales del siglo XVIII, cuando el científico italiano Alessandro Volta

colectó muestras de gas de pantano (formado por la descomposición de la materia orgánica depositada en los pantanos) e investigó sobre sus propiedades inflamables (GTZ, 1998).

Actualmente, el biogás es producido por la digestión anaeróbica, que es un proceso tecnológico simple, con bajos requerimientos energéticos, en el que se fermenta materia orgánica de un gran rango de tipos (excrementos animales, desechos de cocina, aguas negras y residuales de industria, entre otros) (Reith y otros, 2003).

Pero... verdaderamente ¿qué es el biogás? como su raíz lo dice, es un gas, el cual es un estado físico de la materia, y por tanto su comportamiento es diferente a un sólido o a un líquido. Como cultura general, es común escuchar que el biogás contiene metano, pues es gracias a este compuesto que el mismo tiene características inflamables. Además de metano (CH<sub>4</sub>), también contiene dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), agua (en forma de vapor) (H<sub>2</sub>O), restos de hidrógeno (H<sub>2</sub>), nitrógeno (N<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>).

Todos los gases combinados forman el biogás (Walsh, 1988).

El metano, pertenece a la familia de los hidrocarburos. Algunos dicen que es "primo hermano" del propano (gas que muchos hogares e industrias utilizan a diario); su diferencia es en 2 átomos de carbono y 4 de hidrógeno. Por tanto, tiene propiedades inflamables, mientras que los otros gases (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, y otros) simplemente influyen en la dilución del biogás (Amend y otros, 1993).

Dicho en otras palabras, el contenido de energía en el biogás es dado por el metano y los otros gases diluyen esta energía. En condiciones estándares, 1 m<sup>3</sup> de metano (no de biogás) es equivalente a 32.207 BTU (British Thermal Unit – unidad de energía utilizada en Europa y Países del Norte) o bien 9,47 kWh-l de energía total. Suponiendo que se tiene 1 m<sup>3</sup> de biogás, en condiciones estándares, y éste contiene 65% (v/v) de metano, su valor energético disminuye a 20.935 BTU o 6,15 kWh-l (Walsh, 1988).

Realizando algunas comparaciones energéticas, se tiene que 1 m<sup>3</sup> de biogás, con 65% (v/v) de metano, se compara con (Walsh, 1988):

0,6 m <sup>3</sup> de gas natural	0,88 L de propano	0,63 L de gasolina	1,61 kg de leña seca
-----------------------------------	-------------------	--------------------	----------------------

Una granja lechera (50 animales en ordeño; sistema de pastoreo) o una porcina (con 60 cerdos en finalización), pueden producir cerca de 300 kg de

excreta diaria. Utilizando un digestor anaeróbico (popularmente conocido como biodigestor), puede producir fácilmente cerca de 10 m<sup>3</sup> de biogás por

día, o sea 6,3 L de gasolina (energéticamente hablando), diariamente.

En el siguiente cuadro, se describe la composición común en el biogás:

Cuadro I. Composición típica del biogás generado con excrementos animales

Compuesto	Valor	Unidad de medida
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 - 85	% (v/v)*
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	50 - 15	% (v/v)
Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	100 - 2000	ppm** (v/v)
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	< 1	% (v/v)
Agua (H <sub>2</sub> O)	100	% de saturación
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	< 0,01	% (v/v)

House, 1978

(\*) v/v (volumen sobre volumen)

(\*\*) ppm (Partes por millón)

La variación en la composición del biogás, varía entre muchos factores por: la relación C:N del sustrato; nivel del pH del digestor; efectos negativos del proceso de fermentación; variaciones en tiempos de retención y en el tipo y composición del sustrato y temperatura del digestor, entre otros. (House, 1978).

El biogás, aunque sea un gas, como se explicó anteriormente, sigue siendo un combustible aprovechable. Sin embargo, es importante conocer y tener presente que como todo gas, se comporta de manera diferente a un combustible líquido o sólido.

El volumen del biogás se ve afectado por tres factores importantes: (1) la cantidad de moléculas (o moles), (2) la temperatura, y (3) la presión ejercida sobre el biogás. Estos tres factores se unen para formar la Ley Combinada de los Gases (Ley de Charle's y la Ley de Boyle's combinada), que se define de la siguiente manera:

$$\frac{V_1 \times P_1}{T_1} = \frac{V_2 \times P_2}{T_2}$$

Donde: **V**=Volumen (expresado en litros) // **P**=Presión (expresado en Torr) // y **T**=Temperatura (expresado en Kelvin) (Amend y otros, 1993).

La fórmula describe el comportamiento del volumen de un gas, con cambios en temperatura y presión. En términos generales, al incrementar la presión, se disminuye el volumen, pero al incrementar la temperatura aumenta el volumen (Amend y otros, 1993).

¿Por qué es esto importante? Por ejemplo: dos envases contienen 1 m<sup>3</sup> de biogás cada uno. Uno está ubicado en una zona con 25 °C de temperatura, mientras que el otro está en una con 15 °C, las condiciones de presión son iguales. Si se estimara o bien se ajustaran dichos volúmenes, a condiciones estándares (0 °C y 1 atmósfera de presión), utilizando la Ley Combinada de los Gases, el resultado sería que 1 m<sup>3</sup> de biogás a 25 °C,

es en realidad 0,95 m<sup>3</sup>, y el mismo 1 m<sup>3</sup> de biogás a 15 °C, es 0,98 m<sup>3</sup>.

Es claro que las diferencias son mínimas, pero si en una finca se logra medir que la producción de biogás diaria es de 15 m<sup>3</sup> (a 25 °C), o sea en condiciones estándares produce 14,25 m<sup>3</sup>/día, la diferencia es de 0,75 m<sup>3</sup>/día x 365 días (1 año) = 274 m<sup>3</sup> de biogás... La Ley Combinada de los Gases ayuda también a conocer por qué durante las horas más calientes del día (entre 10 a.m. y 2 p.m.), los biodigestores tienden a inflarse más.

Conocer la composición del biogás y sus características físicas, es clave para determinar la mejor forma de aprovecharlo para la generación de electricidad. Además de las características mencionadas anteriormente, existen otras particulares del biogás, tales como la velocidad y temperatura de la flama, el límite de inflamabilidad; todas estrechamente relacionadas a poder utilizarlo en motores de combustión interna.

### ¿Cómo convertir el biogás en electricidad?

En los años 70's, Harold Bates inundó los titulares con la noticia de que su vehículo se movía con excreta de pollo, aunque luego se demostró que los rendimientos que prometía no eran posibles, sembró la idea de la utilización de biogás como combustible para motores de combustión interna (House, 1978).

Existen reportes que desde hace más de 60 años existen motores de combustión interna funcionando con base en el biogás (Walsh, 1988). Pues, sin lugar a duda, el biogás, dado su contenido de metano y valor energético, además de su fácil producción, es un combustible 100% aprovechable.

Dado lo anterior, en la actualidad, poder convertir biogás en electricidad tiene cierta facilidad. Existen variedad de métodos para hacerlo, pero este documento se concentrará en los motores de combustión interna de chispa.

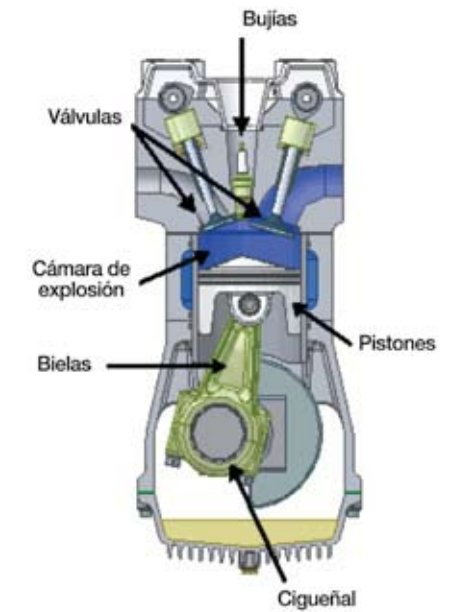


Figura I. Partes de un motor de combustión interna

Se debe partir del concepto de que una PLANTA es una máquina que convierte un combustible, tal como la gasolina, hidrógeno, o biogás, en electricidad. Una planta está conformada por un motor de combustión interna (energía mecánica) y un generador (energía eléctrica).

El motor de combustión interna, de manera muy general, está integrado por los pistones, válvulas, bujías, cámara de explosión, bielas y el cigüeñal (Figura I). Su funcionamiento radica en introducir un combustible en la cámara de explosión, con una relación de aire:combustible adecuada y realizar una explosión del mismo (gracias a la bujía-"chispa"). Ésta impulsaría el pistón para abajo en forma lineal. Gracias a la biela que conecta el pistón con el cigüeñal, esta energía mecánica lineal, se transforma en una energía rotativa (Stone, 1993) (Figura 2).

Ahora bien el generador, en términos muy simples, es un aparato que convierte la energía mecánica rotativa, en electricidad. Un generador básicamente fuerza electrones en la dinamo para crear una corriente continua (fenómeno de la inducción electromagnética) (Stone, 1993).



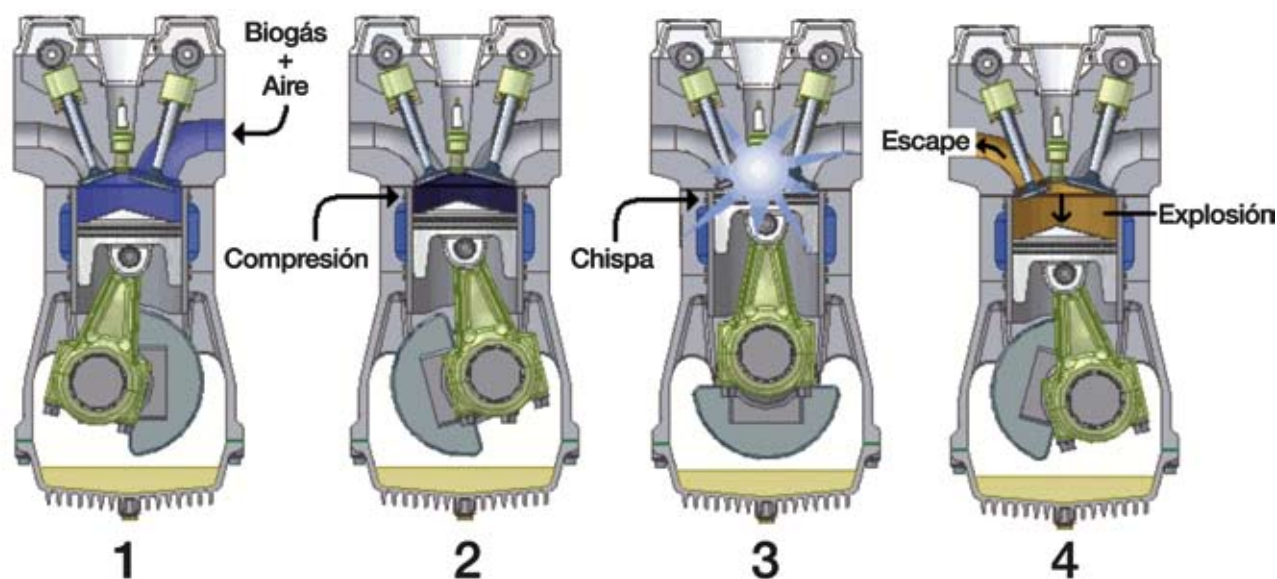


Figura 2. Esquema del funcionamiento de motor de combustión interna de chispa

Por lo tanto, el biogás (en forma de metano), se convierte en energía mecánica, gracias a un motor de combustión interna, y dicha energía mecánica, a través de un generador, es convertida en electricidad.

Las variaciones en el tipo de combustible (gasolina, LPG, gas natural o BIOGÁS), son simples cambios en el estado físico del mismo, su poder calórico, requerimientos de aire para la explosión, tipo de chispa, retardante en la explosión, entre otros, pero la generación de electricidad siempre se regirá bajo los mismos fundamentos. En otras palabras, producir electricidad con biogás es como hacerlo con gasolina, la única diferencia es el combustible.

El biogás, según House, 1978 es un excelente combustible para motores de combustión interna porque:

- Tienen un alto rango de octanaje (poca probabilidad de auto ignición)
- Deja poca o ningún depósito de carbono en los cilindros o pistones.
- Se mezcla mejor con el aire (en comparación a un líquido-gasolina), resultando en una mejor detonación en el cilindro.
- Es mejor utilizar un combustible que opera en una histórica y no prehistórica, luz solar.

### ¿Cómo aprovechar el biogás en una granja lechera o porcina?

Actualmente, la posibilidad de generar energía eléctrica con biogás, debe sustentarse en el análisis de su factibilidad económica, la cual estará ligada a la habilidad del diseñador/asesor del proyecto, de hacerlo rentable. Si la granja tiene el volumen mínimo requerido de residuos orgánicos, éstos se pueden convertir en biogás; para generar electricidad y ser aprovechada en la granja (lechera o porcina).

Cada caso es independiente. En dos proyectos, no importa si la cantidad de residuos orgánicos es la misma (pues esto será lineal en cuanto a la cantidad de biogás y la electricidad que se pro-

ducirá), existen factores que lo hacen, más fácil o difícil el aprovecharlos (los residuos orgánicos) en la finca como energía.

Se considera que existen 6 factores que están involucrados en el aprovechamiento del residuos orgánico (producir biogás) para la generación de energía eléctrica. Estos son:

#### 1. Tecnología para la producción de biogás

La tecnología utilizada para la producción de biogás está estrechamente relacionada con la eficiencia de la misma de "extraer" el biogás de los residuos orgánicos. Por los tamaños de las granjas (lecheras y porcinas) de nuestras realidades, normalmente se utilizan digestores de baja carga, que en general



Figura 3. Biodigestores tubulares de PVC

son ineficientes (ver artículo "¿Cómo diseñar un biodigestor para lecherías?" Revista ECAG Informa 12(51):61-64.

La ineficiencia simplemente afecta el tamaño del biodigestor, pues al final se logra "extraer" todo el biogás que se puede de un volumen determinado de residuos orgánicos; simplemente se requiere de mayor volumen y tiempo. Ahora, esto no es malo, pues dado que son digestores de baja carga, son también económicos ("baratos"). Los costos de la implementación de un digestor para la granja influirán, por tanto, en la rentabilidad del proyecto. Si se fabrica digestor de alta carga, muy eficiente, generando la misma cantidad de biogás, que se lograría con el de baja carga, pero a un costo mayor; hará el proyecto no rentable.

Por tanto, es importante escoger una adecuada tecnología para la producción de biogás, buscando el bajo costo, pero al mismo tiempo la larga duración (vida útil).

#### 2. Cantidad y calidad de biogás disponible diariamente o acumulado

Definitivamente, la cantidad de biogás que se logre producir diariamente estará directamente relacionada con la electricidad que se genere (considerando que la eficiencia del generador es la misma). Entre más biogás se produzca diariamente, más electricidad se podrá remplazar y, por ende, los ahorros en electricidad serán mayores.

Aunque exista la posibilidad de la acumulación de biogás, (considerando que la cantidad diaria no sea suficiente para lo que se requiere), normalmente una granja que no produzca diariamente suficiente biogás, ni siquiera para mover un generador pequeño, será difícil de probar su rentabilidad.

La calidad del mismo, relacionada con la concentración de  $CH_4$  (% v/v) que tenga, irá simplemente ligada a que se requerirá menos biogás (volumétricamente hablando), si contiene más  $CH_4$ . Lastimosamente, este punto está enlazado, en la mayoría de los casos, al tipo de sustrato que se alimente el di-

gestor. Por ejemplo, un biodigestor en una granja lechera produce biogás con 60-65%  $CH_4$ , mientras que una granja porcina lo hace con 75-85%  $CH_4$ ; esto es por la diferencia en el tipo de excreta.

Otro aspecto de la calidad es la concentración de  $H_2S$  (cuadro 1); pues entre más contenga (como en el caso de las granjas porcinas), necesitará de una mayor inversión para la limpieza del biogás, que, por ejemplo, una granja lechera. La concertación de  $H_2S$ , también depende del tipo de sustrato (normalmente ligado al uso de concentrados). Algunos fabricantes de plantas para biogás, recomiendan que el mismo entre a la planta con no más de 10 ppmv o 0,001% (Walsh, 1988).



Figura 4. Filtro para la remoción de  $H_2S$  en el biogás. Marca VIOGAZ®.

#### 3. Consumo eléctrico; tanto en energía (kWh-l y potencia kW)

Una de las principales razones por las cuales un productor toma la decisión de generar electricidad con biogás, es para bajar el recibo eléctrico. Si el consumo de energía eléctrica es sumamente limitado en la granja, será difícil probar la rentabilidad. Es común encontrar estas situación con granjas porcinas pequeñas, que a pesar de que tienen volúmenes interesantísimos de excretas, su consumo eléctrico es tan bajo, que no sería atractivo un proyecto de generación eléctrica con biogás al menos que la comercialice.

Es importante hacer un análisis de la cantidad de  $kWh^{-1}$  que consume la granja mensualmente (o diariamente), para determinar de cuánto podría ser el ahorro al utilizar biogás. Adicional al requerimiento de energía eléctrica de la granja, es necesario analizar el potencial del consumo de dicha energía.

Utilizando un ejemplo. En una granja lechera y porcina, donde ambas generan 20  $m^3$  de biogás por día, con 65% metano, y consumen cerca de los 98  $kWh^{-1}/día$  (3000  $kWh^{-1}$  mensual). Utilizando un generador con 25% de eficiencia, diariamente se podrían tener 30,8  $kWh^{-1}$  (15  $m^3$  de biogás  $\times$  (9,47  $kWh^{-1}/m^3$  de metano  $\times$  65% (v/v) de metano en el biogás  $\times$  25% eficiencia) = 30,8  $kWh^{-1}$ ) de electricidad gracias al biogás.

Si la granja lechera proyecta aprovechar el biogás, utilizando una planta de 16 kW, pues sus equipos eléctricos no requieren de mayor potencia; esto sería 1,9 horas de uso diario. Por otro lado, si la granja porcina, quisiera aprovechar este biogás para la preparación de los concentrados (con dos mezcladoras), requeriría una planta de 30 kW; esto sería 1,03 horas de uso diario.

Ambas fincas generarán el mismo ahorro (30,8  $kWh^{-1} \times \$0,19/kWh^{-1} = \$5,9/día$ ), pero la granja lechera se verá con ventaja, pues su inversión es menor que en la granja porcina (la planta de 16 kW es menos costosa que la planta de 30 kW).



Lo importante aquí es realizar un análisis, para determinar la menor planta permisible, pero que represente el mayor ahorro. Es posible que la granja porcina, reemplace la electricidad de solamente una de sus mezcladoras, con una planta de menor capacidad, pero con el mismo ahorro económico diario.

#### 4. Costo de la electricidad

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), es una institución costarricense con el mandato legal de proveer la energía eléctrica, que, junto con las empresas intermediarias, realizan el cobro de electricidad por dos factores: a) el consumo de kWh<sup>-1</sup>, el cual tiene un costo promedio de \$ 0,19/kWh<sup>-1</sup> (máximo: \$0,23/kWh<sup>-1</sup>; mínimo: \$0,14/kWh<sup>-1</sup>); b) la potencia, la cual es un cobro adicional para aquellas industrias que excedan un consumo de los 3000 kWh-1/mes. Este recargo es de un promedio de \$15,93/kW de potencia (máximo: \$20,46/kW; mínimo: \$14,08/kW). Esta diferencia de potencia, puede significar fácilmente un 50% de la factura eléctrica (ICE, 2009).

Lo anterior resume, que en aquellas granjas, en las que el recibo eléctrico exceda entre los 290.000 a los 460.000 (\$532 a \$844), es probable que se esté facturando no solo el consumo de electricidad, sino también la potencia (esto se puede revisar, viendo el consumo de kWh-1/mes, en el recibo).

¿Por qué es esto relevante? Tomando como ejemplo, una granja que consuma 3.100 kWh<sup>-1</sup>/mes y tenga un pico de potencia 15 kW, en promedio, estaría pagando cerca de los 445.000 (\$817). Si se implementara un sistema de biodigestión, en el que se logre producir solamente 200 kWh<sup>-1</sup>/mes (esto se logra con 6 m<sup>3</sup> de biogás por día), su recibo eléctrico no solo disminuye \$38 (200 kWh<sup>-1</sup> × \$0,19 kWh<sup>-1</sup>); pero dado que su consumo es ahora menor de 3000 kWh<sup>-1</sup>, se dejaría de cobrar potencia, lo que representa cerca de \$239/mes. Por tanto, el ahorro sería de \$277 mes (\$3.324/año).

En fin, el costo de la electricidad, vinculado al consumo tendrá un efecto en

la rentabilidad del proyecto. También se debe considerar que en cada región del país el costo de la misma (tanto por consumo como por potencia) varía según el "distribuidor". Otro factor importante es que el potencial incrementa el costo de la electricidad, a lo largo del tiempo. Algunos pronostican que para el 2012 vendrá una nueva crisis energética, debido a la falta de petróleo; se estima que el costo del barril podría alcanzar hasta los \$180/barril; esto obviamente aumentará el precio de la electricidad.

#### 5. Distanciamiento entre la fuente de biogás y el uso de la electricidad

El distanciamiento entre el digestor anaeróbico (que produce el biogás) y el sitio donde se planea utilizar la electricidad, aunque no es un problema técnico (dado que se puede solucionar transportando el biogás o la electricidad), si tiene una repercusión sobre los costos del proyecto y por tanto en su rentabilidad.

Es posible instalar el generador cerca del biodigestor y llevar la electricidad hasta donde se requiera. Sin embargo,

cuanto más distancia, mayor será la caída de voltaje y el costo del cableado eléctrico, por lo que en algunas ocasiones es más económico transportar el biogás. Se puede llevar por tubería de PVC y utilizar un soplador para aumentarle presión y flujo, hasta el generador; el cual estaría ubicado lo más cercano posible al uso de la electricidad. También se puede considerar la posibilidad de transportar el biogás a flujo natural (flujo dado por la presión interna del biodigestor) e instalar un reservorio más cerca de la planta.

La experiencia ha enseñado, que en la mayoría de los casos, es más económico hacerlo por tubería hasta la planta, ubicada cerca del uso, que viceversa. En términos generales, es más práctico (técnica y económicamente), si el biodigestor se instala lo más cerca posible de la planta, pues facilita el manejo del encendido y apagado.

#### 6. Eficiencia del generador eléctrico

Finalmente, la eficiencia de una planta es el porcentaje (o fracción) de la energía en forma de metano (kwh<sup>-1</sup> total), que recibe en el biogás, y la



Figura 5. Planta eléctrica para biogás Marca GENERAC®.

energía que puede entregar en forma de electricidad. En otras palabras, la eficiencia de la planta es su capacidad de transformar la energía del biogás en electricidad. (House, 1978).

Un motor de combustión interna de chispa (no de diesel) tiene una eficiencia de 25-35%. Entre más grande la potencia de planta, mayor su eficiencia. Adicionalmente, una planta utilizada a plena carga (a su máxima capacidad), tiene mayor eficiencia que una que se utilice a 50% (disminución de 30% a 22,5%) (House, 1978). El sobredimensionar el tamaño de una planta (y por ende utilizarla a menor carga) tendrá grandes repercusiones sobre la eficiencia del equipo (Walsh, 1988).

Las distribuciones de la energía en un motor de combustión interna de chispa son (House, 1978):

**Electricidad: 33%**

Fricción: 9%

Sistema de enfriamiento: 27%

Calor del escape: 28%

Pérdida de radiación: 3%

**Total = 100%**

La importancia de la eficiencia de una planta está en la cantidad de electricidad que se puede producir por volumen de biogás. En nuestras realidades, la generación de biogás es muy ajustada; en otras palabras pocas granjas podrán abastecer con biogás el 100% de ahorro eléctrico. Dado lo anterior, la eficiencia de una planta es sumamente importante. Por ejemplo, una granja que produce 15 m<sup>3</sup> de biogás al día, puede convertirlo en 18,45 kWh<sup>-1</sup> (30% eficiencia) o en 12,3 kWh<sup>-1</sup> (20% eficiencia), lo que representa una diferencia de casi 2.245 kWh<sup>-1</sup> (\$427), al año. El Programa Agroambiental de Dos Pinos, realizó mediciones de eficiencia con una planta Generac® y determinó alrededor de 25% de eficiencia (Figura 5).

Por tanto, las modificaciones caseras de motores y la implementación de generadores para utilizar biogás deberían

hacerse por un profesional capacitado, a fin de medir la eficiencia del equipo. Un equipo con eficiencias menores a un 20% (aunque el biogás sea "gratis"), producirá muy poca energía eléctrica como para pagar la inversión.

La eficiencia de una planta se verá afectada, entre muchos factores, por: la relación aire/combustible (Stone, 1999), ajuste en el tiempo de explosión, tamaño y tipo de bujía, entre otros (Gill, 1971; mencionado en Walsh, 1988). Por ello, es recomendable adquirir plantas, con garantía de funcionamiento con el biogás que se genere en la granja (variación por la concentración de CH<sub>4</sub>), además de la altitud de la granja.

#### Conclusiones

- La ciencia y tecnología hacen posible que sea técnicamente factible la conversión de biogás en electricidad.
- La rentabilidad económica de un proyecto para la generación de biogás y su conversión en electricidad, se ve afectado por seis factores, los cuales deben ser analizados en cada granja. En términos generales, se estima que con 700 kg de excreta diaria (o más), el proyecto tendrá un tiempo de retorno menor a cinco años.
- Es esencial, asesorarse correctamente para la implementación de un proyecto de este tipo, para asegurar el funcionamiento y la rentabilidad. Cada proyecto generará aprendizaje y es importante aprovecharlo para no cometer los mismos errores.
- La limpieza del biogás es importante para garantizar la vida útil de la planta.
- Se sugiere que la planta a utilizar, sea una planta diseñada para biogás y con una alta eficiencia garantizada.
- En caso de establecerse un proyecto de digestión anaeróbica, con aras de aprovechar el biogás, se deben instalar los biodigestores, lo más cerca posible de la planta.



#### Bibliografía

Amend, J.; Mundy, B.; Arnold, M. 1993. General, organic and biological chemistry. 2 ed. United States of America. 876 p.

GTZ (Gesellschaft für technische Zusammenarbeit, (DE). 1998. Biogas basic. eschborn (DE), GTZ. 45 p.

House, D. 1978. The complete biogas handbook. Oregon, USA. 403p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad). 2009. Plan de expansión de la generación eléctrica. San José, C.R., Dirección del Centro de Planificación Eléctrica. 20 p.

Reith, JH.; Wijffels, RH. y Barten, H. (eds). 2003. Bio-methane and biohydrogen: status and perspectives of biological methane and hydrogen production. Netherlands, Dutch Biological Hydrogen Foundation. 168 p.

Stone, R. 1993. Introduction to internal combustion engines. 3 ed. Estados Unidos de America. Department of Engineering Science; University of Oxford. 641 p.

Walsh, J.; Roos, C.; Smith, M.; Harper, S.; Wilkins, A. 1988. Handbook on biogas utilization. USA. Environment, Health and Safety division Georgia Tech Research Institute. 133 p.