

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS Y FERTILIZANTE ORGÁNICO

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DIGESTER FOR BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZER GENERATION

Oswaldo Manuel Nuñez Bosch^{1}*

¹ Universidad de Guantánamo. Facultad de Ingeniería y Ciencias Técnicas de la Educación.
Departamento de Energía y Tecnologías de Avanzada. Ave. Ernesto Che Guevara, km 1 ½ Carretera
Jamaica. Guantánamo, Cuba.

Recibido: Diciembre 2, 2016; Revisado: Diciembre 23, 2015; Aceptado: Enero 26, 2016

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados del diseño y construcción de una planta de biogás de cúpula fija para el tratamiento de los residuales porcinos a través de la digestión anaeróbica. Se describe la metodología para el cálculo de las dimensiones del digestor de biogás, el cual permite procesar 200 kg/día de excretas, con lo cual se obtienen 6,1m³/día de biogás y 3,4 t/año de abono orgánico. Se detallan los elementos que conforman la planta y los materiales de construcción empleados. El biogás se utiliza para la cocción de alimentos con lo cual se sustituye el uso de la leña y el gas licuado de petróleo (GLP), con el abono orgánico producido cada mes se fertilizan 0,72 ha/año de tierra cultivable, con lo cual se protegen los suelos y se le restituye la fertilidad a los mismos. Se ha estimado un incremento de la producción agrícola en un 10% como resultado del uso del biofertilizante, especialmente para los vegetales, en otros cultivos el incremento ha sido inferior. El flujo de fondos económicos otorga un VAN positivo de 43 634,89 CUP, a una tasa de descuento del 10%, junto a una TIR de 30%, y el periodo de recuperación de la inversión resultó de 3,72 años.

Palabras clave: biogás, biofertilizante, impacto ambiental, análisis económico.

Copyright © 2016. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Oswaldo M. Nuñez, Email: onbosch@cug.co.cu

ABSTRACT

In the present work the design and construction of a fixed dome biogas plant for the treatment of pig droppings through anaerobic digestion is shown. The methodology to calculate the dimensions of the plant is described; the plant is able to process 200 kg/day of dung, and 6,1 m³ of biogas and 3,4 t/year of fertilizer are obtained. The elements of the biogas plant and constructing materials are specified. The biogas is used for cooking foods which substitute firewood and petroleum liquefied gas (PLG), with the compost produced every month 0,72 ha/year of soil is fertilized, protecting it from erosion and giving it back the fertility. It has been estimated that agricultural production raised 10% due to organic fertilizer application, especially vegetables; in other agricultural crops the increment has been lower. The cash flow methodology gave up a positive net present value (NPV) of 43 634,89 CUP at a discount rate of 10%, internal rate of return (IRR) of 30%, and payback period of 3,72 years.

Key words: biogas, bio-fertilizer, environmental impact, economic analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La crianza porcina es una actividad de gran importancia para la alimentación de la población en Cuba por la diversidad de productos alimenticios que se pueden obtener del cerdo. No obstante, esta actividad genera desechos agresivos para el medio ambiente que pueden conllevar a daños irreversibles en los ecosistemas si los mismos no tienen un sistema de tratamiento apropiado, también la salud de los seres humanos puede verse afectada como consecuencia de una deficiente deposición de los residuos generados por esta actividad productiva.

Los principales impactos ambientales en función del medio afectado están referidos al causado a la atmósfera: emisión de olores, liberación de gases con efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, llegada de microorganismos mediante bioaerosoles, etc. Impacto en el agua: contaminación de aguas subterráneas y superficiales por compuestos orgánicos e inorgánicos, tanto por lixiviación, como por vertido o escorrentías, contaminación biológica, eutrofización de ecosistemas acuáticos, etc. Impacto en el suelo: contaminación por componentes orgánicos e inorgánicos de las deyecciones, degradación por salinización o por desestabilización de su estructura, contaminación microbiana, parasitaria, etc. Impacto en los alimentos: contaminación microbiológica de productos para consumo humano o animal por contacto directo o indirecto con gérmenes procedentes de las deyecciones (Dido y col., 2013) y (Ray, et al., 2013).

Las plantas de biogás, como tecnología para el tratamiento de residuales orgánicos, se ha ido extendiendo a diversos sectores productivos del país, especialmente en el sector campesino; sin embargo, muchas de las instalaciones que se construyen carecen de un análisis previo de viabilidad económica. Aún y cuando la opción de construir una planta de biogás resulte ventajosa en términos de reducción de impactos ambientales, también lo debe ser económicamente (Ricardo y col., 2011), pues la valoración económica puede arrojar resultados diferentes para la concepción de plantas de una misma capacidad ubicadas en lugares diferentes, es decir, en la viabilidad económica para la construcción

de plantas de biogás influye la ubicación del lugar con respecto a las fuentes de suministro de materiales de la construcción, condiciones meteorológicas del lugar, geología del suelo donde se instalará la planta, entre otras.

Muchas de las valoraciones económicas se observan en instalaciones medianas y grandes (Ricardo y col., 2011), especialmente por el monto de la inversión, no obstante, la realización de evaluaciones económicas a tales instalaciones, independientemente de la capacidad, constituye un imperativo para la toma de decisiones y elemento motivador para constatar la viabilidad de las fuentes renovables de energía. El objetivo de la investigación consistió en realizar una valoración económica y medioambiental para fundamentar, desde esta óptica, los beneficios que se obtendrían a partir de la construcción de una planta de biogás de cúpula fija.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño del biodigestor se requiere de los siguientes pasos: (a) definición de la carga orgánica, (b) cantidad de agua de mezcla, (c) determinación de la producción de biogás, (d) determinación del tiempo de retención, (e) determinación de las dimensiones del biodigestor y (f) dimensionado del tanque de compensación y del colector de gas (Domínguez y Ly, 2004) y GTZ-CVC-OEKOTOP (1987).

Se seleccionó un área de 50 m² ubicada en las cercanías de la fuente de suministro de la carga orgánica. Para estimar la producción diaria de residual se consideró el número total de cabezas de cerdos, clasificados en cerdos de ceba (130), cerdos de cría (10) y verracos (6). Para cada clasificación se consideró el peso vivo, y se estimó la cantidad de residual generado equivalente al 2% del peso total de la masa porcina Guevara (1996). La cantidad de residuos generados resultó de 123,6 kg/día.

La mezcla para alimentar un digestor debe tener entre el 7 y 9% de sólidos, Guevara (1996) y (Olaya y González, 2009). Para lograr una mezcla con tales proporciones de sólidos, de un 8% en este caso, se debe considerar el contenido de humedad de la excreta porcina (87%) y se determina la cantidad de agua necesaria a emplear para lograr una dilución con el contenido de sólidos deseados. La cantidad de agua requerida fue de 77,25 kg/día, con lo cual se obtiene una mezcla orgánica diaria de 200,85 kg/día.

Para determinar la producción de biogás se necesita conocer el porcentaje de sólidos totales (%ST), para la excreta porcina es de 13%, Tabla 1, y el porcentaje de sólidos volátiles del residual (%SV), con un valor de 85%, Tabla 1; donde, los sólidos totales se definen como el peso seco de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105 °C, mientras que los sólidos volátiles se definen como la porción de los sólidos totales que son volatilizados a 550 °C (Duque et al., 2006). La producción de biogás depende también del tiempo de retención y de la temperatura del efluente dentro del digestor. Se tomó un tiempo de retención de 40 días, y para una temperatura de 45 °C la producción específica de biogás es de 0,38 m³/kg_{ST} GTZ-CVC-OEKOTOP (1987). Atendiendo a la producción específica de biogás, entonces la producción total a producir en la planta es de 6,1 m³/día.

Tabla 1. Valores en porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles (Domínguez y Ly, 2004) y (Duque et al., 2006)

<i>Materia orgánica</i>	<i>%Sólidos totales (% ST)</i>	<i>%Sólidos volátiles (% SV)</i>	<i>%Nitrógeno (N)</i>	<i>% Carbono (C)</i>	<i>Relación C/N</i>
Aves	35,0	65,0	6,3	94,5	15,0
Bovinos	14,0	80,0	1,7	30,8	18,0
Cerdos	13,0	85,0	3,8	76,0	20,0
Agrícola	37,0	63,0	1,2	90,0	75,0
Humana	27,0	92,0	6,0	50,0	8,0

El dimensionado del biodigestor comprendió el cálculo del volumen de compensación, el volumen de la cúpula y el volumen de almacenamiento del gas. Para ello se empleó la metodología descrita en la literatura consultada GTZ-CVC-OEKOTOP, (1987) y (Duque et al., 2006). La selección del resto de los elementos del sistema: tuberías de carga y descarga, tanque de mezcla, depósito de descarga del biofertilizante, tuberías para el gas y trampa de agua se realizó de acuerdo con los estándares (Duque et al., 2006) y (Hogan et al., 2007). Conocidas las dimensiones fundamentales de la planta de biogás se calculó la cantidad de materiales necesarios para efectuar su construcción. Se realizó la comprobación de resistencia de la estructura de la planta (Olaya y González, 2009). Para el análisis ambiental se tuvo en cuenta la cantidad de material que se deja de verter a la laguna de oxidación con el consiguiente riesgo de afectar la cuenca hidrográfica y las aguas subterráneas.

Para la valoración económica se tuvo en cuenta el ahorro que representa el uso del biogás en la sustitución del GLP y la leña, el ahorro económico estimado es del orden de los 11 520,0 CUP/año, considerando los precios actuales del GLP en la red minorista. Se estimó la producción de biofertilizante a partir del uso diario de la materia orgánica y se valorizó atendiendo a los precios del fertilizante químico que se comercializa en el mercado nacional. Para la determinación del valor actualizado neto (VAN) se asumió una vida útil de la tecnología de 15 años, una tasa de interés del 10% y gastos de mantenimiento y operación de la planta en la vida útil de la misma. Se estimó la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación de la inversión teniendo en cuenta los aspectos antes relacionados (Singh y Sooch, 2004).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis ambiental

El proyecto contribuye a preservar y mejorar la calidad del medio ambiente. Esto es porque, alrededor de 200 kg/día de excreta porcina y orina, que son altamente contaminantes, entran en un proceso mediante el cual se transforman en biogás para luego ser utilizado este en la cocción de alimentos, produciendo también biofertilizantes, y de esta manera no son desechadas al ambiente evitando la contaminación tanto del aire como del suelo. También se protege la salud de los trabajadores y de los miembros de la familia de la finca, al igual que se eleva la calidad de vida de esta última al sustituir combustible fósil (GLP) por energía renovable

(biogás) y se elimina el uso de la leña, elemento que contribuye a reducir la deforestación en una zona de elevada fragilidad ecológica.

El procesamiento del afluente produce 0,405 m³/día de lodos digeridos (efluente) con los cuales se obtienen 0,77 kg/mes de nitrógeno (N), 0,14 kg/mes de fósforo (P) y 1,42 kg/mes de potasio (K). Con el abono orgánico producido cada mes se pueden fertilizar 600 m² (0,72 ha/año) de tierra cultivable, con lo cual se protegen los suelos y se le restituye la fertilidad a los mismos. La planta de biogás genera 9,32 kg/día de abono orgánico sólido y 176,98 kg/día de abono líquido, Figura 1.



Figura 1. Planta de biogás en operación, se muestra la salida del efluente que es utilizado como biofertilizante en la finca

3.2. Dimensiones de la planta de biogás

De acuerdo con los resultados del dimensionado, la planta de biogás posee un volumen de 27,0 m³ para la sección del digester, 8,22 m³ para la cúpula fija y 0,12 m³ para el colector de gas. La Figura 2 muestra la sección transversal de la planta.

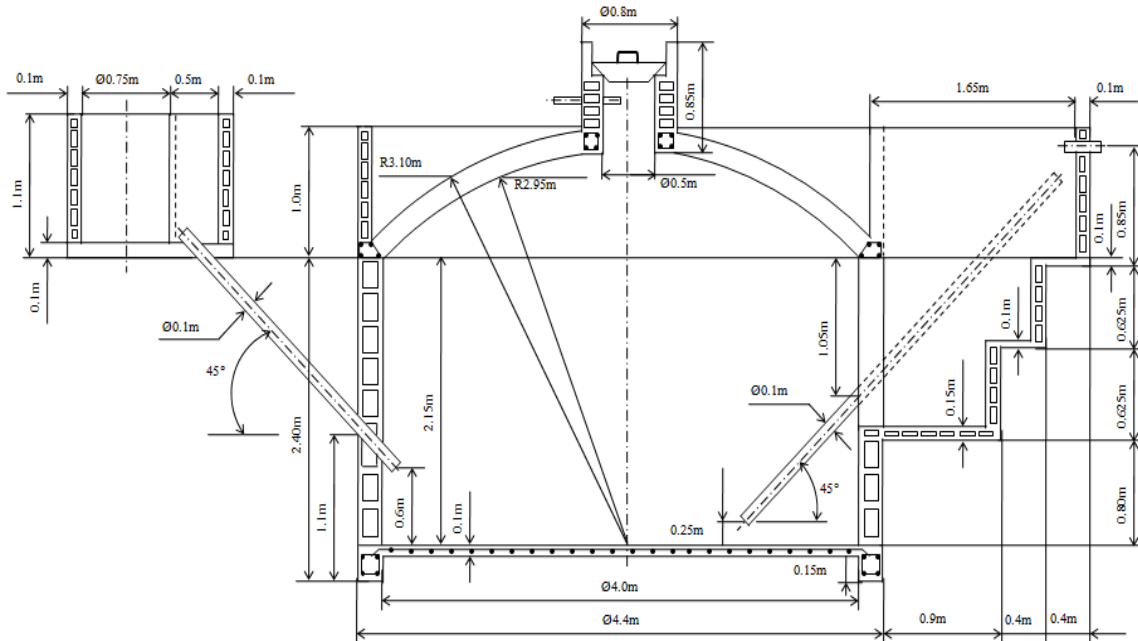


Figura 2. Sección transversal de la planta de biogás

3.3. Estudio mecánico

Mediante una adecuada dosificación de los agregados para construir la losa de hormigón, y unido a la estructura metálica que debe tener la misma se debe alcanzar una resistencia a 15 MPa, para que sea resistente a la compresión a que estará sometida la losa y además de garantizar la impermeabilidad. En tal sentido el material sometido a la degradación en el digestor, ejerce una presión de $\sigma_c=370,1$ kPa por lo que la losa estará sometida a un esfuerzo de compresión muy inferior a su resistencia.

La cimentación del digestor, la cual es circular, garantiza una resistencia a 20 MPa, la misma soporta la mayor parte de la estructura del biogás; muro cilíndrico, cúpula, colector de gas, paredes del tanque de compensación y masa del sustrato contenido en este último, Figura 3.

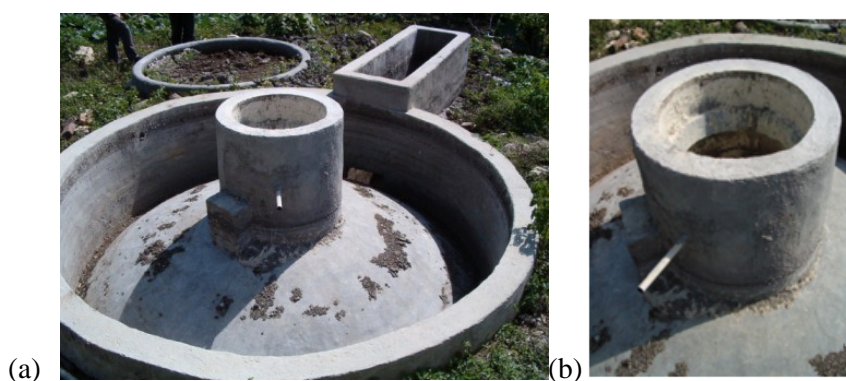


Figura 3. Fotos de la terminación de la planta.

(a) Cúpula y pared circular del tanque de compensación.

(b) Colector de gas y sección de tubería rígida para la conexión de la tubería flexible

En su conjunto, los elementos anteriores producen un esfuerzo de compresión sobre la cimentación de $\sigma_c=9,2$ MPa, por lo que la estructura soporta el esfuerzo de compresión al cual será sometido. La viga de cerramiento del muro cilíndrico también ofrece estabilidad y resistencia a la estructura del biodigestor.

La pared interna del digestor garantiza una resistencia adecuada a la compresión, flexión y pandeo, con valores admisibles de carga de 20, 15 y 20 MPa respectivamente. El líquido en el digestor produce un esfuerzo sobre el fondo de la pared equivalente a 23,2 kPa, el cual es muy inferior al valor admisible del muro cilíndrico. La cúpula, la pared del tanque de compensación y el líquido sobre la cúpula producen un esfuerzo de 3,2 MPa, inferior a los 20 MPa que garantiza la viga de cerramiento. El resto de los elementos de la planta de biogás no están sometidos a esfuerzos considerables que amerite la comprobación mecánica de su estructura, Figura 4. Para la circulación del gas hasta el consumidor la siguiente condición debe cumplirse: $L_{\max} < 0,95P_{\max}$ (L_{\max} =distancia máxima en metros; P_{\max} =presión máxima mmH₂O) (Domínguez y Ly, 2004). En este sentido la distancia del digestor a la vivienda es de 40 m y la presión del gas se estima en 824,4 mmH₂O. Por tanto se cumple con este requisito ($40 < 783,2$).



Figura 4. (a) Cabina de acceso al digester y comunicación con el tanque de compensación. (b) Conexión de la tubería flexible, tanque de mezcla, digester y tanque de descarga al fondo.

3.4. Estudio económico

El análisis económico del proyecto se realizó a partir de la mejora que se introduce en la finca teniendo en cuenta el uso del biogás como combustible para la cocción de alimentos y el uso del abono orgánico para fertilizar las tierras cultivables. El uso de GLP y leña se sustituyen por el biogás, con ello se logra un ahorro económico de 11 520,0 CUP/año, teniendo en cuenta los precios actuales del GLP en la red minorista. La producción de 3,4 t/año de abono orgánico o biofertilizante propicia un ahorro neto anual de 894,94 CUP. Los costos se consideran como las deducciones y desembolsos causados, primeramente, por la inversión inicial, los costos de explotación y el mantenimiento y reparaciones de la planta de biogás. En este caso la inversión asciende a 33 967,15 CUP, la cual corresponde a materiales de la construcción, tuberías, accesorios, entre otros, los costos de explotación se pueden considerar en unos 1 500 CUP/año, incluyendo los gastos de salario, en este sentido resultan bastante bajo atendiendo a que los miembros de la familia serán los principales operadores de la planta con una pequeña intervención de los trabajadores contratados en la finca. En la vida útil de la planta se estimaron inversiones de 5 000 y 6 000 CUP en los años 5 y 10 respectivamente para el mantenimiento y reparaciones profundas. Considerando una tasa de interés del 10% el análisis financiero arroja un VAN para el proyecto de 43 634,89 CUP lo que indica la utilidad neta en el periodo que se analiza y una TIR del 30%, la cual expresa una buena rentabilidad para el proyecto. La inversión total del proyecto se recupera en 3,72 años.

4. CONCLUSIONES

1. Con la instalación de la planta de biogás se ha logrado preservar y mejorar la calidad del medio ambiente en la granja. Esto se debe a que alrededor de 200 kg/día de excreta porcina y orina, que son altamente contaminantes, entran en un proceso anaeróbico el cual se transforman en biogás para luego ser utilizado este en la cocción de alimentos, produciendo también biofertilizantes en una cantidad de 9,32 kg/día de abono orgánico sólido y 176,98 kg/día de abono líquido.

2. El uso de GLP y leña se sustituyen por el biogás, con ello se logra un ahorro económico de 11 520,0 CUP/año y el abono orgánico o biofertilizante propicia un ahorro neto anual de 894,94 CUP.
3. El análisis financiero arroja un VAN para el proyecto de 43 634,89 CUP lo que indica la utilidad neta en el periodo que se analiza y una TIR del 30%, la cual expresa una buena rentabilidad para el proyecto. La inversión total del proyecto se recupera en 3,72 años.
4. Se han mejorado sustancialmente las condiciones de cocción para la mujer en el hogar teniendo en cuenta la eliminación del uso de la leña como combustible. Se ha observado además una mejora en la producción agrícola en un 10% para los vegetales dado el uso del abono orgánico obtenido en la planta de biogás.

REFERENCIAS

- Dido C., Mieres, F., Rinaldi, G., Benedetti P., y Campaña, H., Evaluación técnico económica del tratamiento anaeróbico de los efluentes de un tambo de la provincia de Buenos Aires, Argentina., *Avances en Ciencias e Ingeniería*, Vol. 4, No. 4, Octubre/Diciembre, 2013, pp. 65-74.
- Domínguez, P. L., y Ly, J., Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. Sistemas integrados de producción con no rumiantes., Instituto de Investigaciones Porcinas, La Habana, Cuba, 2004, pp. 34-43.
- Duque, C., Galeano, C., y Mantilla, J., Plug flow biodigester evaluation., *Livestock Research for Rural Development*, Vol. 18, No. 04, 2006, Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd18/4/duqu18049.htm>.
- GTZ-CVC-OEKOTOP, Difusión de la tecnología del biogás en Colombia., Documentación del Proyecto, Cali, Colombia, 1987, pp. 1-139.
- Guevara, V.A., Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales., Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, OPS/CEPIS, Lima, Perú, 1996, pp. 1-80.
- Hogan, J., Smith, K., Howard, S. y Heimlich, J., Newsprint bedding for dairy cattle, Ohio Agricultural Research and Development Center, The Ohio State University, 2007, Disponible en: <http://ohioline.osu.edu/cd-fact/0127.html>.
- Olaya, A. Y. y González, L., Fundamentos para el diseño de biodigestores., Facultad de Ingeniería y Administración., Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Julio 2009, pp. 1-32.
- Ray, N.H.S., Mohanty, M.K., Mohanty, R.C., Biogas as Alternate Fuel in Diesel Engines: A Literature Review., *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 9, No. 1 (Sep – Oct), 2013, pp. 23-28.
- Ricardo, G. C., Esperancini, M., y Bueno, O., Viabilidad Económica de la Utilización de Biogás para la Conversión en Energía Eléctrica., *Información Tecnológica*, Vol. 22, No. 4, 2011, pp. 3-14.
- Singh, K.J., and Sooch, S.S., Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India. *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, No. 3, 2004, pp. 1329–1341.