

Estudio de factibilidad para la implementación de una planta generadora de energía eléctrica en la UNAH, utilizando celdas de combustible a base de gas metano

Dennis A. Rivera *
Juan F. Méndez *
Leonardo Herrera *

RESUMEN

El presente trabajo, surge como una necesidad dada la crisis energética que atraviesa el sector eléctrico hondureño debido al elevado costo del petróleo, la falta de generación de energía eléctrica en base a recursos renovables y al considerable derroche de energía eléctrica, lo que causa la excesiva demanda energética de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) hacia la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). El estudio se basó en determinar la factibilidad técnica de implementar una central generadora DFC300MA, fabricada por la compañía Fuel Cell Energy, la cual cuenta con una capacidad de generación de 300 kW. El combustible requerido para alimentar dicha planta se conoce como biogás; el cual en su mayoría está compuesto de gas metano (CH₄). Este se planeó obtener a partir de la basura y las aguas residuales desechadas en la Ciudad Universitaria; para ello se hace necesaria la implementación de biodigestores.

Finalmente se determinó, que un proyecto de este tipo no resulta factible de implementar en la Ciudad Universitaria; debido a que la cantidad de basura disponible (4.5 Toneladas diarias) y las aguas residuales (50m³ por hora), propias de la universidad, sólo podrían generar 31.25Kw de los 300Kw que puede generar la planta; lo cual representa una mala inversión y al mismo tiempo no se cumple con la demanda energética establecida. De igual forma, se analizó la implementación de un proyecto de este tipo aplicado al basurero municipal de Tegucigalpa; resultando que es posible generar 5.5Mw de potencia; lo que resultaría una valiosa contribución

*Dennis A. Rivera, dealriv@yahoo.com

Profesor de la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

*Juan F. Méndez, estudiante egresado, en proceso de obtención del título de ingeniero electricista industrial de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH.

*Leonardo Herrera, estudiante egresado, en proceso de obtención del título de ingeniero electricista industrial de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH.

A la reducción de la creciente demanda energética que enfrenta la ENEE.

Palabras Clave: *Energía eléctrica, Recursos renovables, Tratamiento de desechos y Biogás*

ABSTRACT

The present work arises as a need given the energy crisis in the electrical sector of Honduras due to high oil prices, lack of generation of electrical energy from renewable resources and the considerable energy expenditure because of the energy demand of the National Autonomous University of Honduras (UNAH) from the National Enterprise of Electrical Energy (ENEE). The study was based on determining the technical feasibility of implementing a DFC300MA generator, made by the Fuel Cell Energy company, which has a capacity to generate 300 KW. The fuel required for this generator is known as biogas; which is mainly composed of methane (CH₄). The methane will be obtained from the garbage and hard water (Sewage) from the university campus; in order to do this, biodigestors must be implemented.

Finally, it was determined that a project of this kind is not feasible at the University Campus because the amount of garbage available (4.5 tons daily) and the hard waters (50m³ per hour) could only generate 31.25 Kw of the 300 Kw the generator can produce, which is not only a bad investment in terms of equipment but also does not fulfill de energy demand of the UNAH. The implementation of a project of this kind applied to the municipal Dump of Tegucigalpa was also analyzed. It turned out that it is feasible to generate 5.5 Mw of power, which would result in a valuable contribution to the energy supply problems the ENEE is facing.

Keywords: *electricity, renewable resources, biogas, waste managment*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un estudio para determinar la factibilidad técnica de implementar un proyecto de generación de energía eléctrica en base a celdas de combustible alimentado con biogás (metano). Se presenta la descripción de una celda de combustible, los tipos y aplicaciones de cada una, continuando con desglose de términos y aspectos de importancia como son biogás, biodigestores, plantas para tratamientos de aguas residuales y culminando el trabajo con un análisis de factibilidad técnica, con el cual se determinará si resulta conveniente o no, la implementación de este tipo de proyectos, lo que resulta en beneficio para toda la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

1. ¿Qué es una celda de combustible?

Una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrolito. Oxígeno pasa sobre un electrodo e hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrolito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor **Fig.1**. Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil.

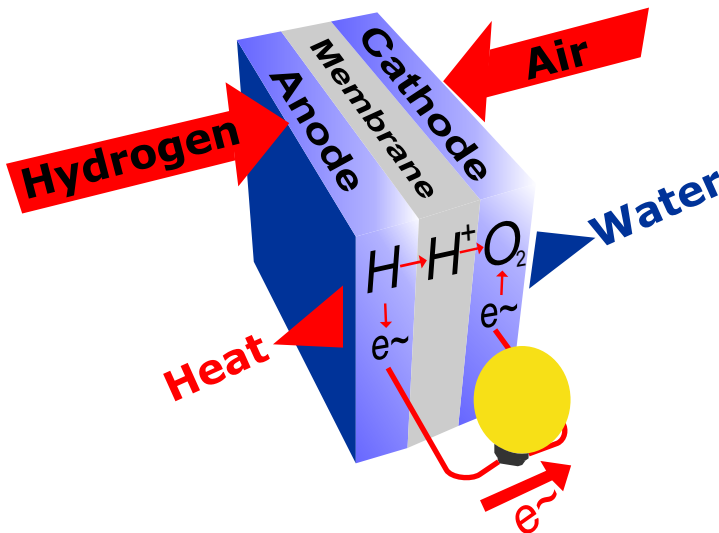


Fig.1. Funcionamiento de una celda de combustible.

2. Tipos de celdas de combustibles

Las celdas de combustible son en realidad una familia de tecnologías que usan diferentes electrólitos y que operan a diferentes temperaturas; su clasificación es la siguiente:

- Ácido Fosfórico (PAFCs)
- Polímero Sólido ó Membrana de Intercambio Protónico (PEM)
- Carbonato Fundido (MCFCs)
- Óxido Sólido (SOFCs)
- Alcalinas
- Metanol Directo (DFC)

3. ¿Que tipo de combustibles pueden usarse en celdas de combustible?

Las celdas de combustible permiten promover una diversidad de energía y una transición hacia fuentes de energía renovables. Así, una variedad de distintos combustibles pueden ser usados en estas, combustibles tales como hidrógeno (Fig.2), Biogás (metano), etano, gas natural así como gas licuado (LPG). La energía también podría ser provista a partir de biomasa, sistema eólico ó bien solar.

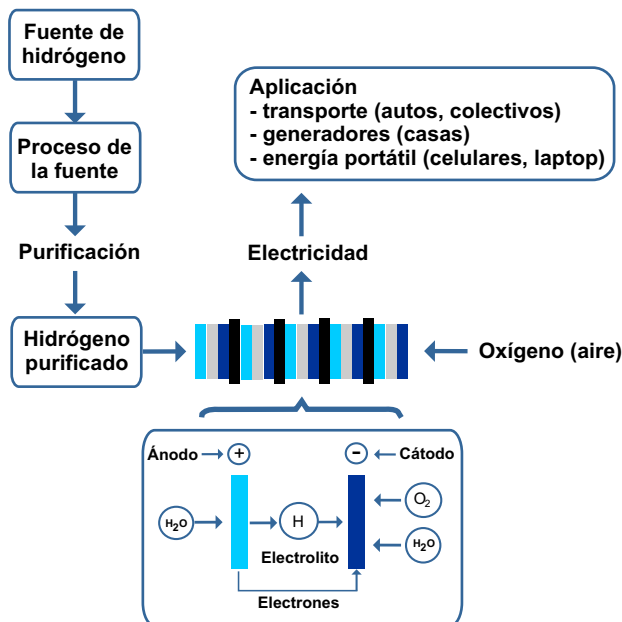


Fig. 2 Celda de combustible alimentada con hidrogeno y aplicaciones

4. Distintas formas de obtención de hidrógeno

El hidrógeno es un combustible que no se encuentra en su estado natural. No obstante puede obtenerse a partir de gas natural o de biogás, Por lo tanto, es un combustible de los llamados secundarios. El hidrógeno utilizado en las celdas de combustibles puede obtenerse de varias formas, empleando diversos equipamientos y combustibles. (Fig.3).

- *A partir del agua y una fuente de calor electricidad*
- *A partir del agua y la energía solar*
- *A partir de metano*

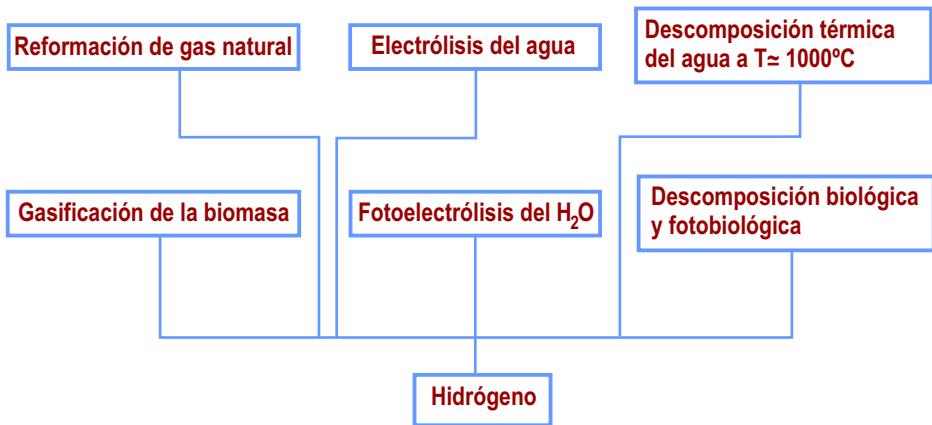


Fig.3 Obtención de hidrógeno

5. ¿Qué es el biogás?

El biogás es un gas producido por bacterias durante el proceso de biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire). La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. El metano, **Tabla 1**, producido por bacterias es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

Tabla 1. Composición de biogás

Componentes	Biogás
Metano (CH ₄)	50-70
Etano (C ₂ H ₆)	0
Propano (C ₃ H ₈)	0
Butano (C ₄ H ₁₀)	0
Dióxido de carbono (CO ₂)	25-45
Hidrógeno (H ₂)	1-10
Nitrógeno (N ₂)	0,3-3
Oxígeno (O ₂)	0-2
Poder calorífico (PCS base seca)	20-24 MJ/Nm ³
Componentes traza	
<i>Compuesto de azufre</i>	0-200 mg/Nm ³
<i>Componentes clorados</i>	0-50 mgC ₁ /Nm ³

6. Factores asociados a la generación de biogás

Los principales factores que influyen sobre la producción de biogás en el tiempo son: Cantidad, calidad y edad de los desechos dispuestos. Después de un incremento rápido, la producción de 1 m³ de biogás disminuye regularmente. Según los tipos de desechos, se consideran tres tipos de velocidad de degradación del carbono:

- *Degradación rápida*; desechos vegetales y alimenticios, 1.5 a 2 años;
- *Degradación media*; desechos vegetales y alimenticios, 5 a 10 años;
- *Degradación lenta*; cartón, madera, cuero, 10 a 20 años o más

Según la composición media de los desechos, se puede estimar la degradabilidad media del carbono, según las siguientes consideraciones:

- Agua
- Temperatura
- Productos químicos

7. Substratos para la producción de biogás

El sustrato es el material de partida en la producción de biogás. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Sin embargo,

sólo algunos pueden ser utilizados como sustratos en plantas de producción sencillas. Excremento y orina de vacas, cerdos y posiblemente aves de corral son algunos ejemplos. A veces, también pueden usarse los desperdicios de las plantas de producción de alimentos. La máxima producción de gas que se puede conseguir a partir de una cantidad dada de materia prima depende del sustrato que se utilice, ver **Tabla 2**.

Tabla 2 Volumen de biogás generado

Sustrato	Cantidad de biogás a 30°C en l/kg de residuo seco
Estiércol con paja	286
Excrementos de vaca	237
Excrementos de cerdo	257
Agua residual urbana	100

BIODIGESTORES

Un biodigestor es una instalación en la que mediante la descomposición de los desechos sólidos (basura), bajo condiciones anaeróbicas (sin aire), se genera biogás; que como se mencionó anteriormente, se usaría como combustible.

1. Tipos de biodigestores

Según su forma de operación se clasifican en (ver **Fig. 4**):

- Pozos sépticos
- Biodigestor de estructura flexible
- Biodigestor del domo flotante
- Biodigestor de domo fijo
- Relleno sanitario

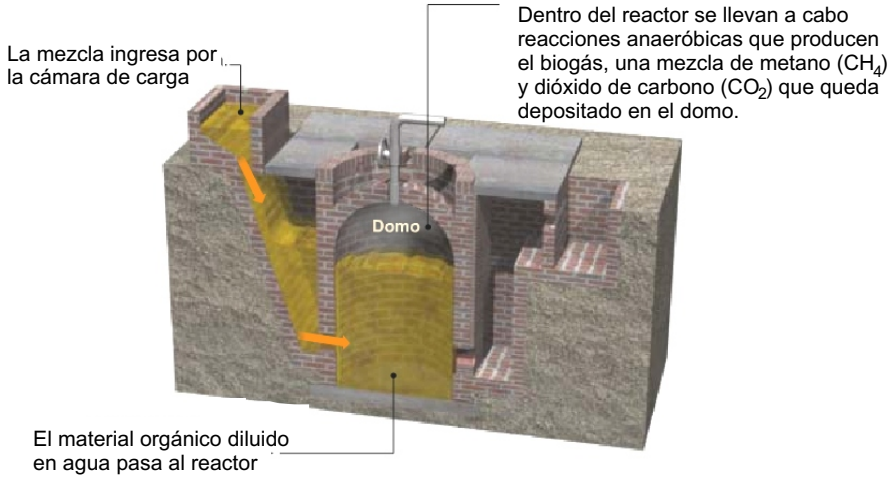


Fig.4 Biodigestor de domo fijo

2. Relleno sanitario

Un relleno sanitario es un gigantesco biodigestor anaerobio que tiene el potencial de producir energía renovable a partir del metano contenido en el biogás. La **Fig. 5** indica la ubicación general típica de los componentes y cobertura de un relleno sanitario. Aquí se esquematizan el transporte de los RSU, las etapas progresivas de relleno y ubicación de las celdas, el drenaje de lixiviados, el equipo de compactación, la cuneta perimetral de escorrentías, la valla perimetral, las teas, los pozos de perforación y la empradización de las zonas clausuradas.

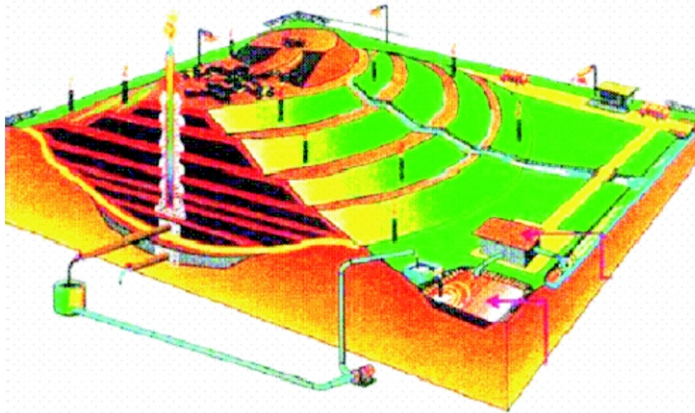


Fig. 5 Relleno sanitario

3. Planta de tratamiento de aguas residuales

El digestor UASB- Los reactores tipo UASB, ver **Fig.6**, son los sistemas de tratamiento anaerobios más difundidos en América Latina y han sido utilizados a partir de 1980 para el tratamiento directo de las aguas residuales domésticas e industriales. De algún modo los UASB, ver Fig.6 Reemplazan en las plantas de tratamiento a los sedimentadores primarios, los sedimentadores secundarios, las lagunas de oxidación y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidos entre el 60 y el 80 % de la DQO y DBO (demanda química y bioquímica de oxígeno), en función de la concentración inicial del agua residual. Adicionalmente las plantas UASB generan 3 subproductos valiosos y comercializables: biogás, lodo estabilizado seco y agua tratada rica en nutrientes.



Fig.6 Planta compacta UASB

CONSUMO DE ENERGÍA EN LA UNAH

Este análisis comprende el estudio de la demanda de la UNAH durante el año 2006 (**Tabla 3**). Puede observarse que el consumo mensual varía, como es de esperarse, debido al calendario académico establecido para un año fijo, ya que en periodos en los cuales no hay clases el consumo se reduce (ver Enero, Junio y Diciembre) y aumenta en los meses calurosos o de mucha actividad académica (ver Mayo y Noviembre).

Tabla 3 Detalle de la facturación mensual de la UNAH (facilitado por la ENEE)

Mes	Consumo kwh
Enero	170,100
Febrero	343,000
Marzo	395,500
Abril	354,900
Mayo	418,600
Junio	291,200
Julio	347,200
Agosto	330,400
Septiembre	329,700
Octubre	379,400
Noviembre	406,000
Diciembre	296,800
TOTAL	4,062,800

LA “DFC300MA” DE FUEL CELL ENERGY

Debido a la demanda energética de La UNAH y a la disposición de las compañías que fabrican este tipo de plantas se decidió analizar el proyecto para una planta *DFC 300MA*, ver **Fig.7**, fabricada por *Fuel Cell Energy*; la cual genera 300kW y estará funcionando con un promedio de *11.25 horas diarias de lunes a viernes*, específicamente a las horas de mayor consumo comprendidas desde las 10:45 h hasta las 22:00 h.



Fig. 7 Central de generación eléctrica DFC300MA

ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

Debido a los requerimientos de la planta a utilizar ($78 \text{ m}^3 / \text{h}$ de biogás) y a las posibilidades de obtener biogás a partir de los desechos sólidos y de las aguas residuales propias de la ciudad universitaria, se hace necesario estimar la cantidad de biogás que podemos generar con dichos recursos; para ello utilizaremos un programa para computadora llamado: “El Modelo Centroamericano de Biogás”.

1. El modelo centroamericano de biogás

El Modelo Centroamericano de Biogás provee una herramienta automática para la estimación de la generación y recuperación de biogás en rellenos sanitarios en Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. El principal propósito del Modelo Centroamericano de Biogás es proveer a propietarios u operadores de rellenos sanitarios con una herramienta para evaluar la factibilidad y beneficios de recuperar y usar el biogás generado.

El biogás es generado por la descomposición de residuos en un relleno sanitario, y puede ser recuperado bajo la operación de un sistema de recuperación de biogás construido en el mismo relleno sanitario. La siguiente información es necesaria para estimar la generación y recuperación del biogás en un relleno sanitario :

- Capacidad de diseño del relleno sanitario
- La cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario, o el índice de aceptación anual estimado
- El índice de generación de metano (k)
- La generación potencial de metano (L0)
- La eficiencia del sistema de recolección de biogás; y
- Los años de operación a la fecha y los años que se planea operar.

El método utiliza una ecuación de degradación de primer orden (**Fig 8**) que asume que la generación de biogás llega a su máximo después de un periodo de tiempo antes de la generación de metano. El modelo asume que el período es de seis meses desde la colocación de los residuos y el comienzo de la generación de biogás. El modelo asume que por cada unidad de residuos, después de seis meses la generación disminuye exponencialmente mientras la fracción orgánica de los residuos es consumida.

$$Q_M = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2 k L_0 (M_i/10) (e^{-kt_{ij}})$$

Donde: Q_M = Generación máxima anticipada de biogás ($m^3/año$);
 i = Incremento de 1 año
 n = (año del calculo) – (año inicial en que se acepto residuos)
 j = Incremento de 0.1 años
 k = índice de generación de metano (1/año);
 L_0 = Generación Potencial de metano (m^3/Mg);
 M_i = masa de residuos depositados en el año i^{th} (Mg);
 t_{ij} = Edad de la sección j^{th} de masa de residuos depositados en el año i^{th} (años decimales).

Fig. 8 Ecuación utilizada por el modelo

2. Predicción de generación de biogás en la UNAH, utilizando el modelo centroamericano

Ingresando los datos de la cantidad de basura desechada anualmente en la Ciudad Universitaria (1,066Ton/año) con un incremento del 0.1% anual y la precipitación anual en Tegucigalpa, 940mm por año; en El Modelo Centroamericano de Biogás; obtenemos los siguientes resultados, ver **Tabla 4**. El estudio asume que la planta empezaría a funcionar en Enero del 2008 y tendría una vida útil de 30 años.

Tabla 4. Predicción de generación de biogás en la UNAH (en los últimos 10 años de la planta)

GENERACIÓN DE BIOGÁS UNAH, TEGUCIGALPA, M.D.C., HONDURAS						
Generación de Biogás			Capacidad máxima Planta de energía*		Estimados de reducción en emisiones de Metano**	
Año	(M ³ /hr)	(Cfm)	(MmBtu/hr)	(MW)	(Tonnes CH/año)	(Tonnes CO ₂ eq/año)
2038	18	11	0.3	0.0	35	725
2039	19	11	0.3	0.0	35	734
2040	19	11	0.3	0.0	35	743
2041	19	11	0.3	0.0	36	751
2042	19	11	0.3	0.0	36	760
2043	19	11	0.3	0.0	37	768
2044	20	12	0.4	0.0	37	777
2045	20	12	0.4	0.0	37	785
2046	20	12	0.4	0.0	38	793
2047	20	12	0.4	0.0	38	801
2048	20	12	0.4	0.0	39	810

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos por el modelo, se observa que la generación máxima de biogás es de 20m³/h (35 años después de iniciado el proyecto); Además se conoce que:

$$1\text{m}^3(\text{biogás})/\text{h} \text{ equivale a: } 1.25 \text{ kwh}$$
$$1\text{m}^3(\text{AR}^*)/\text{h} \text{ equivale a: } 0.1\text{m}^3(\text{biogás})/\text{h}$$

Esto es:

$$50\text{m}^3(\text{AR}^*)/\text{h} = 5\text{m}^3(\text{biogás})/\text{h}$$

Así:

$$20\text{m}^3(\text{biogás})/\text{h} \text{ equivalen a: } 25 \text{ kW}$$
$$5\text{m}^3(\text{biogás})/\text{h} \text{ equivalen a: } 6.25\text{kW}$$

*AR= Aguas Residuales

De lo anterior podemos concluir que la potencia máxima que se puede generar a partir de los desechos propios de La UNAH es de 31.25 kW; esto representa aproximadamente el 11% de la potencia que puede generar la planta (DFC300MA).

PREDICCIÓN DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN EL BASURERO MUNICIPAL DE TEGUCIGALPA

De igual forma que para el caso de la UNAH, podemos obtener una predicción, un estudio de factibilidad técnica, en cuanto a un proyecto de generación de energía eléctrica utilizando los RSM. En la **Tabla 5** ilustra la máxima generación de potencia (5.5Mw), así como un estimado en la reducción de metano y dióxido de carbono (como gases que contribuyen al efecto invernadero). De igual forma en la **Fig. 9** estima la posible generación de biogás para el proyecto, teniendo en cuenta que la cantidad de desechos sólidos en la Capital es de 310,250 Ton al año, ver **Fig.10**.

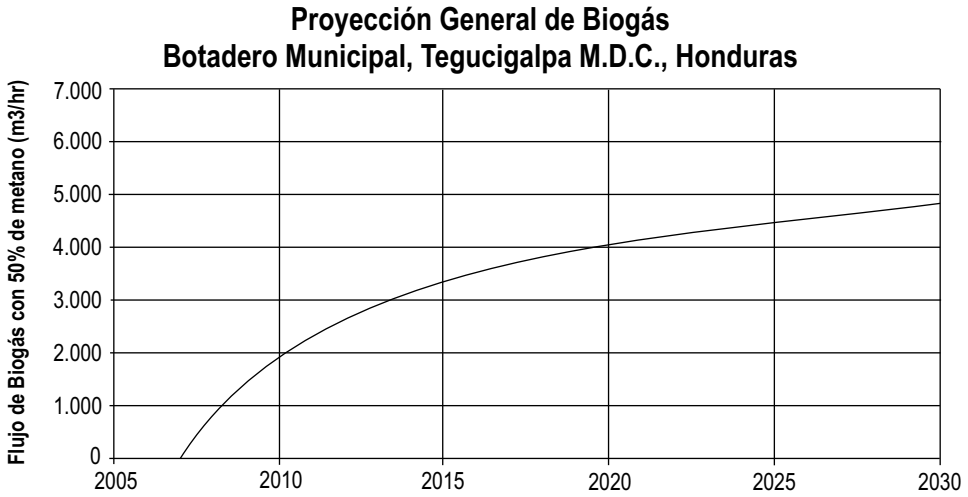


Fig. 9 Predicción de generación de biogás para los últimos 10 años del proyecto.

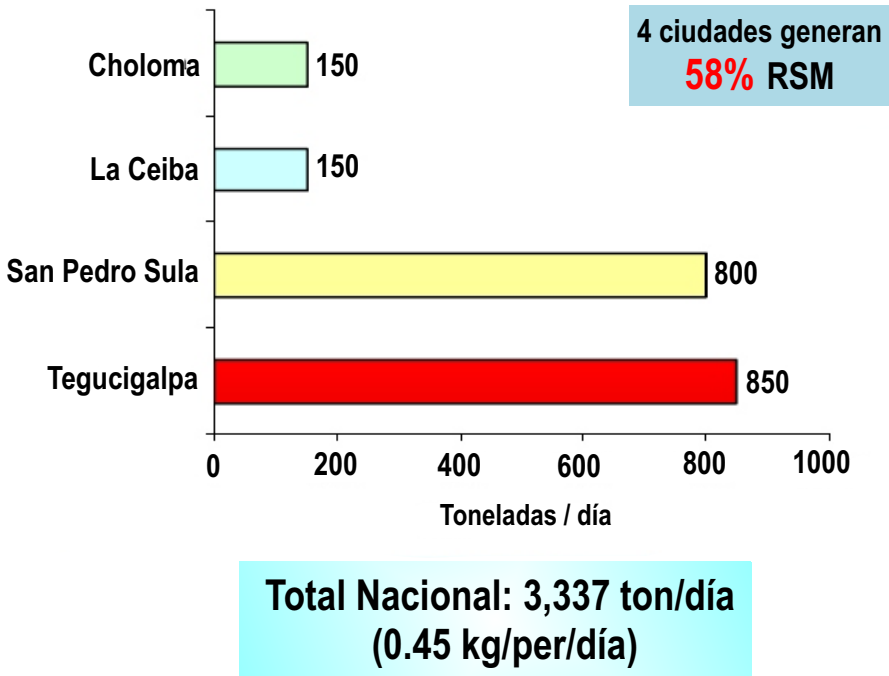


Fig.10 Generación de RSM en las principales ciudades

Tabla 5. Aplicación del modelo centroamericano de biogás al basurero municipal (en los últimos 10 años del proyecto)

GENERACIÓN DE BIOGÁS						
BOTADERO MUNICIPAL, TEGUCIGALPA, M.D.C., HONDURAS						
Generación de Biogás			Capacidad máxima Planta de energía*		Estimados de reducción en emisiones de Metano**	
Año	(M ³ /hr)	(Cfm)	(MmBtu/hr)	(MW)	(Tonnes CH/año)	(Tonnes CO ₂ , eq/año)
2038	5,316	3,129	95.0	5.3	10,003	210,054
2039	5,377	3,169	96.1	5.3	10,117	212,460
2040	5,437	3,200	97.2	5.4	10,231	214,851
2041	5,497	3,236	98.2	5.5	10,344	217,228
2042	5,558	2,683	81.4	4.5	8,576	180,105
2043	3,807	2,241	68.0	3.8	7,163	150,424
2044	3,205	1,887	57.3	3.2	6,031	126,660
2045	2,723	1,603	48.7	2.7	5,124	107,603
2046	2,336	1,375	41.7	2.3	4,395	92,290
2047	2,023	1,191	36.2	2.0	3,807	79,955
2048	1,771	1,043	31.7	1.8	3,333	69,992

CONCLUSIONES

1. La implementación de un proyecto de generación de energía eléctrica utilizando celdas de combustible en base a metano, aplicado a la Ciudad Universitaria, resulta no factible técnicamente, debido a que la cantidad de biogás que se puede generar utilizando sólo los residuos sólidos y las aguas residuales propios de la universidad es muy poca (25 m³/h), en comparación a los requerimientos establecidos por la planta (78 m³/h), con lo que sólo se generarían 31.25kW de los 300 kW que puede generar la planta; lo cual representaría una mala inversión y al mismo tiempo no se cumpliría con la demanda energética que se pretende suplir.
2. Aplicando el Modelo Centroamericano del Biogás se concluye que resultaría factible implementar un proyecto de generación de energía eléctrica utilizando biogás como combustible, aplicado al botadero municipal de Tegucigalpa, esto debido a la considerable cantidad de biogás que se obtendría utilizando un relleno sanitario (5,497 m³/h), con el cual, se podrían generar hasta 5.5 MW de potencia que representarían una importante ayuda a la actual demanda energética que atraviesa la ENEE.

BIBLIOGRAFÍA

Alternativa de utilización de biogás en rellenos sanitarios en Colombia

Fundación Universitaria Iberoamericana, Universidad de las palmas de Gran Canaria (España)

Andino, Lennin. Cáceres, Marcio. “Celdas de Combustible” Seminario de Investigación (IE-900), I periodo 2007

Ávila, Karina. Maradiaga, Nubia. Escoto, Joel. “Alternativas de Generación, Sistemas de Potencia en base a Celdas de Combustible” Seminario de Investigación (IE-900), I periodo 2007

Celdas de Combustible”

<http://es.wikipedia.org/wiki/piladecombustible>

Celdas de Combustible”

<Http://www.geocities.com/patodonald2000/fuelcell/>

Fuel Cell Energy”

<Http://www.fce.com/>

Manual de usuario modelo centroamericano de biogás, versión 1.0

Programa Landfill Methane Outreach Agencia para la Protección del Ambiente (U.S. EPA) Washington, DC.

Manejo de los residuos sólidos en Honduras”. Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe (OPS, 2005).

Ortiz, Roberto. Mejía, Osman. Sabillón, Jairo. “Proyecto de Biomasa para Generación”, de Energía Eléctrica Aplicado a la Ciudad Universitaria” Seminario de Investigación (IE-900), II periodo 2007

Proyecto, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano

<http://www.aquavita.com>

Tipos de Celdas de Combustible. Fuel Cells 2000

<http://www.worldwide.fuelcells.org>

Todo lo que siempre quiso saber acerca de celdas de combustible”

http://www.claudio-otero.cl/fuel_cells/