

REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.



FACULTAD DE INGENIERÍA.

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE MÁSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Título: Anteproyecto de un biodigestor industrial
de cachaza para la generación de energía
eléctrica. Caso de estudio UEB''Ciudad
Caracas''.**

Maestrante: Ing. Yoisdel Castillo Alvarez

Tutores: Dr.C José P Monteagudo Yanes

Consultante: MSc. Erdwin García Álvarez.

Cienfuegos, 2017

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



Sistema de Documentación y Proyecto. Hago constar que el trabajo "Anteproyecto de un biodigestor industrial de cachaza para la generación de energía eléctrica. Caso de estudio UEB "Ciudad Caracas". es de mi autoría, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior y el CEEMA para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

Firma del Vice Decano.
Tutor.

Firma del

Nombre y Apellidos.

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

AGRADECIMIENTOS

.

*A TODOS LOS PROFESORES QUE IMPARTIERON CLASES EN LA
MAESTRÍA Y MI FAMILIA EN ESPECIAL A MI MAMA Y MI
ESPOSA, MIS TUTORES, A MIS PROFESORES LOURDES BRAVOS,
JOSÉ P MONTEAGUDO Y ANES Y MI MAMA TE QUIERO.*

Muchas Gracias

RESUMEN

El presente trabajo está relacionado con el potencia que tiene la UEB “Ciudad Caracas” para el diseño de una planta de biogás que utiliza cachaza como sustrato. El estudio de los diferentes campos de utilización de biogás y su eficiencia en la generación de electricidad mediante grupos electrógenos. Para el diseño de la planta se han propuesto seis biodigestores industriales y seis grupos electrógenos para una capacidad de generación de treinta megavatio para la venta de energía eléctrica generando un ingreso 1 756 093,11 \$/a. El comportamiento a nivel mundial de los principales países productores de biogás ofrece costos de construcción de las plantas por metro cúbico de biogás generado en el orden de 200 € a 500 €. Se determina el potencial de generación de cachaza por la UEB “Ciudad Caracas”, que es de 144 t/d con una capacidad de generación de biogás de 13 038 Nm³ /d

La planta propuesta tiene una capacidad de generación de 24 MWh/d de energía eléctrica suministrada a la red. La evaluación económica de la planta muestra que la inversión de 4 237 000,00 € tiene una Tasa Interna de Retorno (TIR) de un 8% y un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 6 años.

Palabras Claves: Biogás, Biodigestores Cachaza, Energía.

Summary

The present work is related to the power that the UEB "City Caracas" has for the design of a biogas plant that uses Filter cake as substrate. The study of the different fields of biogas utilization and their efficiency in the generation of electricity through generators. For the design of the plant, six industrial biodigesters and six generating sets have been proposed for a generation capacity of thirty megawatts for the sale of electricity generating an income of 1 756 093.11 \$/ a. The worldwide behavior of the main biogas producing countries offers construction costs for plants per cubic meter of biogas generated in the range of 200 € to 500 €. The sugarcane generation potential is determined by the UEB " Ciudad Caracas ", which is 144 t / d with a biogas generation capacity of 13 038 Nm³ / d

The proposed plant has a generating capacity of 24 MWh / d of electrical energy supplied to the grid. The economic evaluation of the plant shows that the investment of € 4,237,000.00 has an Internal Rate of Return (IRR) of 8% and an Investment Recovery Period (PRI) of 6 years.

Key Words: Biogas, Filter cake, Biodigesters, Energy.

Contenido

Introducción.....	10
Capítulo I. Avances en la producción de biogás y el desarrollo industrial de biodigestores caseros. Estado actual y tendencias de desarrollo y uso..	14
1.1 Evolución histórica de la generación de biogás.	14
1.2 Principales fuentes. Propiedades.	15
1.2.1 Característica del proceso de digestión.	17
1.3 Clasificación de los biodigestores casero últimos avances tecnológicos y tendencias.....	18
1.3.2 Tipo chino	19
1.3.3Tipo tubular	20
1.4 Principales usos y su efecto socioeconómico.	21
1.4.1 Biogás para la generación de calor y electricidad	21
1.4.2 Uso del biogás en motores de combustión interna	22
1.5 Efecto medioambiental y económico.	24
1.5.1 Beneficios de la fertilización orgánica con digestato.	24
1.5.2 Beneficios económicos.	25
1.5.3 Beneficios sociales.....	25
1.6 Tendencias para la utilización industrial del biogás a partir de las biomásas en grupos electrógenos u otros servicios con entrega de energía eléctrica al SEN (Sistema Eléctrico Nacional).....	26
1.6.1 La generación de biogás mediante los residuos industriales.	26
1.6.2 Tecnología para el tratamiento de los residuos industriales.	28
1.6.3 Generación de energía eléctrica a partir del biogás con grupos electrógenos y turbinas de gas.	29
1.6.3.1 Turbinas de gas	29
1.6.3.2 Grupos electrógenos.....	31
1.6.4.3 La eficiencia eléctrica de los grupos electrógenos.....	32
1.6.5 Planta de biogás a nivel internacional que usan estas tecnologías.	33
1.6.5.1 La planta de biogás de Aguas Andinas S.A en Chile.....	34
1.6.5.2 Planta de biogás Werlte, Alemania.	35
1.7 El uso del de biogás como fuente de generación de electricidad en Cuba.	36
1.7.1 La generación de biogás en el sector azucarero cubano.....	36
Conclusiones Parciales	37

Capítulo II. Avances mundiales y tendencias en la producción de biodigestores industriales.....	39
2.1 Clasificación de los reactores más utilizado a nivel industrial.....	39
2.1.2 Reactor de mezcla completa sin recirculación	39
2.1.3 Reactor de mezcla completa con recirculación.....	39
2.1.4 Reactor con retención de biomasa, sin recirculación	40
2.1.5 Sistemas de dos etapas	43
2.1.6 Sistemas de dos fases	43
2.2 Clasificación de los biodigestores por la frecuencia de cargado.....	44
2.2.1 Biodigestores discontinuos	44
2.2.3 Biodigestores de Flujo continuo	45
2.3 Metodología de cálculos para el dimensionamiento de una instalación de Biogás en la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”	46
2.3.1 Criterios a considerarse en el diseño de un Biodigestor	46
2.3.1.1 Factores humanos:	47
2.3.1.2 Factores biológicos:	47
2.3.1.3 Factores físicos:.....	47
2.3.1.4 Factores de construcción:	47
2.3.1.5 Factores utilitarios:	47
2.3.2 Criterios para el dimensionamiento de los digestores.....	48
2.3.3 Calculo del volumen de digestión.....	48
2.3.4 Determinación del volumen de construcción del digestor.	49
2.3.5 Cantidad necesaria de Digestores.	49
2.3.6 Calculo del volumen del biogás generado.	49
2.4 Cubierta de los digestores.	50
2.4.1 Cubierta Cónico	50
2.4.2 Techo Plano	50
2.4.3 Cubierta de membranas.....	51
2.5 Sistema de agitación mecánica de los digestores.	51
2.5.1 Clasificación de los agitadores.....	52
2.5.1.1 Agitadores de flujo axial	52
2.5.1.2- Agitadores de flujo radial.	52
2.5.1.3- Agitadores de paso cerrado.....	53
2.6 Selección del motor para el grupo electrógeno a biogás.	53
2.6.1 Ecuación para determinar el número de motores necesarios.	53

2.6.2 Determinación del consumo de biogás por el motogenerador.	54
2.6.3 Determina la cantidad de motogenerador necesario.....	54
2.7 Diferentes softwares para el cálculo de biodigestores industriales.....	54
2.7.1 El programa biodigestor	55
2.7.2 El programa de los Biodigestores FD.....	57
2.7.3 Desarrollo en el programa excel de la metodología elaborada.	59
Conclusiones parciales.	61
Capítulo III. Proyecto de utilización industrial de la cachaza en la generación de biogás en el central “Ciudad Caracas”	63
3.1 Caracterización de la UEB central “Ciudad Caracas”.....	63
3.1.2 Potencialidades de la UEB “Ciudad Caracas” en la generación de cachaza.....	64
3.2 Posibles campos de utilización del biogás en la UEB “Ciudad Caracas”.....	64
3.2.1 En cocina y en alumbrado.....	65
3.2.2 En motores de combustión interna.....	65
3.2.3 En sistema de cogeneración de electricidad.....	65
3.2.4 Producción de biofertilizante	66
3.3. Dimensionamiento de la planta de Biogás en la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”.....	67
3.3.1 Calculo del volumen de digestión.....	67
3.3.4 Calculo del volumen del biogás generado	68
3.4 Características operativas del proceso de digestión.....	70
3.5 Cubierta de los digestores.	70
3.6 Sistema de agitación para el biodigestor.....	71
3.7 Análisis de factibilidad técnica económica en diversos campos para la utilización del biogás mayor potencialidad para UEB “Ciudad Caracas”.....	71
3.7.1 Uso del biogás como venta de combustible cocción de alimentos.....	72
3.7.1.2 Uso del biogás para la generación de electricidad en la UEB “Ciudad Caracas” y su venta al (UNE).	72
Capítulo IV. Evaluación económica de la propuesta de mejoras. Cuantificación de los principales indicadores financieros de las inversiones. Introducción al capítulo IV.....	75
4.1. Consideraciones para la evaluación económica de la planta de biogás en la UEB “Ciudad Caracas”.....	75
4.1.2 Determinar la magnitud de la inversión en su totalidad.....	76

4.2 Ingresos de la planta de biogás en la UEB “Ciudad Caracas” por energía eléctrica.	77
4.3 Determinación de los principales indicadores financieros que permiten evaluar la bondad de las propuestas.	78
4.3.1 El valor presente neto (VPN)	78
4.3.2 Período de recuperación de la inversión. (PRI)	78
Conclusiones parciales.	79
Conclusiones Generales	80
Recomendaciones	81
Bibliografía	82
Anexos	87
Anexos I	88
AnexoII	89
AnexoIII	90
AnexoIV	91
Anexo V	96

Introducción

El desarrollo de la humanidad ha ido dependiendo cada vez más del aprovechamiento de la energía en sus diferentes formas. Muchos siglos transcurrieron hasta el descubrimiento del uso del vapor de agua, la máquina de vapor y la electricidad, comenzando una era de acelerado avance tecnológico con nuevos descubrimientos y posibilidades en las fuentes ya conocidas, así comenzó el uso del petróleo y sus derivados, encontrándose la humanidad actualmente en un punto de altísimo desarrollo; y al mismo tiempo, de peligrosa dependencia de un recurso no renovable y con existencias limitadas, situación conocida como “crisis energética”. (Acosta, 2013). El agotamiento progresivo de las reservas de combustibles fósiles y la acelerada contaminación del medio ambiente, hacen que un cambio de la matriz energética con mayor participación de las fuentes renovables de energía sea un asunto de primera prioridad. Por otro lado, la búsqueda de soluciones que contribuyan al desarrollo sostenible también apunta en esa dirección. En Cuba, este tema cobra mayor significado por lo limitado de los recursos energéticos disponibles y los altos precios del combustible. Por estas razones, se llevan a cabo numerosos programas y proyectos, así como un control riguroso, tanto en el sector residencial como empresarial, del uso de los portadores energéticos. Una de las variantes más consideradas es el empleo del biogás para la generación directamente de energía térmica para diferentes usos o para la generación de electricidad. El biogás puede generarse a partir de diferentes sustratos. En la literatura consultada, la mayoría de los reportes acerca de producción de biogás se basan en el empleo de residuos orgánicos provenientes de la actividad agropecuaria (Filippín, Follario, y Vigil, 2012) (Botero y Preston, 1987). Otra posibilidad es el empleo de residuos biodegradables procedentes de instalaciones industriales sometidos a digestión anaeróbica. Una alternativa estudiada en Cuba es la producción de biogás y biofertilizante a partir de la cachaza lo que constituye además una alternativa de diversificación de la industria azucarera nacional (Torres, Villa, Montalvo, y Escobedo, 2012).

Lugones realiza un análisis de los biodigestores existentes en Cuba y las materias orgánicas utilizadas para la producción de biogás mencionando entre

ellas la cachaza proveniente de la producción azucarera, pero se limita a dar información general no dan elementos que permitan elaborar una metodología de cálculo para el diseño de un biodigestor industrial. (Lugones, 2012). Otros autores (Zamora, Cisneros, Macías, y López, 2012) realizan un estudio bibliográfico sobre la situación de producción de biogás en el mundo y en Cuba, haciendo énfasis en algunos aspectos relacionados con el biogás y ofrecen una metodología para calcular una planta de biogás que puede ser utilizada en comunidades de poca densidad poblacional para la cocción de alimentos, pero no consideran el empleo de la cachaza sino de residuos de cosecha y estiércol. El 2016 el (García, 2016) realiza un trabajo sobre las potencialidades de la cachaza como biogás para la cocción y bioabono en la UEB “Ciudad Caracas” en pequeña escala. En el presente trabajo se destaca las potencialidades de la cachaza para la producción de biogás y electricidad mediante biodigestores industriales en la UEB “Ciudad Caracas”

Problema científico:

La UEB “Ciudad Caracas” tiene una elevada producción de cachaza sin utilización industrial que origina afectaciones frecuentes en las áreas agrícolas aledañas.

Hipótesis:

La utilización de la cachaza en un proceso industrial para la obtención de biogás destinado a la generación de energía eléctrica y biol ampliará las fuentes de ingresos de la UEB.

Como **objetivo general:** Determinar las potencialidades de uso de la cachaza en un sistema industrial de biogás para la generación eléctrica mediante grupos electrógenos en la UEB “Ciudad Caracas”

Objetivos específicos.

1. Establecer el estado actual y tendencia en la producción industrial de biogás y su uso en la producción de energía eléctrica. Avances mundiales y en Cuba.
2. Establecer y sintetizar los avances mundiales en la producción de biodigestores industriales para la producción de biogás a partir de biomásas. Establecer metodología de cálculo.
3. Desarrollar proyecto de biodigestor industrial para la generación de biogás a partir de la cachaza en la UEB “Ciudad Caracas”. Establecer potenciales de utilización del biogás en una planta eléctrica de grupos electrógenos.
4. Realizar el análisis de factibilidad económica de la inversión. Determinar los principales indicadores financieros de inversiones.

Capítulo I

Capítulo I. Avances en la producción de biogás y el desarrollo industrial de biodigestores caseros. Estado actual y tendencias de desarrollo y uso.

1.1 Evolución histórica de la generación de biogás.

La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continua siendo una de las fuentes de energía de las zonas en desarrollo. En algunos casos también es el recurso económico mas importante, como en Brasil y China, en este último donde se obtiene gas a partir del estiércol. En los primeros años, el objetivo principal para el establecimiento de biodigestores fue la producción de biogás buscando disminuir el consumo de leña o electricidad. Sin embargo en los últimos años el biodigestor ha tomado una creciente importancia como parte fundamental del sistema de tratamiento de aguas negras de las explotaciones agropecuarias. China es el primer país productor de biogás a partir de biodigestores. Se estima que existen más de siete millones de biodigestores rurales, los cuales proporcionan gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación.

La realidad actual impone en las agendas dos temas críticos para las empresas de todo tipo como son el suministro energético, el adecuado tratamiento y la disposición de los residuos orgánicos generados. Sumado a esto cuando hablamos de contaminación no solo nos limitamos a la del agua y el suelo sino también a la atmosférica ya que la emisión de gases efecto invernadero como el metano liberado de las lagunas sin control contribuye en gran medida al calentamiento global del planeta. La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico. De esta forma podemos encontrar el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos así como el gas producido en el trato digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

El biogás es un producto de la digestión anaeróbica, que se generan a través de la actividad de bacterias metanógenas, las condiciones ocurren solamente en ausencia de oxígeno. Para reproducir estas condiciones se emplean plantas de biogás o biodigestores como unidades bien cerradas, como una laguna cubierta o un silo de hormigón con techo de lona o de membrana (Hilbert, 2012)

Tras las guerras mundiales comienza a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás, cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas residuales. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se le llegó a inyectar en la red de gas comunal. Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década del 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos. Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos intervinientes en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) .(Hilbert, 2012)

Uno de los países líderes en las tecnología de biogás orientada específicamente a la generación de energía, es Alemania con más de 6 000 plantas en operación superando los 2 300 MW. La figura 1.1 presenta la evolución de la capacidad instalada en las plantas de biogas hasta el año 2010.

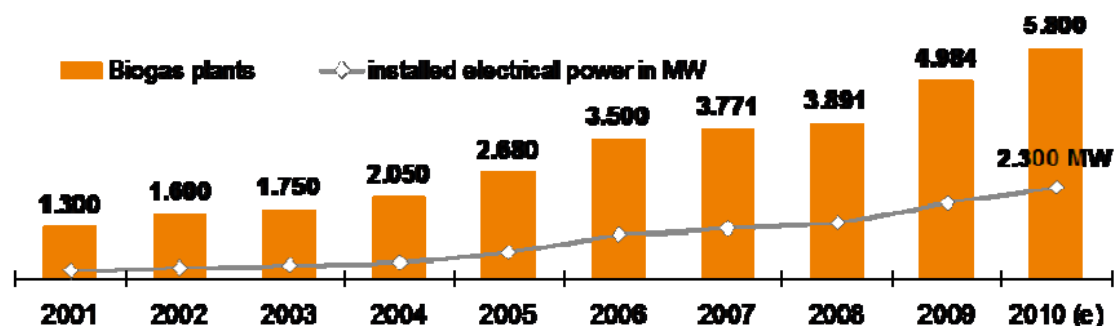


Figura1.1 Evolucion de la produccion de biogas hasta el 2010

Fuente:(Hilbert, 2012)

1.2 Principales fuentes. Propiedades.

El biogás es un gas combustible, formado por una mezcla de varios gases y entre los cuales predomina el metano (CH_4), que generalmente constituye un

60 % a 70 % del gas producido en el proceso anaeróbico de fermentación por acción de microorganismos. Los otros componentes más importantes son: CO₂ aproximadamente en un 30 a un 40 % y concentraciones menores de otros gases como el H₂S, H₂, N₂, CO y O₂.(Nuñez, 2006)

La tabla 1.1 resume la composición promedio del biogas según la fuente de donde procede.

Tabla1.1 Composición del biogas derivado de diferentes fuentes.

Fuente:(Nuñez , 2006)

Gases	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Rellenos sanitarios	Propiedades
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%	combustible
CO ₂	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%	ácido,asfixiante
Vapor de agua	saturación	saturación	saturación	saturación	saturación
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%	combustible
H ₂ S	100-7000ppm	0-1%	0-8%	0,5-100ppm	corrosivo,olor,tóxico
Amoníaco	trazas	trazas	trazas	trazas	corrosivo
CO	0-1%	0-1%	0-1%	trazas	tóxico
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%	inerte
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%	corrosivo
Orgánicos	trazas	trazas	trazas	5ppm	Corrosivo,olores

La riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. La producción de biogás para cada tipo de substrato es variable en función de su carga orgánica y de la biodegradabilidad de la misma.

En general, los residuos orgánicos industriales y la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) presentan potenciales elevados de producción. Los residuos ganaderos y los lodos de depuradora presentan, sin embargo, potenciales menores, debido al relativamente bajo contenido en materia orgánica y a la baja biodegradabilidad de la misma. En la Tabla 1.2 se muestran las características del biogás.

Tabla 1.2 Composición Química del biogás

Fuente:(Unión Europea, 2010)

Compuesto del Biogás %	
Metano,CH ₄	50-75
Dióxido de carbono,CO ₂	25-45
Vapor de agua, H ₂ O	1-2
Monóxido de carbono,CO	0-0,3
Nitrógeno,N ₂	1-5
Hidrogeno,H ₂	0-3
Sulfuro de hidrogeno,H ₂ S	0,1-0,5
Oxígeno,O ₂	0,1-1,0

1.2.1 Característica del proceso de digestión.

La Biodigestión o digestión anaeróbica, consiste en un proceso biológico complejo, el cual es desarrollado por microorganismos anaerobios, es decir, que trabajan en ausencia de oxígeno transformando la materia orgánica (residuos domésticos, estiércoles, efluentes industriales, restos de cosechas, etc.) en biogás o gas biológico y se obtiene un efluente biofertilizante o bioabono rico en nutrientes, está constituido por la fracción que no alcanza a fermentarse y por el material agotado. El biogás está compuesto principalmente por metano (CH₄) y anhídrido carbónico (CO₂), conteniendo otros gases en pequeñas concentraciones y vapor de agua. Este proceso se desarrolla de manera natural en el tracto intestinal de los animales, en los pozos negros, el “gas los pantanos”, y en los vertederos de residuos municipales. En los Biodigestores se reproduce este proceso de digestión de manera controlada y con objetivos específicos. Existen diferentes tamaños y tipos de biodigestor. En este caso se trata de uno formado por dos lonas especiales, una por debajo para evitar contaminación del suelo, y una por encima, flexible y resistente a los cambios de presión, temperatura y rayos UV del sol. En la figura 1.2 se muestra este proceso.(Gruber, 2010)

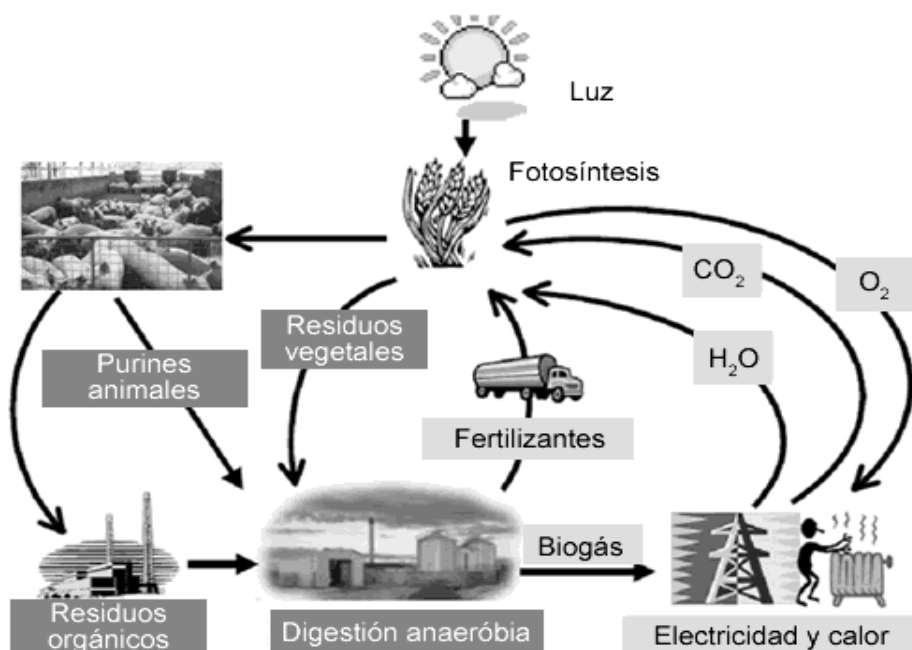


Figura 1.2 Proceso de biodigestión

Fuente: (Gruber, 2010)

1.3 Clasificación de los biodigestores casero últimos avances tecnológicos y tendencias.

Los biodigestores según su carga de material a fermentar y la descarga del efluente se realiza de manera continua o por pequeños baches (Ejemplo, una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua). Existen tres clases de biodigestores de flujo continuo, Cúpula Fija (Modelo Chino), biodigestor de Cúpula Móvil (Modelo Hindú), biodigestor de tipo Salchicha. (Moreno, 2011) (Magariños, 2015) (Carrasco, 2015)

1.3.1 Biodigestor de domo flotante (India)

Tipo hindú: Consiste en una estructura vertical, su estructura está elaborada de ladrillo y en ocasiones reforzada con hormigón, una campana o cúpula flotante material resistente a la corrosión con plástico reforzado, esta campana sube o baja dependiendo del volumen de gas, por lo cual requiere de una varilla central o rieles que eviten el roce con las paredes del reactor, dos zonas definidas una para la carga de la materia orgánica y otra para la descarga del abono orgánico y una cámara hermética. No requiere de gasómetro puesto que el gas se mantiene a una presión relativa, se puede dosificar sustituyendo la

campana flotante por una película de polietileno resistente y flexible o por fibra de vidrio reforzada en plástico, lo cual disminuye los costos como se muestra en la figura 1.3. (Guardado, 2007) (Chuquitarco, 2010) (Moreno, 2011) (Magariños, 2015)

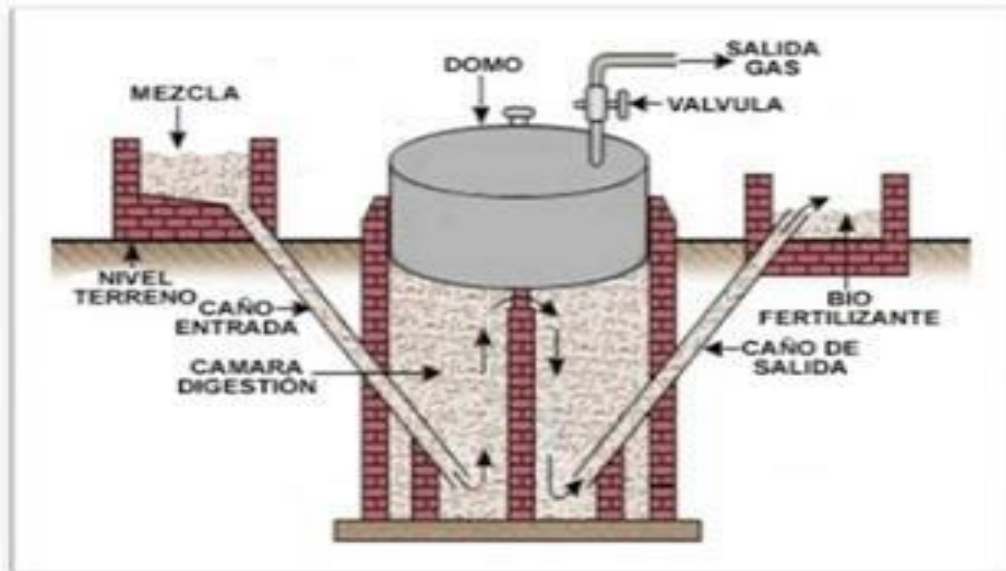


Figura 1.3 modelo de un biodigestor de tipo Hindú

Fuente: (Novillo, 2010)

1.3.2 Tipo chino

Estos biodigestores consisten en una cámara enterrada construida con ladrillo o concreto, con dos conductos (uno de entrada y otro de salida) y una abertura superior donde va instalada la conducción de biogás (ver Figura 1.4). Su peculiaridad es la cúpula fija en la parte superior. Esta inmovilidad hace que la presión del gas en el interior varíe en función de su producción y consumo. . (Guardado, 2007) (Chuquitarco, 2010) (Moreno, 2011) (Magariños, 2015)

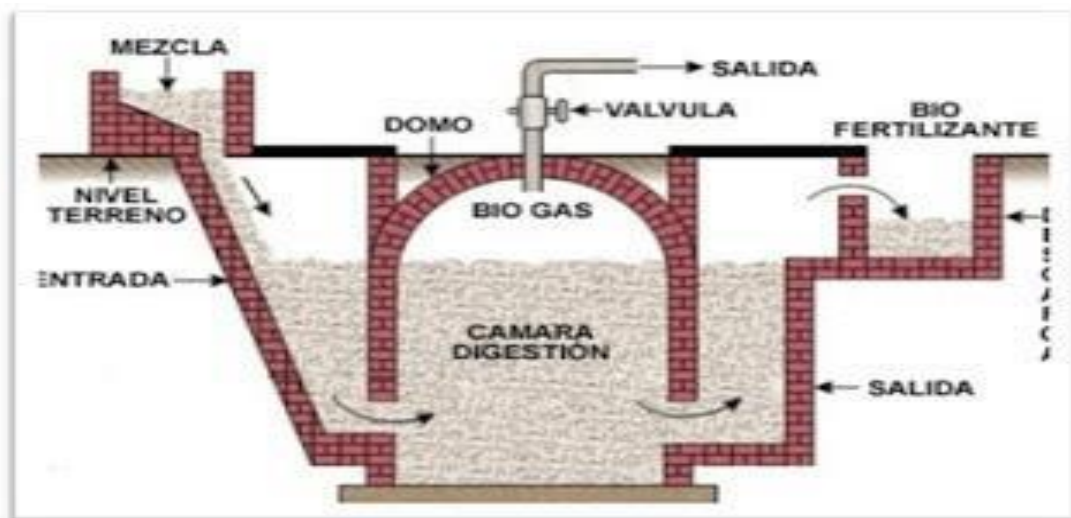


Figura 1.4 modelo de un biodigestor de tipo Chino

Fuente: (Novillo, 2010)

1.3.3 Tipo tubular

Estos biodigestores consisten en una manga de plástico a la que se le instalan unos tubos en los extremos que hacen las veces de tubos de entrada y salida. Este tipo de biodigestor es mucho más barato que los anteriores, pero con una vida más corta, debido a la menor durabilidad de sus materiales en la figura 1.5 se muestra el biodigestor. (Guardado, 2007) (Carrasco, 2015) (GUILCAPI, 2016)

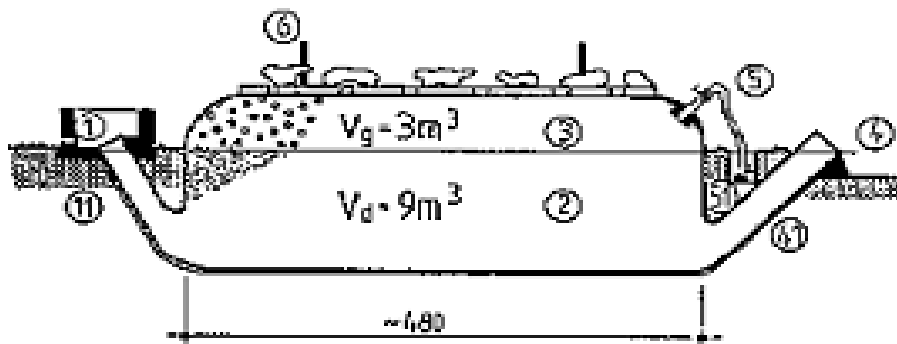


Figura 1.5 modelo de un biodigestor de tipo tubular

Fuente: (Novillo, 2010)

En general estos son el más utilizado en la industria casera pues son fáciles de construir y los fabricantes han mejorado la tecnología creando bolsa de polietileno que tiene una vida útil de 25 años, a diferencia de los primero biodigestores que tenía vida útil de 2 años o 10 cuando máximos esto demuestra cuanto se está trabajando para mejorar y hacer de la industria de biomasa una de las más competitivas del mercado internacional.

1.4 Principales usos y su efecto socioeconómico.

El biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. La Figura 1.6 resume las posibles aplicaciones

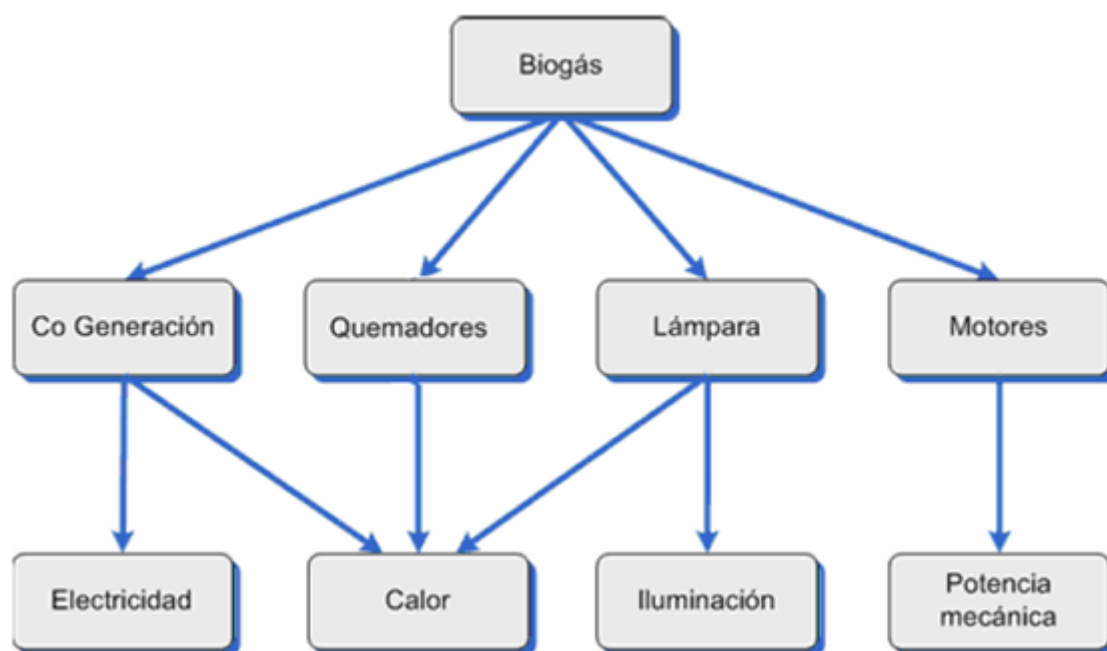


Figura 1.6 Usos del biogás

Fuente:Elaboración Propia.

Este gas por su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede usarse directamente en la industria, específicamente en el área de generación de vapor y energía eléctrica.

1.4.1 Biogás para la generación de calor y electricidad

El uso de gas combustible con bajo poder calórico se aplica donde es sencilla la conversión en el funcionamiento de hornos, calderas, secadores, etc. El biogás también se emplea como combustible en calderas para generar vapor. En cuanto a la cogeneración de energía, se busca la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás. En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad en un generador eléctrico. Otro sistema de cogeneración de energía es con la turbina de gas que está acoplada a un generador eléctrico,

con intercambiadores de calores ubicados en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión (Figura 1.7)

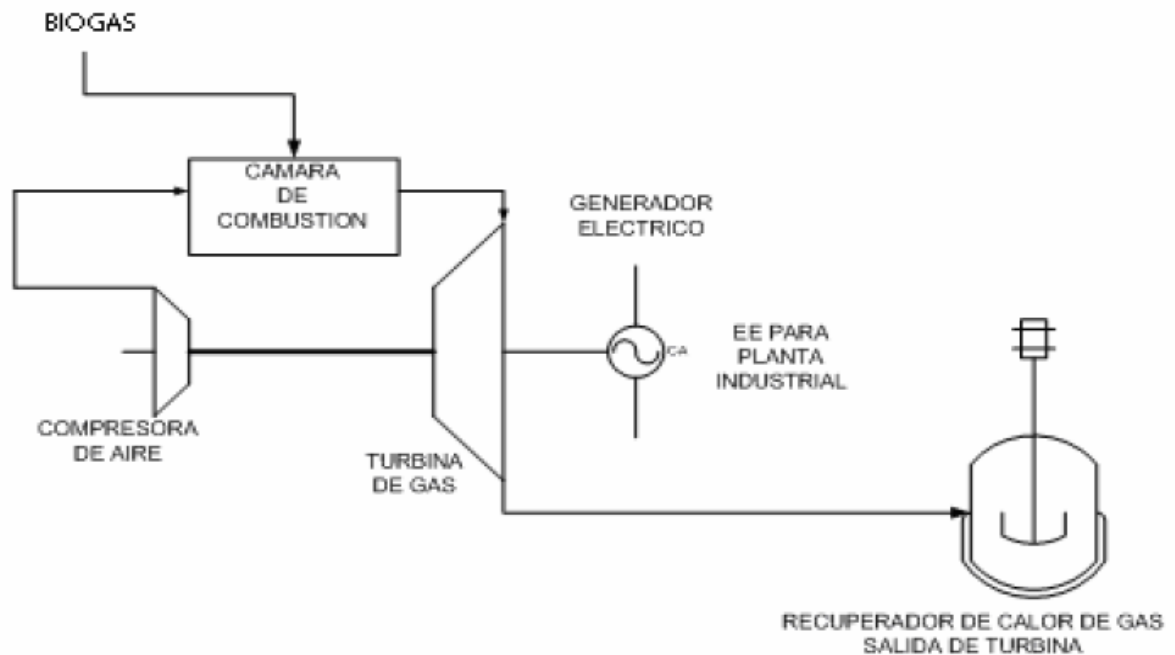


Figura 1.7 Cogeneración de energía con biogás.

Fuente:(Nuñez ,Ana, 2006)

1.4.2 Uso del biogás en motores de combustión interna

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto de gasolina como diésel, adecuado para su uso en motores de alta relación de compresión, teniendo en cuenta su baja velocidad de encendido. En los motores de ciclo Otto, para que funcionen con biogás, el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores arrancan con gasolina y luego trabajan con un 100 % de biogás. Un resumen de las aplicaciones del biogás dentro de la industria se puede observar en la figura 1.8

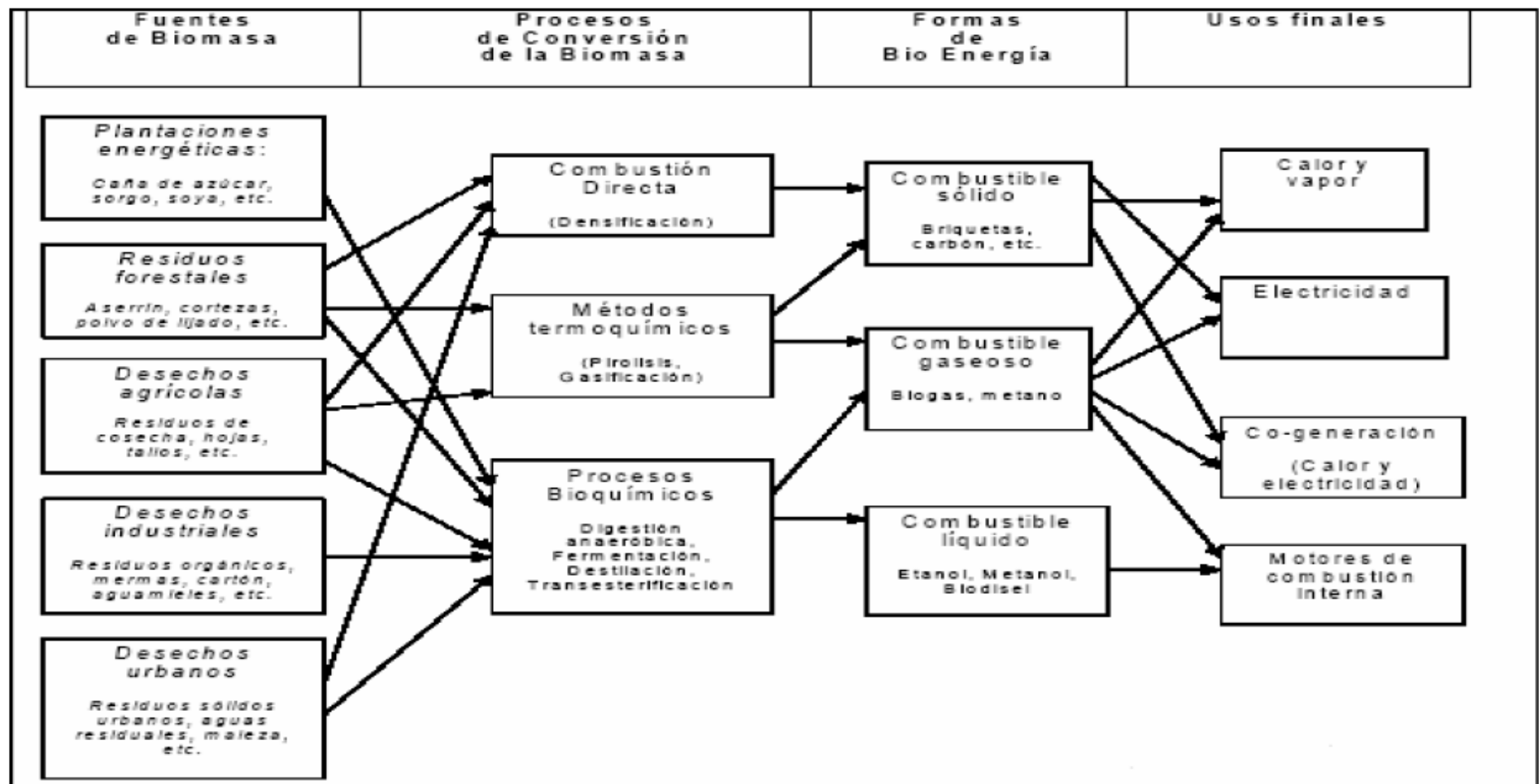


Figura 1.8 Aplicaciones del biogás dentro de la industria

Fuente: (Nuñez , 2006)

1.5 Efecto medioambiental y económico.

Los proyectos de producción de biogás a partir de residuos orgánicos o cultivos energéticos tienen un elevado costo de inversión, y un amplio rango posible para dichos costos. Además, estos proyectos pueden presentar economías de escala, en particular si la intención es la generación de electricidad, por lo cual proyectos pequeños podrían tener mayores dificultades para ser rentables. Por estos motivos es recomendable que el productor tenga un suministro de batería orgánica asegurado al largo plazo, y en el caso en que los volúmenes a tratar no sean suficientes para un tamaño de planta rentable, se recomienda asociarse con vecinos o buscar en la zona otros residuos orgánicos que se puedan combinar con los propios. En la experiencia europea, el radio de suministro de los sustratos no debe sobrepasar los 30 km y se debe evitar transportar sustratos con un alto contenido de humedad (para evitar transportar agua). La asociación con otros generadores de sustratos es también recomendable si se requiere realizar un costoso proyecto eléctrico para conectarse a la red eléctrica (zonas alejadas de las redes eléctricas). Si el volumen de electricidad a entregar a la red es bajo, no se justificará el proyecto eléctrico. Similar es el caso de proyectos de producción de biogás, en los cuales se entrega el gas a un tercero. Los costos de un gasoducto se justificarán a partir de ciertos volúmenes producidos. (Kaiser, 2012)

1.5.1 Beneficios de la fertilización orgánica con digestato.

En la agricultura los principales nutrientes fertilizantes son el nitrógeno, fósforo y potasio, y la cantidad que se requiere de cada uno de ellos dependerá del tipo de suelo, de las condiciones climatológicas y del cultivo. El digestato contiene cantidades importantes de los nutrientes mencionados. El humus del digestato, además de proporcionar alimento a los vegetales, beneficia el suelo aumentando su capacidad de retención de agua y mejorando su calidad para el cultivo. También disminuye el fenómeno de erosión. La ventaja más importante de la fertilización orgánica es su participación en el ciclo natural de los nutrientes. Una característica de este tipo de fertilización es su amplio espectro de nutrientes que aporta al medio, siendo muy similar al requerimiento de las plantas. (Kaiser, 2012).

1.5.2 Beneficios económicos.

El biogás producido tiene un valor comercial como combustible, el cual se puede utilizar para la generación de energía eléctrica y/o térmica o su venta directa como gas valorado respecto de su contenido energético para sustituir combustibles fósiles. Mediante equipos de cogeneración, se puede utilizar el biogás para generar tanto electricidad como calor, mediante la recuperación de parte de la energía térmica contenida en los gases de combustión y en el fluido de refrigeración del motor de cogeneración. Por su parte, como se señaló en el punto previo, el digestato tiene características de alto valor fertilizante y de mejorador de suelos en su aplicación como abono o biosólido, por lo que su uso en reemplazo de fertilizantes minerales puede acarrear un significativo ahorro en los costos de fertilización para la actividad agrícola. Este ahorro se puede aumentar con la con-digestión de desechos orgánicos o rastrojos, ya que aumenta la concentración de nutrientes en el digestato. (Kaiser, 2012)

1.5.3 Beneficios sociales

Los proyectos de biogás, al ser sistemas descentralizados de producción de energía eléctrica y calórica, acarrearán beneficios sociales tanto para los productores, como para la zona donde se encuentren los proyectos. Aquellos proyectos vinculados a la actividad agrícola generan trabajo en el predio mismo y la energía producida genera un abanico de potenciales nuevos procesos productivos en la zona, como por ejemplo, dar valor agregado a algún producto regional, siendo esta posibilidad una nueva fuente de trabajo. Otro beneficio social de la tecnología de digestión anaeróbica es la posibilidad que tiene el agricultor de transformar su sistema productivo a uno de producción limpia, con lo cual se genera un bienestar común para toda la zona implicada. Del mismo modo, se beneficia socialmente al productor, ya que se le puede distinguir, diferenciar y reconocer como un productor con conciencia medioambiental, lo cual le generará un prestigio indiscutiblemente valorable. Este hecho cobra cada día mayor importancia en la agricultura moderna. (Kaiser, 2012)

1.6 Tendencias para la utilización industrial del biogás a partir de las biomasas en grupos electrógenos u otros servicios con entrega de energía eléctrica al SEN (Sistema Eléctrico Nacional).

A nivel mundial la producción de residuos biodegradables en las industrias han alcanzado un volumen considerable, los grandes países desarrollados y los sub desarrollo están empleando tecnologías de biodigestión para el diseño de reactores industriales para la generación de biogás y con ellos obtener varios campos de utilización lo que mejoraría los efectos ambientales causado por los diferentes desechos obtenidos tanto a nivel industrial como los generados por las grandes ciudades. Uno de los mayores campos de utilización que se le ha dado al biogás es la generación de electricidad, pues la mayoría de los países desarrollados y en desarrollo su matriz energética son los combustibles fósiles, el cambio climático es una realidad para la humanidad y todos los países se han propuesto ir cambiando poco a poco su matriz para la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables. En este ámbito nuestro país se encuentra en cambio de su estructura del sistema eléctrico con motivo de la instalación masiva parque eólicos, de paneles solares y de plantas de biogás.

1.6.1 La generación de biogás mediante los residuos industriales.

Las materias primas para la producción de biogás incluyen dentro de una amplia visión las excretas animales y humanas, aguas residuales orgánicas de las industrias, restos de cosechas y basuras de diferentes tipos; la materia prima no sólo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales. Usualmente los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas (Hilbert, 2003). La generación de residuos es un problema al cual la sociedad debe hacer frente. Tanto los ciudadanos como las industrias, generan residuos cada día. En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos, los cuales generan graves problemas, no solo por el deterioro progresivo del medio ambiente, sino también desde el punto de vista económico puesto que los costos de recolección, transporte y disposición final son cada vez mayores. Se estima que los servicios de disposición, tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos mueven mundialmente un mercado anual de 100 000 millones de dólares, de los cuales 43 000 millones corresponden a Norteamérica, 42 000

millones a la Unión Europea y solo 6 000 millones a Suramérica, siendo la producción de residuos de 250, 200 y 150 millones de toneladas por año respectivamente (Tejeda et ál., 2010), el destino de la mayoría de ellos es el vertido, con el impacto negativo al medioambiente que implica esta práctica. No obstante existen otras alternativas de gestión más recomendables y sostenibles, como es la reducción de la producción de residuos, el reciclaje y la reutilización, o la valoración material o energética. En este sentido se plantea la valoración energética de los residuos mediante mecanismos como la incineración directa, la producción y valorización de biogás, o el aprovechamiento de los residuos como combustible. Se trata de convertir la basura en energía útil. Cada día se genera residuos sólidos urbanos (RSU) en las ciudades que son transportados a vertederos. Éstos son enterrados, y con el tiempo terminan generando gas metano que puede llegar a la atmósfera, donde se transforma en dióxido de carbono, principal causante del calentamiento a nivel global. Dicho metano puede ser aprovechado para la generación de energía, evitando el grave perjuicio que supone su liberación a la atmósfera.(Márquez, 2011) En la figura 1.9 se muestra un vertedero con aprovechamiento del biogás (50% de metano), para la producción de electricidad.

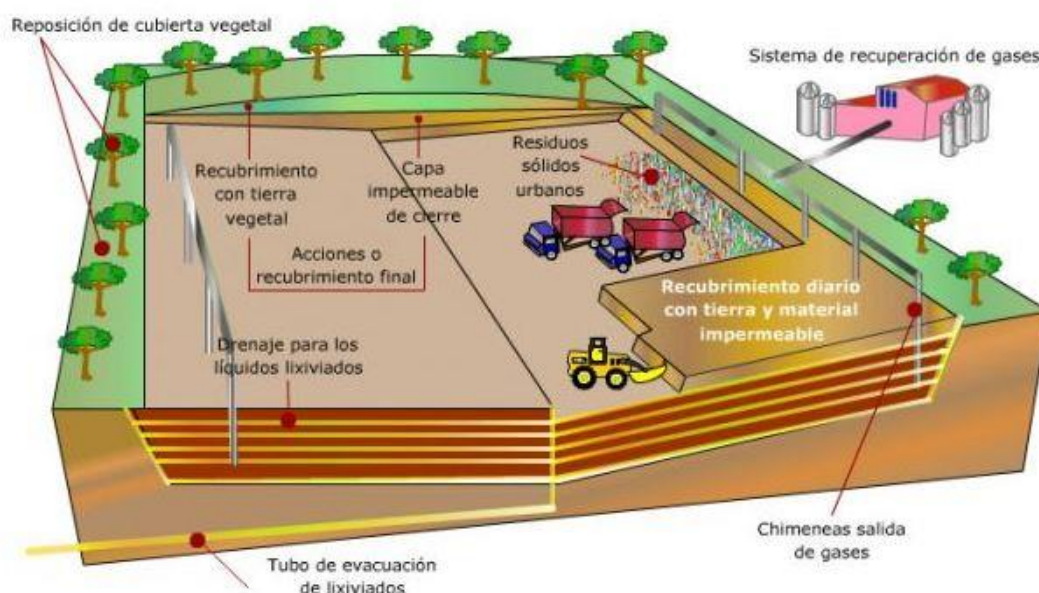


Figura 1.9 Vertedero con aprovechamiento de los desechos residuales.

Fuente: (Márquez, 2011)

El aprovechamiento de los residuos – aguas residuales, residuos agrícolas y ganaderos, residuos urbanos o industriales, restos de árboles o de cosechas), para la generación de energía útil -electricidad o calor-, es una fuente de producción energética con un gran potencial, que contribuye por un lado a una gestión de residuos más sostenible, y por otro, a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles. (Márquez, 2011)(Gonçalves, 2015)

1.6.2 Tecnología para el tratamiento de los residuos industriales.

Los grandes avances que tiene la ciencia en la actualidad han permitido el desarrollo de tecnologías para el tratamiento de los (RSU) los biodigestores industriales se han convertido en un pilar fundamental para poder tratar grandes volúmenes de materia, no solo orgánica, sino también con un alto contenido de lodo y de aguas residuales generada por las empresas. Los biodigestores en su principio de creación fueron diseñados para unos pocos metros cúbicos de capacidad, en la actualidad se han diseñados biodigestores desde unos cientos de metros cúbicos hasta miles de metros cúbicos y con una forma diferente de tratamiento a la biomasa, lo que permite una mayor calidad en el biogás generado y en el bioabono orgánico. En la figura 1.10 se muestran las diferentes tecnologías anaeróbicas. (Márquez, 2011).

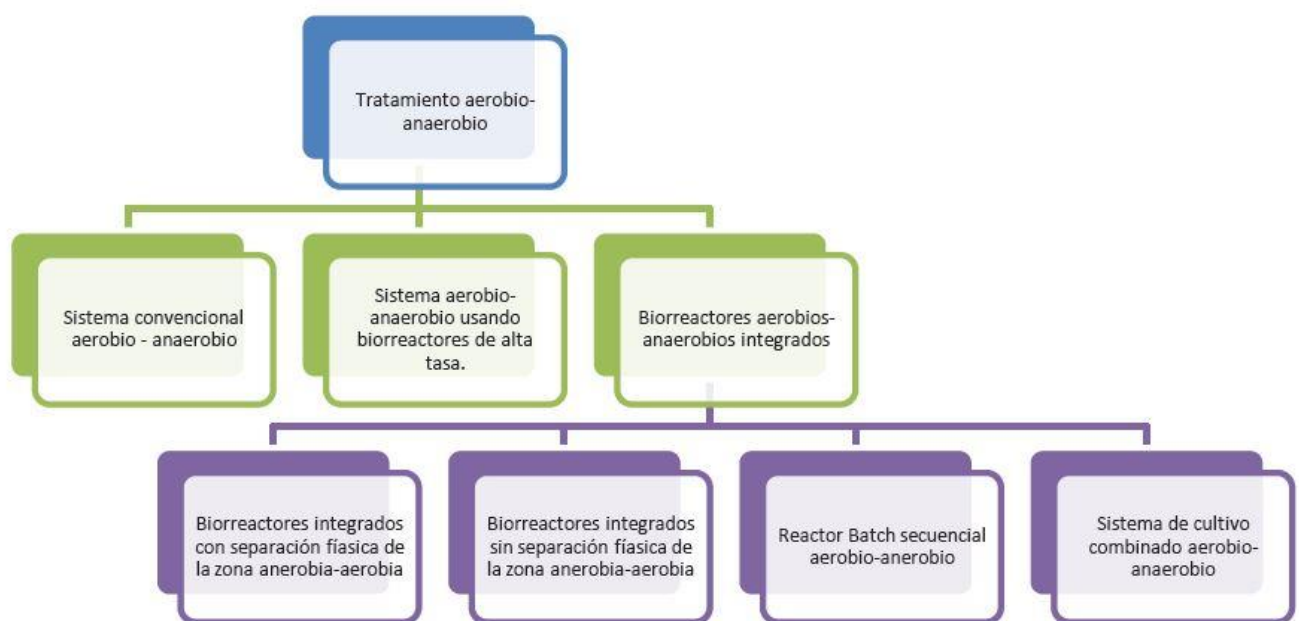


Figura 1.10 Tecnología para el tratamiento de las diferentes residuos industrial.

Fuente: (Márquez, 2011)

Como se muestra en la figura 1.11 los reactores biológicos utilizados para el tratamiento de aguas residuales pueden dividirse en dos grandes grupos con base en el tipo de crecimiento microbiano:

- ✓ lecho fijo, formando biopelículas.
- ✓ crecimiento libre o suspendido.

En los primeros la biomasa está constituida por bacterias formando una película sobre un soporte inerte, mientras que los segundos dependen de que los microorganismos formen gránulos flóculos en el reactor. Las bacterias que crecen en suspensión deben de formar estructuras que las permitan permanecer en el reactor y no ser lavadas con el efluente, y la eficiencia del proceso depende en buena parte de la capacidad del inóculo (lodos/residuos) para formarlas. (Márquez, 2011)

1.6.3 Generación de energía eléctrica a partir del biogás con grupos electrógenos y turbinas de gas.

La utilización de las nuevas tecnologías en la generación de la electricidad está creciendo en el mundo entre ellas se encuentran el uso de grupos electrógeno a gas y las turbinas, que van desde unos cientos de kW hasta unos 30 MW. Cuando estas nuevas unidades de generación están conectadas en las redes de distribución de los sistemas eléctricos de potencia pueden incidir de forma significativa en el comportamiento de una red eléctrica ante los distintos regímenes de operación, y en particular, sobre los distintos tipos de la estabilidad: del ángulo (transitoria y dinámica), de la frecuencia y del voltaje. Con la significativa aplicación de las nuevas fuentes de generación conectadas en las redes de distribución, estas dejan de ser circuitos pasivos para convertirse en circuitos activos que pueden suministrar potencia activa y reactiva a la transmisión. Tradicionalmente no era necesario considerar los problemas de estabilidad asociados con las redes de distribución, sin embargo, la inercia de las unidades generadoras conectadas, frecuentemente es baja y no siempre el tiempo de operación de la protección asegura la estabilidad para todos los tipos de fallas. (Fernando, 2009) (Labiano, 2014)

1.6.3.1 Turbinas de gas

Las turbinas de gas se caracteriza que se adaptan mucho mejor a las características del biogás, pudiendo trabajar con contenidos elevados de H_2S y concentraciones bajas de CH_4 . Tiene una buena relación de potencia, peso y

volumen y una buena flexibilidad en su operación. Además, tienen una emisión baja de NO_x a la atmósfera y una rápida puesta en marcha, es decir, alcanza en poco tiempo su generación nominal o lo que se conoce como plena carga, lo que la hace muy útil para cubrir picos de consumo. En la figura 1.11 se muestra una turbina de gas.

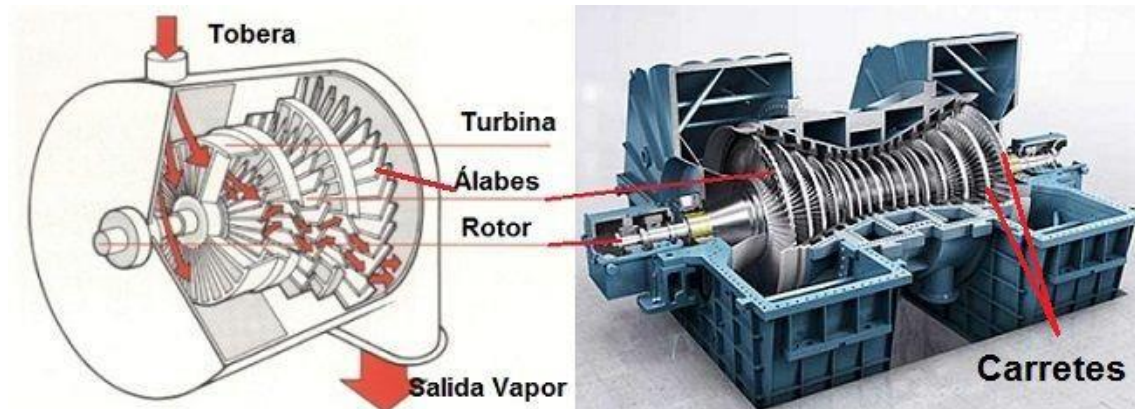


Figura 1.11 turbinas de gas

Fuente: (Labiano, 2014)

Al ser una máquina rotativa presenta una clara ventaja frente a los motores alternativos, por la ausencia de movimientos alternativos y de rozamientos entre superficies sólidas, lo que se traduce en menores problemas de equilibrado y menores consumos de aceite lubricante, lo que otorga un mantenimiento sencillo y una elevada fiabilidad. Las desventajas que imponen la negativa de la elección para nuestro proyecto son:

- ✓ Escasa disponibilidad de tamaños, dentro de un cierto rango de potencias.
- ✓ Rendimiento mecánico inferior a los motores alternativos (depende mucho del tamaño).
- ✓ Requiere suministro de gas a presión.
- ✓ Elevado nivel de ruido.
- ✓ · Aunque pueden operar de modo continuo a baja carga, lo hacen con un rendimiento bajo.
- ✓ · Necesitan combustible sin humedad.

En general las turbinas de gas necesitan periodos de mantenimiento largos., su alta velocidad de rotación y su bajo rendimiento (30-35%) comparado con los grupos electrógenos lo que permite visualizar que las tendencias en el

mundo para la generación de electricidad teniendo como combustible el biogás es el uso de motores alternativos.

1.6.3.2 Grupos electrógenos

Los motores alternativos de combustión interna (MACI), se utilizan para la transformación de la energía de los combustibles en trabajo mecánico. Son máquinas volumétricas y sus componentes básicos son el cilindro-pistón y el árbol cigüeñal, que mediante un sistema biela-manivela es el encargado de transformar el movimiento lineal del pistón sobre el cilindro en un movimiento rotatorio utilizan gas, gasóleo o fuel-oíl como combustible. En general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 1 MPa), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración en máquinas de simple efecto. Este tipo de instalaciones es conveniente para potencias bajas (hasta 15 MW), en las que la generación eléctrica es muy importante en el peso del plan de negocio. Los motores diesel son la máquina térmica que más rendimiento eléctrico tiene, aunque hay motores de gas, que operan con sistemas de ignición forzada que proporcionan un rendimiento (en el eje del motor o mecánico) próximo al 48%. El límite del 50% está a la vuelta de la esquina para estos motores especializados en la producción de energía y calor. En la figura 1.13 en el lado izquierdo del biodigestor se muestran un grupo electrógeno para la generación de electricidad.



Figura 1.12 Grupos Electrógenos a Biogás.

Fuente:(Kaiser, 2012)

1.6.4.3 La eficiencia eléctrica de los grupos electrógenos.

Las eficiencias eléctricas en grupo electrógenos, en general, van desde 35% para potencias eléctricas bajas (entre 75 y 100 kW), hasta 43% para potencias eléctricas sobre los 2.000 kW. Las eficiencias térmicas de este tipo de sistemas varían también en rangos similares, siendo las eficiencias globales de alrededor de 75% a 85%. La figura 1.13 muestra a continuación la variación de la eficiencia eléctrica de los grupos generadores en base a biogás, expresada como porcentaje de la potencia nominal de entrada (disponible en el biogás), en función de la potencia eléctrica instalada. Y en la figura 1.14 se muestra los grupos electrógenos en su interior. (Kaiser, 2012)

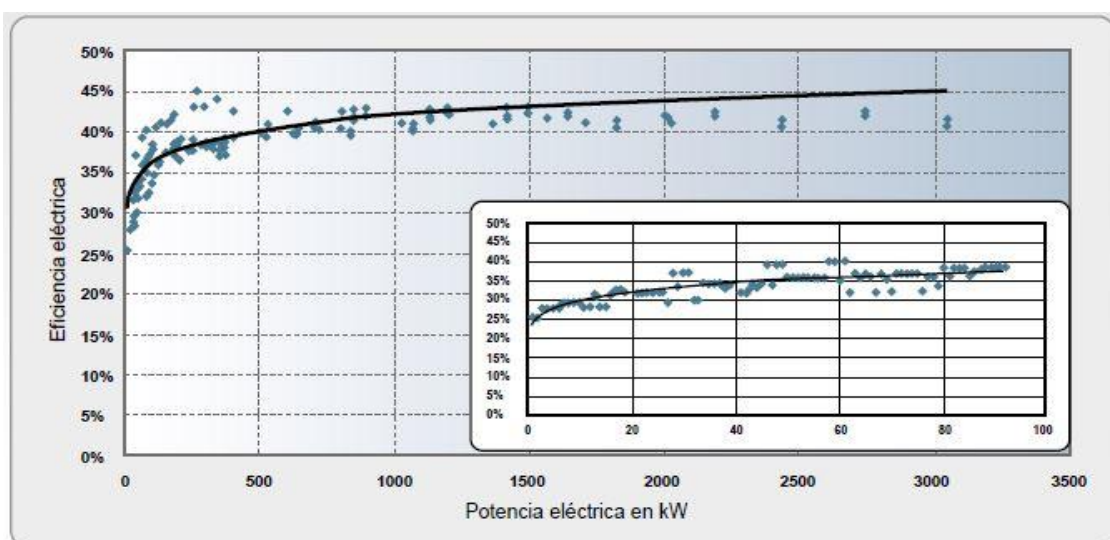


Figura 1.13 Eficiencia eléctrica de grupos generadores en base a biogás

Fuente: (Kaiser, 2012)



Figura 1.14 Grupos generadores: en contenedor y en casa de máquinas.

Fuente: (Kaiser, 2012)

Los (MACI) tienen a su favor: · Gran variedad de combustibles que pueden utilizar, tecnología sencilla y bastante fiable por llevar mucho tiempo en el mercado, arranque rápido (10s-15s), un buen comportamiento a carga parcial y flexibilidad de funcionamiento, les permite responder de manera casi instantánea a las variaciones de potencia sin que conlleve un gran incremento en el consumo específico, operación intermitente: facilidad para operar en condiciones de funcionamiento intermitentes y de carga variable, fácilmente ampliables, son equipos más modulares y con menos problemas para la operación en paralelo, que las turbinas y microturbinas de gas, amplia gama de potencias que va desde 3 kW hasta 30MW, relativa baja inversión por kW de potencia instalado.

Las desventajas que tienen los (MACI) son:

- ✓ Han de ser refrigerados, incluso aunque el calor residual no se aproveche.
- ✓ · Baja relación potencia / peso (comparado con las Turbinas de Gas).
- ✓ · Fuerzas internas no equilibradas, que requieren bancadas robustas y aislantes.
- ✓ · Ruido de baja frecuencia.
- ✓ · Costes de mantenimiento elevados.

En la actualidad, los equipos más utilizados corresponden a los motores de combustión con generador eléctrico y termorecuperadores incorporados. Se comercializan en forma modular en distintos tamaños y capacidades (de 20 hasta 4.000 kW), como contenedores integrados que se pueden instalar en cualquier planta de biogás. En dichos módulos se encuentran, tanto el motor de combustión interna, como el generador eléctrico y todos los demás equipos periféricos como compresor de gas, termorecuperadores, distribuidores de calor para calefacción, paneles de control, protecciones, etc.

1.6.5 Planta de biogás a nivel internacional que usan estas tecnologías.

En el mundo existen millones de planta de biogás instalada como una gran alternativa para racionalizar el uso de los combustibles fósiles y dejar es dependencia que tiene el ser humano como única fuente de generación de electricidad. También es una alternativa para darle un uso eficiente a los desechos provocados por las industrias y por las grandes ciudades. Esto permite mejorar la situación ambiental que está presentado la humanidad hoy,

pues reduce los desechos de material y la contaminación a nuestra atmósfera. A continuación podremos ejemplos de las diferentes plantas de biogás que existen en el mundo y sus características productivas.

1.6.5.1 La planta de biogás de Aguas Andinas S.A en Chile.

En el complejo La Farfana, corresponde a una línea de limpieza del biogás producido en la planta de tratamiento de aguas servidas del mismo nombre, es el principal centro de tratamiento de aguas de Santiago, depurando cerca del 60% de las aguas servidas de la región y generando, como subproducto de la descomposición de la materia orgánica (en condiciones anaeróbicas), un promedio de entre 50.000 y 60.000 m³ de biogás. En la figura 1.15 se muestra la planta.(Gutiérrez, 2015)



Figura 1.15 planta de biogás en Santiago de Chile.

Fuente: (Gutiérrez, 2015)

En la tabla 1.3 se muestran los datos técnicos de operación de la planta de biogás y sus características.

Tabla 1.3 Datos técnicos de la planta de biogás fuente:(Josefa Gutiérrez, 2015)

Puesta en marcha	2008
Potencia	Entrega de biogás a Metrogas S.A. Equivalente a 7,8 MW _e
Sustratos	Planta de tratamiento de aguas servidas de Santiago 3.300.000 habitantes
Producción de gas	24.000.000 m ³ /año biogás,15.000.000 m ³ /año metano
Tamaño de planta	600 m ² de superficie utilizada (línea de limpieza de biogás)
Inversión	€ 4.600.000 Proyecto limpieza y compresión del gas

MW_e-megavatios eléctrico.

1.6.5.2 Planta de biogás Werlte, Alemania.

Esta planta de biogás es de tamaño industrial y fue diseñada para procesar estiércol de vacuno y residuos orgánicos de la agroindustria, principalmente de mataderos. El estiércol proviene de agricultores vecinos y los desechos diversos de la agroindustria, principalmente grasas y aceites son procesados aquí en conjunto. El estiércol, grasas y aceites son bombeados a un estanque de premezcla y luego son bombeados al fermentador principal, pasando por un sistema de higienización (pasteurización), según lo exige la norma alemana para manejo de residuos orgánicos industriales. Posteriormente, el sustrato pasa por un posfermentador para asegurar su descomposición total. Una vez terminado el ciclo, y encontrándose el sustrato completamente estabilizado, puede ser aplicado como fertilizante en los campos. En la figura 1.17 se muestra la planta de biogás en Alemania.(Bragachini,2017)



Figura 1.17 Planta de biogás en Alemania.

Fuente: (Bragachini, 2017)

En la tabla 1.4 se muestran los datos técnicos de operación de la planta de biogás y sus características.

Tabla 1.4 Datos técnicos de la planta de biogás Fuente: (Bragachini, 2017)

Puesta en marcha	2002
Potencia	3,3 MW _t , 2,5 MW _e
Sustratos	70.000 t/año excretas animales, 40.000 t/año aceites y grasas
Producción de gas	8.360.000 m ³ /año biogás 5.020.000 m ³ /año metano
Tamaño de planta	Digestores 2 x 3.200 m ³ , Posdigestores 2 x 2.370 m ³ , Estanque digestato 2 x 4.960 m ³ TOTAL: 21.060 m ³
Inversión	€ 6.600.000

MW_t –megavatios térmicos

Se puede decir que el mundo está avanzando al desarrollo de grandes plantas industriales para la generación de biogás como fuente alternativa para la generar electricidad y dejar la dependencia que se tiene de los combustibles fósiles. El aprovechar los diferentes residuos ocasionado por las diferentes actividades del hombre estamos contribuyendo al desarrollo de una conciencia ambiental y con ello vivir en un mundo sostenible que puedan disfrutar las futuras generaciones.

1.7 El uso del de biogás como fuente de generación de electricidad en Cuba.

La matriz energética en Cuba al igual que resto de los países no está exenta del uso de los combustibles fósiles como principal fuente de generación de electricidad. En este contexto se ha propuesto cambios para la generación de una energía más limpia basada en las fuentes renovables de energías y entre ellas se cuenta el tratamiento de residuos industriales para la generación de biogás. Cuba se ha propuesto para el 2030 un cambio de su matriz energética de 20% de esta generación sea mediante las energías renovables existen 34.658 instalaciones que utilizan estas fuentes, entre ellas, más de 10 mil calentadores solares, 827 plantas de biogás, 187 hidroeléctricas y cuatro parques eólicos experimentales con 20 máquinas de una potencia total de 11,7 (MW) de ahí la importancia que tiene las plantas de biogás para aumentar la generación de electricidad mediante residuos industriales. (Ministerio de Energía y Mina, 2017)

1.7.1 La generación de biogás en el sector azucarero cubano.

En la presente zafra participaron 54 ingenios en todo el país, el mayor número de centrales desde que se efectuó el proceso de redimensionamiento de la industria azucarera. En este escenario se encuentra el sector azucarero que cuenta con 16 destilerías, de las cuales 11 pertenecen al grupo azucarero

Azcuba, sólo existe una planta industrial que trata por digestión anaeróbica en reactores UASB. En la tabla 1.4 se muestra diferentes plantas biogás existente en el país, pero estas solo se utilizan para la producción de gas y bioabono para fertilizante, las principales fuentes de utilización de este biogás generado es como combustible para la industria y la cocción de alimentos doméstico.

Tabla 1.4 plantas de biogás instala en diferentes lugares de Cuba.(Ministerio de Energía y Mina, 2017)

Nº	Central Azuce.	Capaci. de la planta (m ³)	Biogás(NM ³ /día)	Biofertilizante (t/día)
1	Heriberto Duquesne	3 300	16 000	4
2	Heriberto Duquesne	15	3,0	0,02
3	Pablo Noriega	1 000	1 500	20
4	Antonio Guiteras	1 195	1 000	13
5	Noel Fernández	650	623	1,6

En la tabla 1.4 se mencionan algunas de las plantas de biogás existente en la región central. El potencial que tiene nuestro país para generar electricidad mediante el biogás procedente de los residuos que deja la industria azucarera cubana, como es la cachaza y las aguas residuales, es una alternativa que puede favorecer mucho a nuestro país en sus objetivo por lograr un cambio de matriz energética basada en las fuentes renovables de energías. Sería recomendable realizar un estudio para implementar tecnología para la generación de energía eléctrica mediante grupos electrógenos o turbinas de gas.

Conclusiones Parciales

1. Los estudios de las fuentes bibliográficas muestran que el desarrollo de las tecnologías de producción de polímeros para los biodigestores caseros ha llevado de una vida útil de los biodigestores de bolsa del orden de dos años hasta 25 años.
2. Se exponen las potencialidades de generación de biogás y sus usos mediante diferentes tipos de residuos En la literatura se aprecian plantas industriales con capacidades de 2,5 MW eléctricos y 3 MW térmicos.
3. Se expone el estado actual de la producción de biogás en el sector azucarero cubano y su uso en el proceso de cocción de alimentos. La literatura consultada no muestra el uso del biogás en la generación eléctrica.

Capítulo II

Capítulo II. Avances mundiales y tendencias en la producción de biodigestores industriales.

Introducción al capítulo

En el capítulo se realiza un estudio de los diferentes tipos de biodigestores industriales que existen y se propone una metodología de cálculo para la construcción de un reactor industrial para el tratamiento de los residuos que se obtiene en el proceso de elaboración de azúcar como es la cachaza. Pues este residuo se está vertiendo en las zonas aledañas al central provocando la contaminación del medio ambiente y el ecosistema.

2.1 Clasificación de los reactores más utilizado a nivel industrial.

Los reactores industriales son utilizados con frecuencia para el tratamiento de grandes desechos orgánicos y de aguas residuales, los diseños más utilizados para digestión anaeróbica pueden clasificarse en función de su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos, siguiendo diferentes métodos. El reactor más simple es el de mezcla completa (RMC, CSTR en inglés), y es el más utilizado para residuos.(Besel, 2007) (Kaiser, 2012)

2.1.2 Reactor de mezcla completa sin recirculación

Consiste en un reactor en el que se mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como de microorganismos (ver Figura 2.1.a). Esto se consigue mediante un sistema de agitación. Ésta puede ser mecánica (agitador de hélice o palas, de eje vertical u horizontal) o neumática (recirculación de biogás a presión), y nunca violenta. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos. Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente. Si la velocidad de reacción depende de la concentración, como es el caso de los procesos biológicos, la velocidad será baja, y la forma de compensarla es aumentando el tiempo de reacción.(Besel, 2007) (Kaiser, 2012)

2.1.3 Reactor de mezcla completa con recirculación

Este sistema tiene el nombre de reactor anaeróbico de contacto y sería equivalente al sistema de fangos activos aerobios para el tratamiento de aguas residuales (Figura 2.1 b)

Se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa. Esto es a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema mediante la separación en el decantador y re-circulación. Debido a la necesaria separación de microorganismos en el decantador, este sistema sólo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica (aguas residuales de azucareras, cerveceras, etc.), para las que sea posible una separación de fases líquido-sólido, con la fracción sólida consistente básicamente en flóculos biológicos. Antes del decantador se debe disponer de un sistema de desgasificación, sin el cual la decantación se puede ver impedida. (Besel, 2007) (Kaiser, 2012).

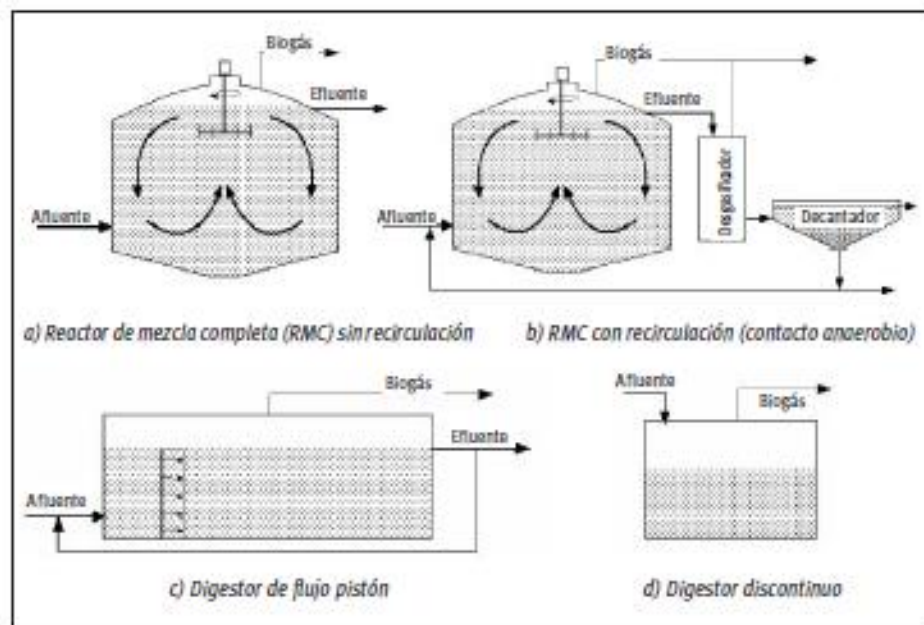


Figura 2.1 Esquema de reactores sin retención interior de biomasa.

Fuente:(Besel, 2007), (Giro).

2.1.4 Reactor con retención de biomasa, sin recirculación

Si se consigue retener bacterias en el interior del reactor, evitando la configuración de reactor de mezcla completa, es posible reducir el tiempo de retención por debajo del reactor RMC tomado como referencia. Los métodos de detención de biomasa son básicamente dos:

a) inmovilización sobre un soporte (filtros anaerobios y lechos fluorizados);

b) agregación o floculación de biomasa y su retención por gravedad (reactores de lecho de lodos). Estos sistemas se esquematizan en la Figura 2.1 y se comentan a continuación.

Aunque los reactores de flujo pistón (Figura 2.1.c) no estarían encuadrados en este apartado, el hecho de que la tasa de crecimiento de microorganismos sea más elevada a la entrada del reactor, donde la concentración de sustrato también es más elevada, hace que la concentración media en el reactor sea superior a la correspondiente a mezcla completa, o en todo caso superior a la de salida, con lo cual el tiempo de retención será inferior. Este tipo de reactor ha sido aplicado a diferentes tipos de residuos orgánicos, como fracción orgánica de residuos municipales (configuración vertical y flujo ascendente), residuos de porcino y bovino, y una de las dificultades es la debida a la falta de homogenización en la sección transversal a la dirección del flujo, en las configuraciones horizontales, lo cual se puede evitar mediante un sistema de agitación transversal (reintroducción de biogás a presión en la base del digestor si el reactor es horizontal, por ejemplo).(Besel, 2007) (Kaiser, 2012).

El filtro anaerobio. En este sistema las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte —formando biopelículas—, columna de relleno, o atrapadas en los intersticios de éste, con flujo vertical. El soporte puede ser de material cerámico o plástico. Su distribución puede ser irregular (filtro anaerobio propiamente dicho, con flujo ascendente, Figura 2.2.b), y en este caso las bacterias se encuentran mayoritariamente atrapadas en los intersticios, o regular y orientado verticalmente, y en este caso la actividad es debida básicamente a las bacterias fijadas, recibiendo el nombre de lecho fijo con flujo descendente (Figura 2.2.a). En caso de utilizar un soporte orientado verticalmente con flujo ascendente y un sustrato lentamente degradable, con elevado tiempo de retención, la retención por sedimentación de los fragmentos de biopelículas desprendidos adquiere un efecto de importancia en la actividad del reactor.(Besel, 2007). (Kaiser, 2012).

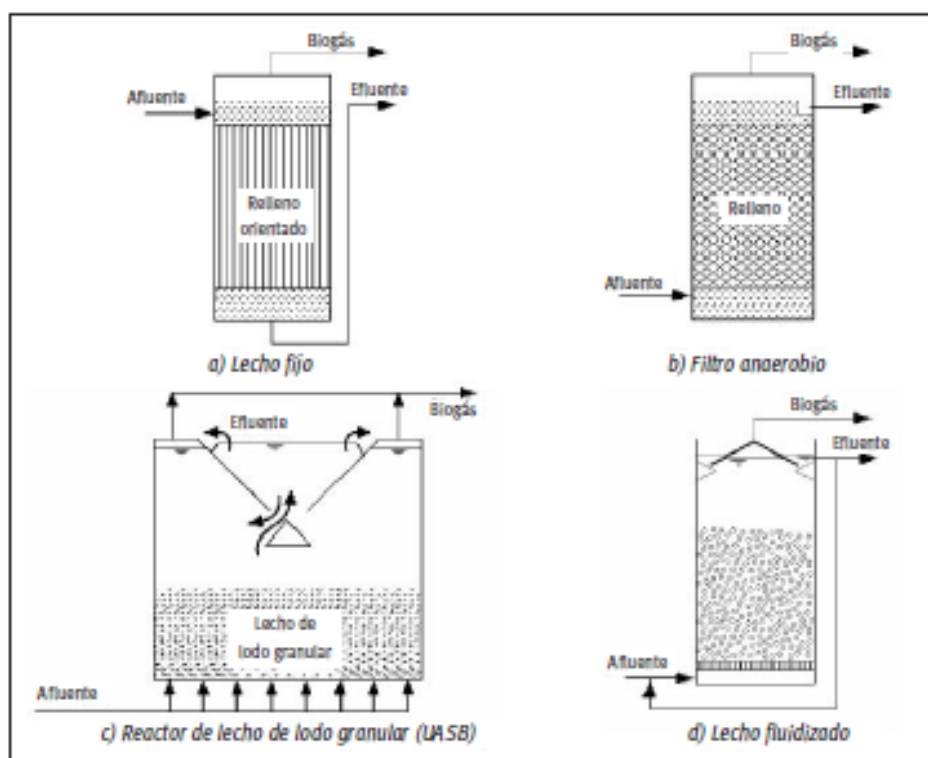


Figura 2.2 Esquema de reactores con retención interior de biomasa.

Fuente: (Besel, 2007)(Giro).

Este sistema ha sido extensamente aplicado para el tratamiento de aguas residuales de industria agroalimentaria, y existen experiencias piloto para la fracción líquida de residuos ganaderos. El coste de inversión es un limitante importante para su implantación.

El lecho fluidizado. En este sistema las bacterias se encuentran fijadas, formando una biopelícula, sobre pequeñas partículas de material inerte que se mantienen fluidizadas mediante el flujo ascendente adecuado del fluido. Para mantener el caudal adecuado, que permita la expansión y fluidización del lecho, se recurre a la recirculación (Figura 2.2.d). Igual que el filtro, puede ser aplicado a aguas residuales, especialmente de la industria agroalimentaria, y a fracciones líquidas o sobrenadante de residuos ganaderos, aunque las experiencias en este ámbito son muy limitadas.

El reactor de lecho de lodos. En este sistema se favorece la floculación o agregación de bacterias entre ellas, formando gránulos o consorcios, de forma que por sedimentación se mantienen en el interior del reactor, con la velocidad ascendente adecuada del fluido, siempre que en la parte superior exista un

buen separador sólido (biomasa)/líquido/gas. El diseño más común es el Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Figura 2.2.c, el cual está siendo extensamente aplicado al tratamiento de aguas residuales de la industria agroalimentaria. Es el diseño más simple de entre los sistemas con retención de biomasa y la única limitante para su aplicación es que la biomasa activa granule, esto es, que forma agregados de alta densidad. Para ello es determinante la composición del agua a tratar y mantener una operación adecuada. (Kaiser, 2012).

2.1.5 Sistemas de dos etapas

Estos consisten en un primer reactor con elevado tiempo de retención, en el cual se favorece la hidrólisis, seguido de un reactor de bajo tiempo de retención que digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos en la primera etapa. Si la primera etapa consiste en un reactor discontinuo, el líquido tratado en la segunda es el obtenido por percolación en la primera una vez recirculado el efluente de la segunda. Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor. Ha sido aplicado con éxito para tratar residuos sólidos cuya etapa limitante es la hidrólisis: frutas, verduras, residuos sólidos urbanos, de ganado vacuno, etc.(Besel, 2007)(Aznar, 2010) (Kaiser, 2012)

2.1.6 Sistemas de dos fases

A diferencia de los sistemas de dos etapas, la separación de fases se refiere a mantener dos reactores en serie, en los cuales se realizan, respectivamente, las fases de acidogénesis y metanogénesis, su objetivo es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa. La separación es de tipo cinético, controlando el tiempo de retención de cada reactor, el cual será inferior en el primero, debido a las más altas tasas de crecimiento de las bacterias acidogénicas. Este tipo de sistema ha sido aplicado con éxito a la digestión de residuos con alta concentración de azúcares y bajo contenido en sólidos, pero no para residuos con fibras y, en general, sustratos complejos cuyo limitante es la hidrólisis.

Sistemas híbridos. En general serán sistemas que combinen los conceptos que sustentan los diferentes tipos de reactores descritos. Los dos sistemas anteriores podrían considerarse como tales. También se han realizado diseños

de reactores con retención de biomasa híbridos, en los cuales la parte baja de éste se comporta como un UASB y la parte superior como un filtro.(Besel, 2007) (Aznar, 2010) (Kaiser, 2012)

2.2 Clasificación de los biodigestores por la frecuencia de cargado.

Hay diversos tipos de clasificación de los biodigestores, pero de manera general se clasifican de acuerdo al diseño de construcción (horizontales o verticales), y en cuanto al tipo de proceso de alimentación empleado o tiempos de carga (flujo continuo, semi-continuo o discontinuo). (Novillo, 2010) (Duarte, 2013)

2.2.1 Biodigestores discontinuos

Este tipo de digestor se carga una sola vez en formato tal y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se carga a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas. De los sistemas Batch, el más usado por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión, la alimentación del digestor puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios y por su mayor producción de biogás, en comparación con el modelo, en la figura 2.3 se muestra un sistema batch. (Guardado, 2007) (Moreno, 2011) (Duarte, 2013) (Carrasco, 2015) (Aebig, 2017)



Figura 2.3 modelo de un biodigestor discontinuo

Fuente: (Aebig, 2017)

2.2.3 Biodigestores de Flujo continuo

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de biogás el que a su vez se aprovecha en diferentes aplicaciones. Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado. Este tipo de planta, debido al gran volumen de materia orgánica que necesita para garantizar la producción de biogás y la cantidad de biofertilizante que se obtiene, se diseña con grandes estanques de recolección y almacenamiento contruidos de ladrillo u hormigón. Estos reactores, al igual que los anteriores sin recirculación, tienen capacidad para volúmenes más allá de los 3.000 m^3 aunque no es recomendable mucho más grande -, y velocidades de carga entre kg/SV por del reactor en la figura 2.4 se muestra el modelo de biodigestor. (Puga, 2013) (Aguilar, 2014) (Magariños, 2015)



Figura2.4 modelo de un biodigestor industrial.

Fuente: (Budzinski, 2012)

2.3 Metodología de cálculos para el dimensionamiento de una instalación de Biogás en la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”.

En la UEB “Ciudad Caracas” se realiza el proceso de obtención de azúcar en un tiempo de cinco meses aproximadamente, se obtienen indicadores de los mejores de la provincia de Cienfuegos. En este proceso existe muchos desechos que no son aprovechados y que su vertimiento en las zonas cercas a la industria afectan el ecosistema del lugar. Dentro de estos residuos de la fábrica se encuentran las aguas residuales que no son tratadas como está establecido por el citma y que pueden aprovecharse al igual que la cachaza para ser tratadas en un biodigestor industrial. El dimensionamiento de un biodigestor industrial depende de muchos factores pero la empresa en estudio posee todas las características para implementar esta tecnología que le aportaría mucho a su economía, a los pobladores del lugar y el principal factor que debemos tener presente hoy en día que es el medio ambiente.

2.3.1 Criterios a considerarse en el diseño de un Biodigestor

Los siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor: (Aznar, 2010) (Magariños, 2015)

2.3.1.1 Factores humanos:

- Idiosincrasia
- Necesidad, la cual puede ser sanitaria, de energía y de fertilizantes.
- Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.
- Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales. (Aznar, 2010) (Magariños, 2015)

2.3.1.2 Factores biológicos:

- Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas

2.3.1.3 Factores físicos:

- Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.
- Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.
- Vías de acceso.
- Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.
- Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica. (Aznar, 2010) (Magariños, 2015)

2.3.1.4 Factores de construcción:

- Técnicas de construcción si es de tierra compactada, cal y canto o ladrillo (barro cocido, suelo-cemento, silico-calcáreo), planchas prefabricadas, ferrocemento, concreto, módulos prefabricados. (Aznar, 2010)(Magariños, 2015)

2.3.1.5 Factores utilitarios:

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.
- Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar, comunitario o empresas.

- La capacidad de los biodigestores si son casero de 3 a 12 Nm³ / digestor; si es semi- industrial de 12 a 45 Nm³ digestor y si es industrial de 45 a más de miles de Nm³ / digestor.
- Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento del pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de pH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto liquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por último los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores. (Aznar, 2010) (Magariños, 2015)

2.3.2 Criterios para el dimensionamiento de los digestores.

Para el correcto dimensionamiento de un Biodigestor se requiere condicionar los siguientes factores:

- Cantidad de biomasa disponible.
- La producción específica de gas según la biomasa disponible.
- La consideración de estos factores nos permite dimensionar el volumen

2.3.3 Calculo del volumen de digestión.

El biodigestor se compone de dos zonas, la parte gaseosa donde se acumulara el biogás generado por la biodigestión y la parte liquida que corresponde a la biomasa o sustrato, estas dos secciones compones el volumen total del biodigestor se determina por la ecuación (2.1). (Guardado, 2007) (Novillo, 2010).

$$V_d = \frac{(k_{g_{Cachaza}} + k_{g_{agua}}) * \text{tiempo retención}_{TR}}{\rho_{mezla}} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

V_d .-Volumen de digestión (m³)

TR. - Tiempo de retención (día)

ρ_{mezla} - Densidad de la mezcla (kg/m³)

2.3.4 Determinación del volumen de construcción del digestor.

El volumen de construcción del biodigestor es un 30% más del volumen de digestión y se determina por la ecuación (2.2). (Guardado, 2007) (Novillo, 2010)

$$V_{cd} = V_d + 0.3 * V_d = 1.3 * V_d \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

V_{cd} – Volumen de Construcción del Digestor (m^3)

V_d .-Volumen de digestión (m^3)

2.3.5 Cantidad necesaria de Digestores.

Se calcula el volumen total de un biodigestor mediante la ecuación (2.3) (Guardado, 2007) (Novillo, 2010)

$$V_{Tk} = \frac{\pi * D^2 * h}{4} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

V_{Tk} – Volumen total del biodigestor (m^3)

D – Diametro del biodigestor (m)

h – Altura del biodigestor (m)

El número total de biodigestores se determina mediante la ecuación (2.4) (Guardado, 2007) (Novillo, 2010)

$$N^{\circ} = \frac{V_{cd}}{V_{Tk}} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

N° – numero total de biodegestores.

V_{Tk} – Volumen total del biodigestor (Nm^3)

V_{cd} – Volumen de Construcción del Digestor (Nm^3)

2.3.6 Calculo del volumen del biogás generado.

Se determina mediante la ecuación (2.5) (Guardado, 2007) (Novillo, 2010)

$$V_{tb} = 0.09m^3 \text{biogás} * 1k_g \text{de cachaza} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

V_{tb} – Volumen de biogás generado. (Nm^3/d)

2.4 Cubierta de los digestores.

En la actualidad existen tres tipos de techos que se fabrican para las zonas superiores de los biodigestores entre ellos se encuentran techo cónico, techo plano y techo de cubierta de membranas. Existen también diferentes materiales utilizados por los diferentes productores de biodigestores:

2.4.1 Cubierta Cónico

Es el tipo de techo utilizado normalmente para aplicaciones industriales, aguas residuales, aguas potables y otros líquidos que puedan desprender vapores y vahos, el acero inoxidable es muy resistente a este tipo de ataques. Este tipo de techo se fabrica con terminación en chapas de aceros inoxidables, acero galvanizado y en acero galvanizado con pintura en la figura 2.6 se muestra este tipo de cubierta.(Trabinox, 2017)



Figura 2.6 Cubierta de tipo cónica de un biodigestor

Fuente:(Trabinox, 2017)

2.4.2 Techo Plano

Es el tipo de techo utilizado normalmente en depósitos para prevención de incendios, depósitos para riego y en todas aquellas aplicaciones donde no haya vapores ni vahos producidos por los líquidos acumulados y que puedan atacar al galvanizado. Este tipo de techo solo se fabrica con terminación en chapas de acero galvanizado en caliente acanalada y reforzada por sus pliegues en la figura 2.7 se muestra una cubierta plana.(Trabinox, 2017)

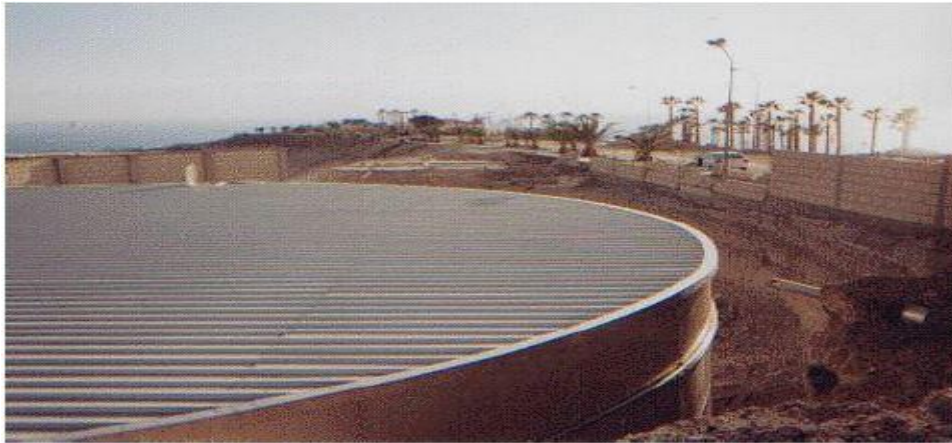


Figura 2.7 Cubierta plana de un biodigestor.

Fuente:(Trabinox, 2017)

2.4.3 Cubierta de membranas

Una cubierta de membranas es utilizada frecuentemente en las industrial debido a sus extraordinarias propiedades físico-químicas como la resistencia a gases, humedad, tracción, rasgado, sol, calor, ozono y agentes ácidos. El sellado de la geomembrana debe ser tal que asegure una total estanqueidad a una presión de 20 mbar en su interior, puesto que será la presión habitual a la que estará sometida al almacenar el biogás generado en el interior del digestor en la figura 2.8 se muestra una cubierta de membrana.(Trabinox, 2017)



Figura 2.8 Cubierta de membrana.

Fuente:(Bragachini, 2017)

2.5 Sistema de agitación mecánica de los digestores.

A través de la agitación se logra una mejor distribución de la temperatura, la remoción de las burbujas de biogás producidas por las bacterias metanogénicas y un mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana existente en el digestor. Adicionalmente se evita la formación de costras sobre

la superficie de la biomasa y la formación de espacios muertos sin actividad biológica. Existen diversos tipos de agitadores, siendo los utilizados en el presente proyecto los de tipo mecánico y eje inclinado.

2.5.1 Clasificación de los agitadores.

2.5.1.1 Agitadores de flujo axial

Estos permiten un flujo que se desprende de las palas del impulsor aproximadamente a 45° y por lo tanto presenta recirculación, luego retorna hasta la zona central de las palas, creando un campo de flujo de ida y vuelta paralelo al eje de giro. Este tipo de flujo se presenta con un Reynolds de entre 200 a 600, se transforma en flujo radial cuando el número de Reynolds disminuye. Los agitadores de flujo axial incluyen a todos los que tienen palas que forman un ángulo menor de 90° con el plano perpendicular al eje. Las hélices y turbinas de palas o aspas inclinadas son las más representativas de este tipo de agitadores. Existen dos rangos básicos de velocidades de giro: de 1150 a 1750 rpm con transmisión directa, y de 350 a 420 rpm con transmisión por engranajes. Para la suspensión de sólidos es habitual utilizar las unidades de transmisión por engranajes, mientras que para reacciones o dispersiones rápidas son más apropiadas las unidades de alta velocidad. (Castillo, 2013)

2.5.1.2- Agitadores de flujo radial.

Los más representativos son los agitadores de palas planas. Éste tipo de agitadores incluyen palas (o aspas) paralelas al eje del motor. Los más pequeños y de aspas múltiples se denominan “turbinas”; los mayores, de velocidades más bajas, con dos o cuatro aspas, se denominan agitadores de palas o de paletas. Generan un flujo radial para cualquier Reynolds y proporcionan alta velocidad tangencial aunque baja capacidad de impulsión.

En la mayoría de los procesos industriales de mezclado se busca que la capacidad de impulsión sea lo mayor posible, mientras que la velocidad tangencial no constituye un factor de importancia y por lo tanto se prefiere evitar. Por esto, este tipo de agitador no es de uso común, siendo los más utilizados los que principalmente maximizan el flujo y minimizan la velocidad tangencial. Estos agitadores de palas rígidas se clasifican según el valor del cociente entre el área total de las palas con respecto al del círculo que circunscribe al agitador; y, según aumenta la viscosidad del fluido, un mayor

valor del cociente anteriormente definido resulta más efectivo para proporcionar un tipo de flujo predominantemente axial. (Castillo, 2013)

2.5.1.3- Agitadores de paso cerrado.

En este tipo de agitadores se incluyen los de tipo de tipo ancla y helicoidal. Su principal característica es que trabajan muy cercanos a la pared del estanque y son particularmente eficaces para fluidos de alta viscosidad, en los que es necesario tener concentrada la capacidad de mezcla cerca de la pared, consiguiéndose un campo de flujo más efectivo que con los agitadores anteriormente mencionados. (Castillo, 2013)

2.6 Selección del motor para el grupo electrógeno a biogás.

La selección del motor para la generación de electricidad mediante el biogás se considera la carga instalada de la planta de biodigestor que alimentara dicho equipo, también debe seleccionarse el nivel de tensión al que se genera la potencia de energía eléctrica ya que este estará conectado a las líneas de distribución para alimentar zonas urbanizadas o rurales cercanas a la planta o entregarla al sistema eléctrico nacional. Otro dato que debe considerarse es el volumen de producción de biogás al día, tal manera que el motogenerador pueda operar las 24 horas. En general de funcionamiento es el mismo que usan los motores Diesel, la diferencia es que estos motores pueden operar compartiendo simultáneamente el combustible gaseoso con líquido sin afectar a la potencia de salida del motor. Esta versatilidad que presentan estos motores ha hecho que sea de gran aplicabilidad en la industria petrolera para operar usando como combustible gas asociado y petróleo, sin que las variaciones del suministro de gas sea un problema. El sistema de combustible compartido permite operar al motor con combustible gaseoso y líquido en diferentes proporciones de acuerdo a la disponibilidad de los mismos, siempre que se encuentren dentro de la ventana de operación específica de cada motor. (Novillo, 2010)(Aznar, 2010)

2.6.1 Ecuación para determinar el número de motores necesarios.

La generación de electricidad del motogenerador seleccionado en 1 día, se determina por la ecuación (2.6) (Fuente: (Guardado, 2007) (Novillo, 2010))

$$P_t = P_{nm} * N^{\circ}_{h/d} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde:

P_t – Potencia total generada en un día (kWh/d)

P_{nm} – Potencia nominal del motor (kW)

$N^{\circ}_{h/día}$ – Número de horas que hay en un día (h/d)

2.6.2 Determinación del consumo de biogás por el motogenerador.

El consumo de biogás del motogenerador lo determinamos por la ecuación 2.7 (Fuente: (Guardado, 2007) (Novillo, 2010))

$$C_{bm} = P_t * C_{dtf} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde:

C_{bm} – Consumo de biogás por un motor en 1 día. (Nm³/d)

P_t – Potencia total generada en un día $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{d}}\right)$

C_{dtf} – Consumo del fabricante para generar $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kWh}}\right)$

2.6.3 Determina la cantidad de motogenerador necesario.

Para determinar el número de motogenerador se tiene en cuenta la cantidad de biogás generador por el biodigestor en 1 día en la ecuación 2.8 se muestra como se determina. (Fuente: (Guardado, 2007) (Novillo, 2010))

$$N^{\circ}_m = \frac{V_{tb}}{C_{bm}} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

N°_m – Número de motores necesarios.

V_{tb} – Volumen de biogás generado. (Nm³/d)

C_{bm} – Consumo de biogás por un motor en 1 día. (Nm³/d)

2.7 Diferentes softwares para el cálculo de biodigestores industriales.

El mundo se ha desarrollado a una velocidad supersónica en cuanto a tecnologías de información, desarrollo de nuevas fuentes de obtención de alimentos y de nuevas alternativas para satisfacer la demanda creciente de energía. Las tecnologías de la informatización también están muy vinculadas al desarrollo de las nuevas fuentes de energía renovable para obtener mayor

calidad en los proceso de obtención de energía, el diseño de plantas de biogás no han estado exceptas de estos avances, existen diferente países que han apostado por automatizar el proceso de diseño y construcción de biodigestores industriales posibilitando una mayor eficiencia y un uso menor del tiempo de diseño de las plantas. Existen diferentes software creados en las industrias a continuación explicaremos algunos de ellos.

2.7.1 El programa biodigestor

El programa biodigestor es una herramienta para el dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás, para el aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás, generación de energía eléctrica y fertilizante orgánico. El programa puede ser aplicado para el dimensionamiento de biodigestores para aprovechar residuos orgánicos y desechos de:(AquaLimpia Beratende Ingenieure, 2008)

- estiércoles de animales
- desechos de mataderos, camales, procesadoras de carne
- industrias lecheras
- industrias vinícolas
- Enlatadoras de alimentos
- extractoras de aceites de palma
- procesadoras de pescado, camarónicas, acuicultura
- industria cervecera
- ingenios azucareros

El programa biodigestor trabaja en un entorno intuitivo y permite dimensionar y diseñar biodigestores y sus estructuras auxiliares. Se puede representar desde esquemas tan sencillos como una planta de biogás de un solo biodigestor o sistemas complejos compuestos de varios digestores, tanques de alimentación y de descarga, etc.Las principales características de del programa biodigestor se enumeran a continuación:(AquaLimpia Beratende Ingenieure, 2008)

- Permite el ingreso de más de 10 tipos diferentes de biomasa (estiércol de cerdo, de ganado, gallinaza, vinazas, desechos orgánicos de restaurantes, grasas, aceites, agroindustriales, de rellenos sanitarios, etc.), aguas residuales, como sustrato para alimentar los biodigestores.

- Permite la selección de biodigestores sobre tierra, bajo tierra y con terraplén. En este último caso permite la variación de la altura del terraplén y calcula los volúmenes de excavación y relleno.
- El programa dimensiona y diseña un biodigestor o una planta de biogás con varios digestores, sean estos tanques de hormigón, acero, o digestores tipo laguna con fondo de geomembrana y cubierta de PVC-EPDM.
- Calcula la producción de biogás, energía eléctrica, potencia a instalar (kW) de varios tipos de biomasa, aguas residuales, vinazas, etc. (depende de la versión)
- Calcula equivalencias energéticas del biogás producido
- Calcula la producción de biol, fertilizante seco y contenido de nutrientes.

El programa es de una importante firma alemana llamada aqualimpia la cual tiene convenios de cooperación con nuestro país para el diseño de plantas de biogás, en las (figuras 2.9, 2.10) se muestra imágenes del software.

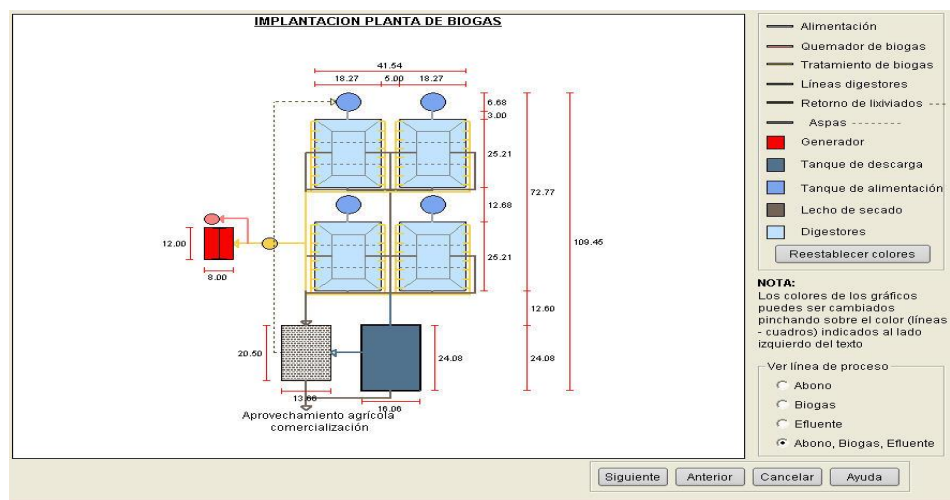


Figura 2.9 Software el Biodigestor

Fuente:(AquaLimpia Beratende Ingenieure, 2008)

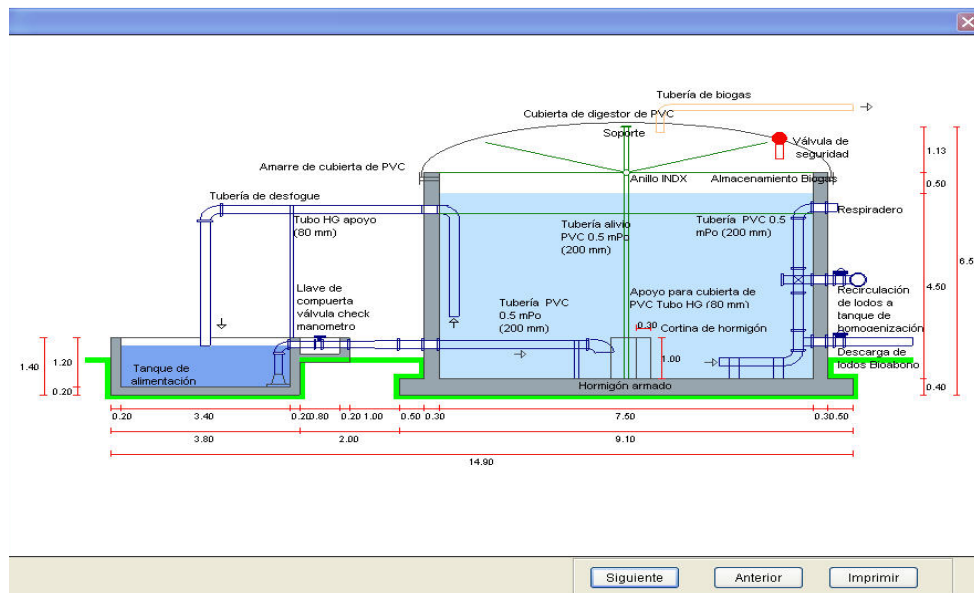


Figura 2.10 Software el Biodigestor

Fuente:(AquaLimpia Beratende Ingenieure, 2008)

2.7.2 El programa de los Biodigestores FD.

Es una herramienta para el diseño y dimensionamiento de las plantas de biogás, mediante el aprovechamiento de los desechos orgánicos para la producción del biogás como la generación de energía eléctrica y fertilizante orgánico.(David González, 2013)

.Las principales características del programa de los Biodigestores FD se enumeran a continuación.

- Permite el ingreso y combinación de más de 6 tipos de biomasa (estiércol de vacuno, cerdo, ovino, cuy, conejos, paja de arroz, desechos de cocina, aserrín, etc.), como sustratos para alimentar al biodigestor.
- El programa utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI).
- Calcula la cantidad de biomasa disponible, según el peso y cantidad de animales.
- Ingresar y guardar nuevos tipos y especies de biomasa, siempre y cuando conozca sus especificaciones necesarias como densidad, especie, etc.
- A fin de evitar confusiones con su nomenclatura, se ha escrito adjunto su nombre específico.
- Tiene notas de advertencia, que indican que parámetros que son considerados como los óptimos de trabajo.

- Permite el dimensionamiento del biodigestor, con el cálculo de su volumen.
- Considera que tiempo va estar almacenado el biol según decisiones del constructor.(González, 2013)

El programa biodigestor FD este programa fue creado por la universidad Politécnica de Chimborazo en Ecuador es una alternativa para el diseño de pequeño biodigestores a continuación en las (figuras 2.11, 2.12) Se muestran imágenes del software.



Figura 2.11 Pantalla de inicio del software el Biodigestor FD

Fuente: (González, 2013)

ID	Nombre	PesoPromedio	PesoVivoEstiercol	RelacionExcretasA	Densidad
1	Vacuno	450	0,05	1,3	994
2	Cerdo	100	0,02	0	994
3	Avícola	2,5	0,045	1,3	994
4	Porcina	100	0,02	3	994
5	Cuy	0,55	0,03	3	994

Figura 2.12 Datos técnicos de animales en el software el Biodigestor FD

Fuente: (González, 2013)

2.7.3 Desarrollo en el programa excel de la metodología elaborada.

Los diferente softwares mencionados anteriormente creados por diferentes instituciones, es imposible adquirirlo por su alto valor en el mercado internacional, no solo su alto valor imposibilidad la adquisición de ellos, la férrea guerra política que tiene contra nuestro país el gobierno de los EE.UU las instituciones mencionadas anteriormente no permite que Cuba puede tenerlos por temor a las multas impuestas por el gobierno de los EE.UU. Se ha elaborado una metodología de cálculo para el diseño del biodigestor en la figura 2.13 se muestra una imagen de excel elaborado.

ArchivoInicioInsertarDiseño de páginaFórmulasDatosRevisarVista Cortar Copiar Pegar Portapapeles Copiar formato Calibri 11 A⁺ A⁻ B I S Color de fuente Color de fondo Alineación Combinar y centrar General % 000 Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Auto Relle Borra													
P26													
1	Metodología de cálculo de un biodigestor industrial para la UEB Central Caracas												
2													
3													
4													
5	Datos básico para el diseño de biodigestor industrial						Características de la material organica para el biodigestor industrial.						
6							Materia Orgánica	U/M					
7	Ton Cachaza sólida	144,871 ton/día			144871	kg/día	Excreta porcina	Kg	1	Eq. En Biogás m3	Dilución E/A	Tr. Días	
8							Excreta vacuna	Kg	1				
9	Densidad Mezcla	1000	kg/m3				Excreta de pollos	Kg	1				
10							Excreta de carnero	Kg	1				
11	Tiempo de retención	30	días				Cachaza	Kg	1				
12							Excreta humana	Kg	1				
13	Proporción cachaza agua	1	:3		3								
14													
15						Vd		17384,52	m3/días				
16	Volumen de digestión.												
17													
18	Vd. = {(kg. Cachaza + kg. Agua)* Tiempo Ret. }/pmezcla						Determinación del volumen de construcción del digestor						
19													
20	Donde:						Vcd. = Vd. + 0.3*Vd. = 1.3*Vd		Vcd		22599,876	m3	
21													

Figura 2. Excel elaborado para el cálculo de biodigestor industrial.

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones parciales.

1. Las fuentes bibliográficas clasifican los diferentes tipos de biodigestores industriales que existen, en discontinuos, continuos y semi-continuo. , todos ellos en capacidades que van de unos pocos de cientos de Nm^3 a 5 000 Nm^3 .
2. Se ofrece la metodología para el cálculo de un biodigestor industrial de tipo continuo y los criterios a considerar para el diseño. Se acompaña la misma de una página en Excel para facilitar los cálculos.
3. Los principales equipos por los que está compuesto los biodigestores industriales son los calentadores, los agitadores, y los tipos de cubiertas rígidas y flexibles. Como tendencias tecnológicas el mayor cambio se aprecia en las cubiertas flexibles de alta resistencia y aceptables costos.
4. Los principales softwares a nivel internacional ofrece el dimensionamiento de los biodigestores, su uso en plantas eléctricas con grupos electrógenos y dan las evaluaciones económicas de los proyectos, pero lo elevado de su costo hace imposible su adquisición para la generalización de su uso.

Capítulo III

Capítulo III. Proyecto de utilización industrial de la cachaza en la generación de biogás en el central “Ciudad Caracas”

Introducción al capítulo III

El presente capítulo se realiza un levantamiento del potencial de producción de residuos del central, se realiza los cálculos del diseño del biodigestor propuesto para la UEB Ciudad Caracas, se exponen los elementos fundamentales que lo componen, se realiza un análisis de factibilidad económica de las principales potencialidades de la utilización del biogás y sus efectos económicos.

3.1 Caracterización de la UEB central “Ciudad Caracas”.

El Central Azucarero “Ciudad Caracas” fue fundado en Junio de 1861 por Don Tomás Adams, natural de Caracas, Venezuela y aparece registrado en el folio 3140 como el “Ciudad Caracas”. A principios de la década de 1940 el banco Boston, vende el ingenio a los magnates azucareros Lobo-Escagedo-Cacicedo quienes lo mantuvieron hasta el triunfo de la revolución cuando fue nacionalizado. Después de varias transformaciones en la estructura del ministerio del azúcar en Cuba, en el año 2003 se propone la creación de la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas” asociado a la empresa Azucarera Cienfuegos. Se encuentra situada en el Batey de su mismo nombre en el municipio de Lajas, Provincia Cienfuegos. El objetivo fundamental de la fábrica es la producción y comercialización de azúcar crudo afinado para la exportación, la producción de energía eléctrica, venta de bagazo a granel, venta de cachaza como fertilizante para los suelos, miel urea bagacillo para alimento animal, mieles para la obtención de alcoholes, rones entre otros y a pesar de la disminución del peso relativo de estos productos en la economía cubana se tiene como principal misión la producción de azúcares de alta calidad y alimento con competitividad y sostenibilidad, que satisfaga las necesidades del cliente y la elevación del nivel de vida de los trabajadores, dentro de sus objetivos estratégicos se plantea incrementar el índice de generación eléctrica en las venideras zafras, disminuyendo el consumo de vapor y de electricidad.(García, 2016)

3.1.2 Potencialidades de la UEB “Ciudad Caracas” en la generación de cachaza.

Todo este proceso tecnológico que tiene como objetivo principal la producción de azúcar, genera una gran cantidad de residuos que emiten mal olor al medio que lo rodea, entre ellos está la cachaza que en muchos casos esta se desecha dándole la menor importancia como fuente de energía, una solución viable seria la descomposición anaeróbica de este residuo en grandes digestores para la producción de biogás y abono orgánico.

Tabla 3.1 Caña molida y producción de cachaza del central Ciudad Caracas en las ultimas 5 zafras.

Fuente: Laboratorio de análisis químico del central Ciudad Caracas.

Años de Zafras	t de Caña molida	t de cachaza producida	% de cachaza en caña
2013	428012.92	12033.025	3.76
2014	386331.13	12533.542	3.24
2015	421039.46	16257.757	3.86
2016	395520.81	12807.350	3.28
2017	432554.32	21730.674	5.02

3.2 Posibles campos de utilización del biogás en la UEB “Ciudad Caracas”.

La cachaza es un residuo del proceso de clarificación del guarapo, que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Su composición es variable, en dependencia de las características del lugar, del tiempo de producida, de las sustancias empleadas en la fabricación del azúcar y de otros muchos factores.

En la siguiente tabla 3.2 se han listado los principales artefactos que utilizan biogás juntamente a su consumo medio.

Tabla 3.2 consumo medio biogás por diferentes equipos.(Barrera, 2007)

Equipos	Consumo
Cocina	150-200 l/hora
Lámpara de Iluminación	120-200 l/hora
Refrigeración Doméstico	50-100 l/hora
Motor de Combustión	500 l/hora por HP
Cocina Industrial	2000-3000 l/hora

El biogás al igual que otros gases como él (licuado) LPG y el gas natural, tienen una gran variedad de usos tanto domésticos como industriales. A continuación relacionamos los usos más importantes del biogás.

3.2.1 En cocina y en alumbrado.

Se emplea con una presión de 75-90 mm de CA a razón de 0,38-0,42 Nm³ por persona - día. Para presiones inferiores el per cápita debe calcularse a razón de 0.5Nm³ /d. Se emplea una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W) consume 0,11 a 0,15 Nm³/h de biogás requiriendo una presión de 70 a 85 mm de CA.(Barrera, 2007)(García, 2016)

3.2.2 En motores de combustión interna.

El biogás es un combustible excelente para motores tanto de gasolina como diesel. Solo se registra una ligera disminución de la potencia y el motor trabaja algo más caliente que cuando lo hace con el combustible líquido tradicional. Si se les dota de un mezclador de aire-gases adecuado, se pueden trabajar los motores de gasolina con el 100 % de biogás no siendo necesario emplear esta incluso en el arranque.(Kaiser, 2012)

3.2.3 En sistema de cogeneración de electricidad.

Los sistemas de cogeneración. Dichos sistemas buscan la mayor eficiencia en el aprovechamiento de la energía contenida en el biogás. En estos casos la potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad a través de un generador. Simultáneamente y por medio de una serie de intercambiadores de calor ubicados en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía térmica liberada en la combustión interna. De este modo se logra un mejor aprovechamiento de la energía. La difusión de estos sistemas estará condicionada por la rentabilidad final. Sin embargo representa la utilización más racional del biogás ya que se obtiene una forma de energía extremadamente dúctil como la electricidad al mismo tiempo que una fuente de calor muy necesaria para la calefacción de digestores en zonas frías. El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Sin embargo su difusión está limitada por una serie de problemas. A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (20 a 30 MPa); este tipo de

almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.

3.2.4 Producción de biofertilizante

Este interesante proceso de descomposición de la materia orgánica compleja (Celulosa, carbohidratos, almidón, proteínas, etc.). Que produce biogás combustible (con 60% de metano y aproximadamente el 40% de dióxido de carbono), se lleva a cabo dentro de una instalación completamente cerrada, denominada biodigestor, que permite recolectar diariamente todo el combustible producido. Así mismo, la obtención de un residuo estabilizado con excelentes propiedades como abono orgánico permite, incrementar la producción de alimentos, en cantidad y calidad, la fertilidad del suelo, sin contaminarlo. Ambos procesos aportan a una mejor calidad de vida y sustentabilidad ambiental. En consecuencia, la generación de biogás constituye una alternativa tecnológica y socialmente apropiada, que puede ser utilizada para beneficio del hombre y su medioambiente. Debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y la contaminación que algunos proporcionan al ambiente, cuando se utilizan irracionalmente, es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes. Además de generar gas combustible, la fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, evitando de esta forma la competencia que se podría presentar con el aprovechamiento tradicional de los residuos animales y agrícolas con fines fertilizantes o como combustible. Este biofertilizante o bioabono sólido o líquido no posee mal olor, a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae a moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en cantidades recomendadas. El bioabono sólido puede deshidratarse y almacenarse para usarlo posteriormente. Sin embargo produce pérdidas por volatilización hasta 60%, sobre todo de nitrógeno. Un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente puede fertilizar más de 2 ha de tierra por año y proporcionar hasta 200kg Nha-1. El bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y, puede considerarse como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos.

3.3. Dimensionamiento de la planta de Biogás en la UEB Central Azucarero “Ciudad Caracas”.

Para el cálculo del diseño de un biodigestor es de vital importancia tener las características de la materia orgánica pues de ella sabremos la cantidad de biogás a general y las características del tipo de planta que diseñaremos. En la tabla 3.3 se muestra las características de las diferentes material orgánicas.

Tabla3.3 Características de la materia organiza en la UEB “Ciudad Caracas”.
(Guardado, 2007)

Materia Orgánica	U/M	Cant.	Eq. En Biogás m3	Dilución E/A	Tr. Días
Excreta porcina	Kg	1	0.031	1 :3-10	16
Excreta vacuna	Kg	1	0.035	1 :1-3	14
Excreta de pollos	Kg	1	0.045	1 :3	20
Excreta de carnero	Kg	1	0.04	1 :3	30
Cachaza	Kg	1	0.09	1 :3	25
Excreta humana	Kg	1	0.05	1 :1-3	16

3.3.1 Calculo del volumen de digestión

De la ecuación 2.1 determinamos el volumen de digestión.

$$V_d = \frac{144,83 * 10^3 + (144,87 * 10^3 * 3) * 30}{1000}$$

$$V_d = 17384,40 Nm^3/d$$

3.3.2 Determinación del volumen de construcción del digestor.

El volumen de construcción del biodigestor es un 30% más del volumen de digestión y se determinar en ecuación (2.2)

$$V_{cd} = 17384,40 + 0.3 * 17384,40 = 22600 Nm^3$$

3.3.3 Cantidad necesaria de Digestores.

Se calcula el volumen total de un biodigestor dada en la ecuación (2.3)

$$V_{Tk} = 0.785 * 30^2 * 6 = 4239 Nm^3$$

El número total de biodigestores se determina por la ecuación (2.4) dada en el capítulo anterior.

$$N^{\circ} = \frac{22600}{4239} = 6$$

El número de biodigestores que necesitaremos para satisfacer la demanda de biogás generada por la UEB Ciudad Caracas es de 6.

3.3.4 Cálculo del volumen del biogás generado

El volumen del biogás generado será determinado por la ecuación (2.5) dada en el capítulo anterior.

$$V_{tb} = 0.09m^3 * 144871kg/d$$

$$V_{tb} = \frac{13038.39m^3}{24 \text{ horas}} \text{ días}$$

$$V_{tb} = 543,26 \text{ Nm}^3/h$$

3.3.5 Cálculo para determinar el número de motores necesarios.

El modelo que se propone de motogenerador es "AQL220" está formado por un motor combustión interna de marca Cummins convertido de diesel a biogás de consumo de combustible 0,542 Nm³/kWh este modelo tiene una capacidad de generar una potencia eléctrica continua de 180 kW. En la figura 2.6 se muestra el motor de la firma alemana "Aqualimpia". También en la tabla 3.4 se muestran los datos técnicos de este motor y en el Anexo IV se muestran el catálogo para la selección del motor.



Figura Motogenerador AQL220

En la tabla 3.4 se muestran las características generales del motogenerador.

Datos	Valores
Potencia primaria	220kW
Potencia continua	180kW
Frecuencia	60 Hz
Voltaje nominal	480 V
Corriente nominal	331 A
Factor de potencia	0.8
Combustible	biogás
Presión de entrada del gas	2-10 kPa
Dimensiones	350cm x155cm x190 cm
Peso	2800 kg
Nivel de protección	IP23
Periodo de garantía	2000 horas
Modelo	KTAA19
Método de encendido	eléctrico
Método de enfriamiento	agua
Capacidad de aceite	38
Consumo de combustible	0.542 Nm ³ /kWh

La generación de electricidad del motogenerador seleccionado en 1 día, se determinar por la ecuación (2.6) dada en el capítulo anterior.

$$P_t = 180\text{kW} * 24\text{h} = 4320 \text{ kWh/d}$$

A continuación se determina el consumo de biogás en el motogenerador por dado en el capítulo anterior en la ecuación 2.7

$$C_{bm} = \frac{4320\text{kWh}}{\text{días}} * 0.542 \frac{m^3}{kWh} = 2341,44 \text{ Nm}^3/\text{d}$$

Para determinar el número de motogenerador se tiene en cuenta la cantidad de biogás generador por el biodigestor en 1 día se determina en el capítulo anterior en la ecuación 2.8.

$$N^{\circ}_m = \frac{13038,39}{2341,44} = 5.56$$

El número de motores seleccionado serán 6 para nuestra planta teniendo una capacidad de generación eléctrica de 24056,07 kWh/d lo que es lo mismo 24 MW.

3.4 Características operativas del proceso de digestión.

El diseño de la planta contara con un total de 6 biodigestores, realiza dos digestiones con tal de optimizar la producción de biogás y así reducir al máximo los residuos de materia orgánica que obtengamos. En una primera fase, la materia orgánica se someterá a una digestión anaerobia en dos digestores (digestores **1** y **2**) conectados en paralelo. La temperatura del proceso será en esta primera digestión de 30°C, es decir, la digestión se llevará a cabo en un régimen mesofílico durante 29 días. Tras la digestión primaria, se procederá a realizar una segunda digestión en (4 digestores) conectado en serie con los dos primeros. Esta segunda digestión se realizará a 60°C, es decir, en régimen mesofílico durante 21 días.

3.5 Cubierta de los digestores.

Se instalara una cubierta de EPDM (Caucho Etileno Propileno Dieno tipo M ASTM). Se ha elegido este material debido a sus extraordinarias propiedades físico-químicas como la resistencia a gases, humedad, tracción, rasgado, sol, calor, ozono y agentes ácidos. El sellado de la geomembrana debe ser tal que asegure una total estanqueidad a una presión de 20 mbar en su interior, puesto que será la presión habitual a la que estará sometida al almacenar el biogás generado en el interior del digestor.

Las principales funciones que desarrollara la geomembrana serán las siguientes:

- Evita la construcción separada de un gasómetro puesto que permite almacenar biogás en su interior a la presión requerida para alimentar a los motores.
- Simplifica el mantenimiento del digestor, puesto que es fácilmente removible.
- Asegura un elevado grado de termo-ventilación en la parte superior del digestor, ayudando a deshumedecer el gas almacenado mediante condensación del agua (sobre todo en los meses más fríos) en contacto con la pared de la membrana.(Aznar, 2010)

3.6 Sistema de agitación para el biodigestor.

A través de la agitación se logra una mejor distribución de la temperatura, la remoción de las burbujas de biogás producidas por las bacterias metanogénicas y un mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana existente en el digestor. Adicionalmente se evita la formación de costras sobre la superficie de la biomasa y la formación de espacios muertos sin actividad biológica. Existen diversos tipos de agitadores, siendo utilizados en el presente proyecto los de tipo mecánico y eje inclinado por recomendación de la empresa Wolf System. Su funcionamiento será continuo para evitar el desgaste y aumento de consumo que se da en los motores de los agitadores en cada arranque parada. La velocidad de agitación es un parámetro de vital importancia, ya que una excesiva agitación podría incluso disminuir la producción de biogás por ruptura de agregados bacterianos. Los agitadores mecánicos son suministrados por la empresa Wolf System, cada digestor constará de dos agitadores inclinados situados en los laterales del mismo con una potencia estimada por agitador de 15 kWh con un régimen de giro de 75 rpm. El motor del agitador se instalara exteriormente, el eje y alabes de la hélice serán de acero inoxidable para evitar la corrosión y su deterioro.

3.7 Análisis de factibilidad técnica económica en diversos campos para la utilización del biogás mayor potencialidad para UEB “Ciudad Caracas”.

Una planta de biogás pretende maximizar los ingresos minimizando la inversión. Como dicta el Plan de Energías renovables “el interés fundamental de desarrollar proyectos de uso energético de biogás parte de una motivación ambiental, no energética”. En el caso concreto del biogás el tratamiento de residuos orgánicos puede suponer una actividad de importancia estratégica con los siguientes objetivos:

- Producción de energía (electricidad o calor)
- Evitar/reducir emisiones de gases de efecto invernadero y lluvia ácida.
- Producir compuestos de valor económico.
- Contribuir a la calidad de los suelos y al reciclaje.

Esta importancia estratégica conlleva a que el planteamiento de las plantas de digestión anaerobia no se deba plantear bajo un estricto esquema de “negocio”,

sino más bien bajo esquema de estrategia y oportunidad. Así, el cambio de concepto es importante, hablando de conceptos como tonelada de petróleo ahorrada, tonelada de compost fertilizante producida, tonelada de materia orgánica incorporada al suelo, en cualquier caso el objetivo principal es reducir la producción de residuos en origen.

3.7.1 Uso del biogás como venta de combustible cocción de alimentos.

Análisis de factibilidad técnica económica del biogás como combustible para la cocción de alimentos en comedor obrero y en la Comunidad Ciudad Caracas o en zonas aledañas a esta. Para el análisis económico se tendrá en cuenta que 1 Nm³ de biogás se paga a 0,5 centavos nuestra planta tiene una capacidad de general 13 038 Nm³/d lo que generar un ingreso de 6 519 \$/d.

3.7.1.2 Uso del biogás para la generación de electricidad en la UEB

“Ciudad Caracas” y su venta al (UNE).

El uso del biogás como generación de electricidad es una tendencia llevada por todos los países en vía de desarrollo y por los desarrollados nuestro país no está exento de ello. La historia reciente de nuestro país muestra que los programas de estímulo a las energías renovables hasta la actualidad no han logrado el desarrollo a gran escala de las mismas como se pretende en el futuro de nuestra nación. El impulso a la generación de energías renovables y en particular a partir de biomasa, es una oportunidad para nuestro país que cuenta con el recurso, además de contribuir al cuidado del medio ambiente y cumplir con estándares internacionales, contribuyen a generar un mayor nivel de actividad económica y nuevos puestos de trabajo. Es importante revisar la experiencia internacional que nos muestra cómo avanzaron países que ya tienen desarrollado este sector, los obstáculos con los que se encontraron y el camino exitoso hacia mercados más grandes como una nueva área de innovación tecnológica o el desarrollo de la bioeconomía. Nuestra planta contara con 6 motores que generaran 24 056,07 kWh/d, la venta del kW/h en la industria azucarera la empresa eléctrica nacional lo paga a 0,20 \$/kWh dado por (AZCUBA, 2016) (Giménez, 2016) la generación de electricidad y su posterior venta genera un ingreso en el orden de los 3 848,97 \$/ d.

Conclusiones Parciales

1. El estudio demuestra las potencialidades que tiene la UEB “Ciudad Carcas” para la generación de cachaza, para el diseño del biodigestor se toma la mayor producción que está en el orden de las 21 730,674 t en el periodo de zafra que es de 150 días.
2. El diseño de la planta eléctrica para la UEB “Ciudad Caracas” muestra que para las 144 t/d de cachaza generada, se requieren 6 biodigestores de 4 320 m³ c/u y 6 grupos electrógenos 180 kW cada uno. Ello da una capacidad de generación total de 1MW.
3. Se determinaron los parámetros fundamentales para el diseño del biodigestor que tendrá una capacidad de 13 038 m³/días y una capacidad de generación de electricidad 24 056,07 kWh/d.

Capítulo IV

Capítulo IV. Evaluación económica de la propuesta de mejoras. Cuantificación de los principales indicadores financieros de las inversiones.

Introducción al capítulo IV

En presente capítulo se realiza los cálculos para determinar la magnitud de la inversión y en cuanto tiempo se podrá recuperar esta. Se determina los principales indicadores financiero que permite evaluar la rentabilidad de la planta de biogás en la UEB “Ciudad Caracas”.

4.1. Consideraciones para la evaluación económica de la planta de biogás en la UEB “Ciudad Caracas”.

El presente capítulo contiene criterios generales respecto de las alternativas de comercialización y valoración de los productos y potenciales servicios asociados a la producción de biogás, así como de los costos de desarrollo de las plantas de biogás. Como se ha descrito en los capítulos previos, los proyectos de biogás pueden estar asociados a múltiples fuentes de sustratos, tales como residuos líquidos y sólidos de la agroindustria, plantas de tratamiento de aguas servidas que incluyan digestión anaerobia en su sistema, directamente de cultivos energéticos de la agricultura o de la captación del biogás producido en rellenos sanitarios. Debido a esa diversidad y a la naturaleza compleja del proceso de producción de biogás, es difícil entregar valores concretos para los parámetros relevantes en la evaluación económica en este trabajo lo cual los rangos de valores aquí entregados pueden ser considerados sólo para una primera aproximación en dicha evaluación. Solo un análisis riguroso, que tome en cuenta las particularidades del proyecto, será concluyente respecto de su viabilidad técnica y económica.

Como se ha señalado previamente, el biogás puede destinarse para la producción de energía eléctrica y/o térmica mediante equipos integrados en las plantas de biogás, o para la sustitución de otros combustibles mediante tratamiento y posterior transporte hasta los centros de consumo de dichos combustibles. En ambas situaciones, la demanda puede estar asociada a consumos propios del productor de biogás (autoconsumo) o bien a la de terceros. Adicionalmente, el digestato generado en las plantas de biogás también puede ser una fuente de ingresos para el proyecto, por su

comercialización o autoconsumo como fertilizante orgánico. Similar situación ocurre con el tratamiento y manejo de los residuos usados como sustrato, más aún si se adicionan a los residuos propios, los de terceros. En la tabla 4.1 mostramos el costo de construcción por m^3 generado en las plantas de biogás en diferentes países.

Tabla 4.1 Costo de construcción por m^3 en diferentes plantas a nivel internacional.

Plantas de biogás	Costo de la inversión €	Biogás generado en $\text{m}^3/\text{días}$	Costo de construcción en € por Nm^3 generado
Central Loma Los Colorados, Chile	40.600.000	194400	209
Planta de biogás Los Ángeles, Chile	2.800.000	9905	282
Planta de biogás Werlte, Alemania	6.600.000	22904	288
Planta de biogás Niederbayern, Alemania	845.500	2600	325
Provincia de Castellón, España	6.892.000	13072	527

La tabla 4.1 nos demuestra como a nivel internacional se comporta el costo de construcción por Nm^3 generado, el rango de estos valores va desde 209 € a 527 € para el diseño de nuestra planta se toma un valor dentro de este rango para realizar la valoración económica de la inversión. Ver Anexo 5 las plantas mencionadas.

4.1.2 Determinar la magnitud de la inversión en su totalidad.

El equipamiento de tecnológico de las plantas de biogás en generado viene dado por diferentes equipos que la componen. El valor de todos estos equipos viene dado por el precio de construcción para generar un Nm^3 de biogás, en nuestro caso se toma 325 \$, de ahí que se incluya todo el equipamiento necesario para la construcción de la planta, en la tabla 4.2 se muestran todos los equipos tecnológicos usado en las plantas industriales de generación de biogás. Las diferentes obras civiles que se realizan para la implementación de la planta y las diferentes instalaciones.

Tabla 4.2 Diferentes obras a realizar para la construcción de la planta.

Equipamientos	Instalaciones	Obra Civiles
Tanques de alimentación de materia orgánica.	Inst. Hidráulica	Movimiento de tierra y zanjas
Bombas	Inst. Eléctrica	Zona de recepción de materia orgánica
Digestores	Inst. de Gas	Obra civil en general.
Tratamiento de gas	Inst. Sistema de calefacción.	
Grupo Electrógeno y generador		
Equipos de medida		
Bridas y válvulas		
Caseta y sistema de control		
Tolvas de entrada de materia orgánica		

El costo de la inversión de la planta viene dado por la cantidad de metro cúbicos días que produce la planta que está en el orden de 13038 Nm³/d que multiplicado por el valor de construcción tomado 325 \$, nos dará un valor de 4.237.350 \$ para satisfacer la instalación de la planta en su totalidad. Ver Anexo 1

4.2 Ingresos de la planta de biogás en la UEB “Ciudad Caracas” por energía eléctrica.

Los ingresos por generación de electricidad con la tecnología implementada en la UEB “Ciudad Caracas” viene dado por la capacidad instalada en la planta de biogás, que cuenta con una generación de 24 056,07 kWh/d para una generación anual de 8 780 465,55 kWh/a lo que genera un ingreso por venta de energía eléctrica de 1 756 093,11 \$/a. Ver Anexo 1

4.3 Determinación de los principales indicadores financieros que permiten evaluar la bondad de las propuestas.

4.3.1 El valor presente neto (VPN)

Es uno de los métodos básicos que toma en cuenta la importancia de los flujos de efectivo en función del tiempo. Consiste en encontrar la diferencia entre el valor actualizado de los flujos de beneficio y el valor, también actualizado de las inversiones y otros egresos de efectivo. No cabe duda de que si el valor presente neto de un proyecto es positivo la inversión deberá realizarse y si es negativo deberá rechazarse.

4.3.2 Período de recuperación de la inversión. (PRI)

Comúnmente los períodos de recuperación de la inversión se utilizan para evaluar las inversiones proyectadas. El período de recuperación consiste en el número de años requeridos para recobrar la inversión inicial. Se calcula señalando exactamente cuánto tiempo toma el recobrar la inversión inicial.

En la figura 4.1 se muestra el (Van y PRI) de la inversión de la planta de biogás en la UEB “Ciudad Caracas”. Ver Anexo 2

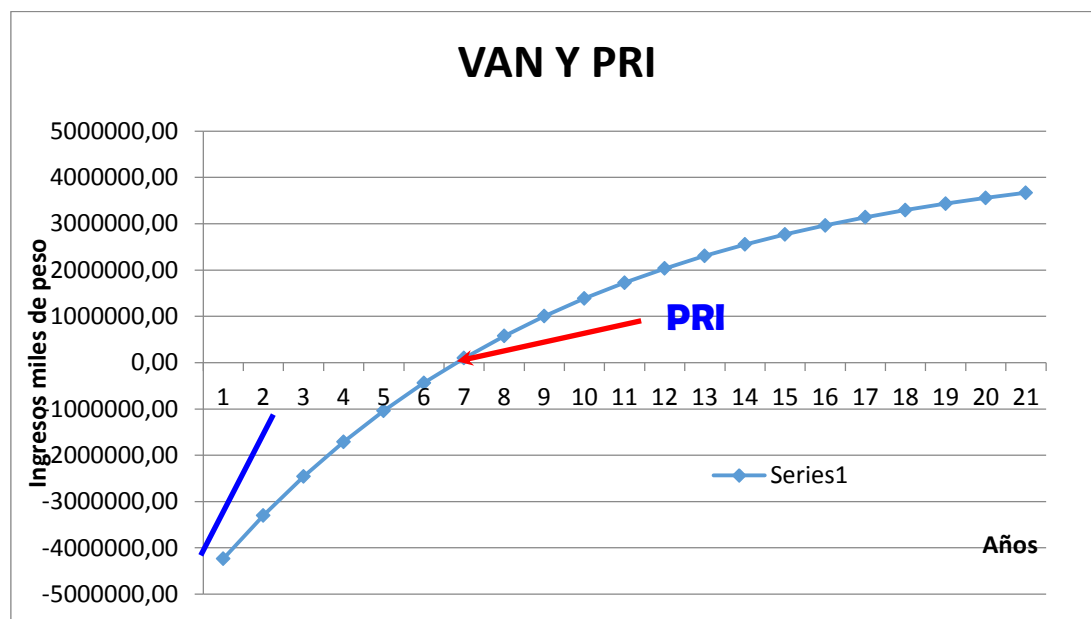


Figura 4.1 Período de Recuperación de la Inversión (PRI).

En la figura 4.1 se muestra que la inversión tendrá un periodo de recuperación de 6 años, este periodo de recuperación hace que sea muy factible económicamente la inversión ya que la planta diseñada tiene una vida útil de 20 años, sin considerar los ingreso que se pueden obtener por la venta de

bioabono, combustible dejado de quemar en las centrales termoeléctricas y los beneficios por no emisión de CO_2 a la atmósfera. Ver Anexo3.

Conclusiones parciales.

1. El análisis económico realizado para la propuesta de diseño de la planta de biogás con biodigestor industrial en la UEB “Ciudad Caracas” la inversión será de 4.237.350 \$, se obtiene que el ingreso por la venta de energía al sistema eléctrico nacional es de 1 756 093,11 \$/a y que tienen un período de recuperación de la inversión de 6 años.

Conclusiones Generales

- 1- Los estudios bibliográficos muestran que es una tendencia a nivel mundial, el uso de grandes fuentes de biomasa para la producción de biogás destinados a plantas eléctricas. Chile y Alemania muestran plantas de generación en el orden de 20 000 MWh/año.
- 2- En Cuba la generación de biogás tiene una finalidad de cocción de alimentos. Los esfuerzos realizados en el sector azucarero no están dirigidos a la producción de energía eléctrica.
- 3- La metodología de cálculo elaborada para el diseño de biodigestores industriales y la selección de los grupos electrógenos que sirvieron de base al presente trabajo. La metodología es soportada en una página en Excel para agilizar los cálculos.
- 4- El caso de estudio realizado en la UEB “Ciudad Caracas” muestra que existe una potencialidad de producción de cachaza de 10 000 t/zafra. Ello permitió dimensionar una planta de generación de biogás con grupos electrógenos capaz de generar 8 780 Megavatios/años.
- 5- El análisis económico realizado para la propuesta de diseño de la planta de biogás con biodigestor industrial en la UEB “Ciudad Caracas” muestra una inversión de 4.237.350 \$, con un ingreso por la venta de energía al sistema eléctrico nacional de 1 756 093,11 \$/año, lo que posibilita un período de recuperación de la inversión de 6 años.

Recomendaciones

- 1- Estudiar las potenciales fuentes de ingreso a la UEB por la posible venta de biol o bioabono originados en los biodigestores, la reducción de la combustión de combustible fósiles en las centrales termoeléctricas para generar la electricidad dada al SEN y la disminución del impacto ambiental por la limitación de emisiones de CO₂ al medio.
- 2- El utilizar fuentes de cachaza de UEB aledañas que no poseen instalaciones para el tratamiento de los residuos.

Bibliografía

- Acuña Rubio, José Patricio. (2015). *Diseño e implementación de un biodigestor para el tratamiento de excretas de ganado bovino cadet-tumbaco 2015*” (Tesis de obtención del grado Ingeniero). Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador.
- Asociación Española de Biogás. (2017, Enero). *Informe Estadístico 2016 de la Asociación Europea de Biogás (EBA): El sector del Biogás continúa su crecimiento en Europa*. Retrieved from <http://www.aebig.org/aebig/informe-estadistico-2016-la-asociacion-europea-biogas-eba-sector-del-biogas-continua-crecimiento-europa/>
- AquaLimpia Beratende Ingenieure. (2008). *Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás*. Alemania. Retrieved from www.aqualimpia.com
- Aznar, A., B. V., J. (2010, Octubre 12). *Diseño de una instalación de biogás mediante digestión anaerobia y valorización de los residuos obtenidos*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Escuela Politécnica Superior Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- Barrera, E. L. (2007). *Propuestas tecnológicas para producir biogás con fines energéticos. Un estudio de caso en la granja Remberto Abad Alemán*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.
- Besel, S.A. (2007). *Biomasa: Digestores anaerobios*. Depósito Legal: M-45366-2007 (ISBN-13: 978-84-96680-21-0.). Madrid, octubre de 2007: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Retrieved from www.idae.es
- Bragachini, M. (2017). Alemania, líder en bioenergías. *Mitre y el campo.com.ar*. Científica, Retrieved June 6, 2017, from <https://mitreyelcampo.cienradios.com/alemania-lider-en-bioenergias/>

- Budzinski, S. (2012, Septiembre). Biogás en Alemania: un caso exitoso. *Instituto nacional de tecnología industrial*. Retrieved June 6, 2017, from <http://www.inti.gob.ar/e-renova/erBI/er39.php>
- Camey Vela, W. J. (2012, February). *Cambio en la utilización de energía eléctrica a biogás producido por excretas de cerdo, y su efecto en los costos de producción en la explotación porcina*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Carrasco, V. B. (2015). *Propuesta de diseño implementación y gestión de operaciones de biodigestores en la empresa Viña Castilla*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Castillo Uribe, V. (2013, Octubre). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad del Bío-Bío, Chile.
- Celaya Aguilar, G. (2014). *Propuesta de diseño Físicoquímico de un biodigestor anaerobio como alternativa de tratamientos a los residuos sólidos orgánicos para la producción de biogás*. Instituto Politécnico Nacional, México.Df.
- Chuquitarco, H. D. S. (2010). *Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del instituto preuniversitario vocacional de ciencias exactas "Federico Engels."* (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Díaz Basurto Burgos, A. (2013, Noviembre 21). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya (Bolivia) e* (Tesis de Maestría). UPC Barcelona TECH, Barcelona.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. (2010). *Guía sobre el Biogás desde la producción hasta el uso* (FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit). Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5 65760

Eschborn Alemania. México: Ministerio Federal de Alimentación, Agricultura y Protección al Consumidor (BMELV).

García Álvarez, E. (2016). *Algoritmo para el diseño cuasi-óptimo de alternativas de generación de biogás a partir de la cachaza con fines de cocción* ((Tesis de Maestría)). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Giménez Borges, R. (2016). *Potencialidades de mejoras en el proceso tecnológico de los centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos* ((Tesis de Maestría)). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos.

Gonçalves, L. (2015). *Evaluación de la biodegradabilidad anaerobia de residuos orgánicos pre-tratados térmicamente* (Tesis Doctorado). Universidad de Valladolid, España.

González, D. (2013, December 4). *Elaboración de un software para el diseño de biodigestores y validación mediante la construcción y pruebas de un prototipo para el laboratorio de térmicas de la facultad de mecánica - ESPOCH*". (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Bolivia

Graña Magariños, J. J. (2015). La Producción de Biogás en plantas industriales. *PublicacionesDidacticas.com*, 4, 8,10.

Grass Puga, B. D. (2013). *Evaluación y diseño para la implementación de una planta de biogás a partir de residuo orgánicos agroindustriales en la región metropolitana*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero)Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Gruber, S. (2010). Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MWe con una planta de biogás de alta eficiencia. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) N° Doc. BC-INF-16-10, 10-13.

Guardado, J. A. (2007). *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. CIUDAD DE LA HABANA.: Editorial CUBASOLAR.

- Gutiérrez, J. (2015). *Planta de La Farfana de Metrogas*. Chile: La Energía Eléctrica en Chile. Retrieved from <http://www.revistaei.cl/informes-tecnicos/biogas-se-abre-paso-en-la-matriz-electrica/>
- Hilbert, J. A. (2012). LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA, 1, 1-6.
- Dueñas Jiménez, R. (2005, LIMA). *Análisis técnico económico de la generación distribuida - microturbinas a gas natural para la comunidad de San José de Parcco*". (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Kaiser, F. (2012). *Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile* (No. ISBN: 978-956-8066-14-7) (p. 64 a 70). Santiago de Chile: Ministerio de Energía (MINENERGÍA). Retrieved from www.giz.de
- Labiano, I. (2014, February 12). *Estudio de viabilidad de un sistema de generación de energía eléctrica empleando biogás como combustible en el matadero municipal de Cochabamba (Bolivia)*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación, Pamplona.
- Márquez, M. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología* (Laboratorio de Ingeniería Ambiental) (pp. 3-7). México DF: Centro Tecnológico Aragón.
- Martínez Santiago, N. (2012). *Desarrollo de proceso eficiente en la generación de electricidad mediante el uso del biogás en proyectos del sector agropecuario*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de ingeniería mecánica y eléctrica, México DF.
- Ministerio de Energía y Mina. (2017). *Biomasa Cañera. Por un Desarrollo Sostenible*. Científica, Retrieved from <http://www.minem.gob.cu/energias-renovables>

- Novillo Chiriboga, O. G. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad San Francisco de Quito, Quito.
- Núñez, A. (2006, July). *Estudio de Factibilidad para la generación de energía a partir biogás producido en la planta de tratamiento de aguas Residuales*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA NACIONAL., Quito.
- Ramiro, F. (2009, Septiembre). *Estudio de viabilidad y diseño de una planta de cogeneración para una industria cárnica proyecto fin*. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10016/7685>
- Suárez Rodríguez, S. (2015, Septiembre). *Tecnologías de biodigestión aplicadas al turismo*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna,.
- Trabinox. (2017). *Construcción Depósitos Industriales* (catalogo) (pp. 12-14). Barcelona: Vacarisses.
- Unión Europea. (2010). *Informe complementario sobre el estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás en Extremadura, en el marco del proyecto de cooperación transfronteriza España-Portugal Altercexa, para el apoyo al cambio climático a través del fomento de las energías renovables en Extremadura, Alentejo y centro*. (Tesis de obtención del grado Ingeniero) (Programa Cooperación Transfronteriza). Informe complementario a estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás en Extremadura.

Anexos

Anexos I

Ingresos MN Biodigestor 13038 m ³							
Componentes	m ³ /día	m ³ /año					
Biogás (m ³)	13038	3911400					
Biofertilizante (toneladas)							
				generacion electricidad año	Ingreso de electricidad año		
Datos				8780465,55	1756093,11		
Producción Biofertilizante	144871	kg/día					
Precio t abono	270	\$/t					
Precio \$/m3 del biogás generado		0,5 \$/m3					ingreso totales al año
							1756093,11
electricidad generada en un día		24056,07 kWh/días					

Anexoll

PROYECTO DE UN BIODIGESTOR															
N°	Datos iniciales	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	
1	Ingresos (I), \$		1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	
2	Gastos (G), \$		140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	
3	Costo inversión (Ko)	-4237350,00													
4	Tasa de descuento (r) , %		16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	
5	Tasa de inflación (f), %		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
6	Margen de riego, %		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
8	Vida util estimada, años		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Resultados															
9	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	Depreciación (Dep), \$		647,50	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	
11	Flujo de caja (Fc), \$		1050370,597	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,22	1050562,22	
12	Tasa de descuento real (R)		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	
13	Tasa de descuento real con margen (D)		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	
14	Factor de descuento (Fdesc.)		0,89	0,80	0,71	0,64	0,57	0,51	0,46	0,41	0,36	0,33	0,29	0,26	
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		938849,33	839321,74	750208,22	670556,18	599361,05	535724,93	478845,28	428004,72	382562,06	341944,21	305638,88	273188,20	
16	Flujo descontado acumulado (Fda),VPN	-4237350,00	-3298500,67	-2459178,92	-1708970,70	-1038414,52	-439053,48	96671,46	575516,73	1003521,45	1386083,51	1728027,72	2033666,59	2306854,80	
TIR		8%													

AnexoIII

Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11	1756093,11
140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487	140487
16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
7	7	7	7	7	7	7	7
3	3	3	3	3	3	3	3
35	35	35	35	35	35	35	35
20	20	20	20	20	20	20	20
13	14	15	16	17	18	19	20
1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00	1195,00
1050562,22	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222	1050562,222
0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
244182,92	218257,23	195084,15	174371,43	155857,85	139309,91	124518,93	111298,35
2551037,72	2769294,95	2964379,10	3138750,53	3294608,38	3433918,29	3558437,22	3669735,57

AnexoIV

[illegible]

Motor	Marca	-	Yangdong	Toyota	Isuzu	Isuzu	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins	Cummins
	Modelo	-	Y380	4Y	4JB1	4JB1TAA	4B	6B	4BTAA	6C	6BTAA	6CTAA	N855	K19	NTAA855	KTAA19
	Tipo	-	aspirado	aspirado	aspirado	turbo	aspirado	aspirado	turbo	aspirado	turbo	turbo	aspirado	aspirado	turbo	turbo
	Cilindros	-	3 en línea	4 en línea	4 en línea	4 en línea	4 en línea	6 en línea	4 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea	6 en línea
	Cilindrada	L	1.4	2.2	2.8	2.8	3.9	5.9	3.9	8.3	5.9	8.3	14.0	18.9	14.0	18.9
	Velocidad de giro	rpm	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
	Relación de compresión	-	10,5:1	10,5:1	12:1	10,5:1	12:1	12:1	10,5:1	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1	10:1
	Diámetro * carrera	mm	80*90	91*86	93*102	93*102	102*120	102*120	102*120	114*135	102*120	114*135	140*152	159*159	140*152	159*159
	Arranque	-	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico	eléctrico
	Refrigeración	-	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua	por agua
	Capacidad de aceite	L	4	4	5	5	10	14	10	19	14	19	36	38	36	38

[illegible]

	Modelo	-	LSA 40 VS0	LSA 40 VS2	LSA 40 M5	LSA 40 L7	LSA 42.3 VS1	LSA 42.3 S5	LSA 42.3 M7	LSA 43.2 L9	LSA 44.2 VS3	LSA 44.2 VS3	LSA 44.2 VS45	LSA 44.2 S7	LSA 44.2 L12	LSA 46.2 L6
	Fases	-	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos	3 fases, 4 hilos
	Forma to de conexi3n	-	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE	est3nd ar SAE
	M3todo de excitaci3n	-	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado	sin escobillas autoexcitado
	Clase de aislamiento	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
Generador	M3dulo de control	-	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320	DeepSea DSE7320
	Pantalla	-	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD	LCD
	Combustible	-	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s	biog3s
	Presi3n de entrada del gas	kPa	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10	2-10
	Dimensiones	mm	1300*660*880	1400*710*920	1500*600*980	1500*600*980	2200*1000*1300	2250*1050*1560	2200*1000*1300	2400*1500*1400	2250*1050*1560	2400*1500*1400	3000*1100*1750	3500*1550*1900	3000*1100*1750	3500*1550*1900

	(sin gabinete)															
	Peso (sin gabinete)	kg	450	480	600	600	800	1000	900	1600	1200	1800	2000	2600	2200	2800
	Nivel de protección	-	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23	IP23
	Periodo de garantía	horas	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	Eficiencia eléctrica (cosφ =1)	%	25.50%	28.60%	29.20%	32.30%	31.00%	31.60%	33.50%	32.00%	34.60%	34.30%	34.20%	33.80%	35.50%	37.70%
	Consumo de combustible	m3/kWh	0.654	0.583	0.571	0.516	0.538	0.527	0.498	0.521	0.482	0.486	0.487	0.493	0.469	0.442
Precios	Generador (incl. transporte)	USD	7,850	8,250	8,850	10,200	12,950	15,900	14,300	22,000	16,950	24,000	33,700	63,400	36,700	66,000
	Gabinete insonorizado	USD	900	1,500	1,600	1,600	1,900	2,750	1,900	3,250	2,750	3,250	6,150	8,600	6,150	8,600

Anexo V

Central Loma Los Colorados, Chile



Fuente: Gentileza de KDM Energía S.A.

El relleno sanitario Loma Los Colorados se ubica en el límite norte de la Región Metropolitana. Es el mayor del país, con una disposición final aproximada de 6.000 toneladas de residuos por día, que contienen aproximadamente 70% de biomasa. Cuenta con un sistema de captación que permite recuperar el 50% del biogás generado en el relleno. Actualmente la captura de biogás se encuentra en torno a los 8.100 m³/h con un contenido de metano de 48,5% en promedio, proyectándose que alcance un máximo de 30.000 m³/h a la fecha de cierre del relleno sanitario (2045).

La central, perteneciente a KDM Energía S.A., utiliza el biogás como combustible para la generación de electricidad, cuya producción es directamente proporcional a su creciente disponibilidad. Por esta razón, a fines de 2009 entró en operación la primera fase del proyecto con 2 MW_e, para luego sumar otros 10 MW a mediados de 2011 en su segunda fase. La tercera fase, proyectada para el 2014, la capacidad instalada crecerá a 22 MW_e. Finalmente, en su cuarta fase, el proyecto contempla la construcción de una segunda sala de máquinas, con 14 posiciones libres, la cual permitirá instalar progresivamente nuevas unidades de generación en función del aumento proyectado de la producción de biogás.

Puesta en marcha	2009
Potencia	Fase 1: 2 MW _e (2009) Fase 2: 12 MW _e (2011) Fase 3: 22 MW _e (2014) Fase 4: 39,2 MW _e , crecimiento según producción de biogás (nueva sala de maquinas)
Sustratos	Relleno Sanitario de Santiago 6.000 t/día (2011)
Producción de gas	8.100 m ³ /h biogás (inicios de 2012) 4.950 m ³ /h metano (inicios de 2012)
Tamaño de planta	2.200 m ² construidos
Inversión	USD 40.200.000 (corresponde a la fase 4)

Planta de biogás Los Ángeles, Chile



Fuente: Gentileza de HBS Energía S.A.

La planta de biogás Los Ángeles fue diseñada por HBS Energía S.A. como una solución de estabilización de estiércol bovino, correspondiente a una engorda de novillos estabulada, producida por una empresa del mismo grupo económico.

Esta planta es la primera en su tipo a nivel sudamericano, ya que considera la producción de cultivos energéticos como co-sustratos para la producción de biogás.

El primer módulo, de un total de cuatro, considera el estiércol de 800 novillos y la producción de maíz (silo planta entera) de 150 hectáreas. Las principales características del primer módulo son:

Puesta en marcha	2010
Potencia	1.021 kW _e 1.070 kW _t
Sustratos	13.450 t/año excretas animales 11.260 t/año residuo de cultivos energéticos (silo maíz) TOTAL: 24.700 t/año
Producción de gas	3.615.000 m ³ /año biogás 1.880.000 m ³ /año metano
Tamaño de planta	Digestores 2 x 450 m ³ Posdigestores 1 x 2.600 m ³ Estanque digestato 1 x 5.600 m ³ TOTAL: 9.100 m ³
Inversión	€ 2.800.000

Planta de biogás Werlte, Alemania



Fuente: Gentileza de EWE Biogas GmbH & Co. KG

Esta planta de biogás es de tamaño industrial y fue diseñada para procesar estiércol de vacuno y residuos orgánicos de la agroindustria, principalmente de mataderos. El estiércol proviene de agricultores vecinos y los desechos diversos de la agroindustria, principalmente grasas y aceites son procesados aquí en conjunto.

El estiércol, grasas y aceites son bombeados a un estanque de premezcla y luego son bombeados al fermentador principal, pasando por un sistema de higienización (pasteurización), según lo exige la norma alemana para manejo de residuos orgánicos industriales. Posteriormente, el sustrato pasa por un posfermentador para asegurar su descomposición total. Una vez terminado el ciclo, y encontrándose el sustrato completamente estabilizado, puede ser aplicado como fertilizante en los campos.

Puesta en marcha	2002
Potencia	2,5 MW _e 3,3 MW _t
Sustratos	70.000 t/año excretas animales 40.000 t/año aceites y grasas TOTAL: 110.000 t/año
Producción de gas	8.360.000 m ³ /año biogás 5.020.000 m ³ /año metano
Tamaño de planta	Digestores 2 x 3.200 m ³ Posdigestores 2 x 2.370 m ³ Estanque digestato 2 x 4.960 m ³ TOTAL: 21.060 m ³
Inversión	€ 6.600.000

Planta de biogás Niederbayern, Alemania



Fuente: Gentileza de UIL

Esta planta de biogás está situada en una granja agrícola en el norte de la región de Baviera, denominada Niederbayern. La granja tiene un tamaño de 110 unidades animales (500 kg de peso vivo) de vacas lecheras y para su alimentación, una disponibilidad de 140 hectáreas para cultivo. Esto corresponde a una densidad animal de 0,8 unidades animales por hectárea.

Para rentabilizar la inversión, la planta se diseñó con codigestión de residuos orgánicos provenientes de la gastronomía. De esta manera, se importan más de 7.000 toneladas anuales de este tipo de residuo, que al ser mezclado con el estiércol vacuno, produce aproximadamente 1 millón de m³ de biogás al año.

Puesta en marcha	1999
Potencia	260 kW _e 315 kW _t
Sustratos	5.375 t/año excretas animales 7.125 t/año residuo de gastronomía TOTAL: 12.500 t/año
Producción de gas	950.000 m ³ /año biogás 550.000 m ³ /año metano
Tamaño de planta	Digestores 2 x 230 m ³ Posdigestores 2 x 800 m ³ Estanque digestato 1 x 1.800 m ³ TOTAL: 3.860 m ³
Inversión	€ 845.500