

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

Dr. Carlos Rafael Rodríguez.

Facultad de Ingeniería Mecánica.



Trabajo de Diploma

Título: Evaluar las potencialidades y uso de la cachaza para la producción de biogás en la UEBCA “Ciudad Caracas”

Autor: Yandy Cabrera Porres

Tutores: Dr. José Monteagudo.

Ing. Edwin García.

Cienfuegos

2012

Año 54 de la Revolución

Declaración de Autoridad.

Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la culminación de estudios de la carrera de Ingeniería en Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

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

Firma del Responsable de
Información Científico-
Técnica

Vice Decano
Nombre y Apellidos. Firma

Firma del Tutor

Sistema de Documentación
y Proyecto
Nombre y Apellidos. Firma

Pensamiento

Tú eres lo que es el profundo deseo que te impulsa.

Tal como es tu deseo es tu voluntad.

Tal como es tu voluntad son tus actos.

Tal como son tus actos es tu destino.

Brihadaranyaka upanishad

Dedicatoria

*Les dedico este trabajo que además de ser fruto de mis
esfuerzos es también parte de sus sueños.*

*Mis padres, especialmente a mi madre Mabel por el
entendimiento, apoyo infinito y amor.*

*Yany Cabrera hermana menor por su apoyo y estímulo y mi
hermano.*

*A mis amigos por acompañarme durante los años mediante el
apoyo y estímulos incommensurables.*

Agradecimientos

*A Dios, que me dio la fuerza y la salud para llegar hasta
aquí.*

*A mi madre, por darme el amor y la comprensión que todo
hijo merece en la vida.*

*A mis amigos, por su apoyo incondicional en todo momento y
por ser tan exigentes conmigo.*

*Al colectivo de profesores de la universidad, que
contribuyeron con mi formación profesional.*

*A todos los que de una forma u otra hicieron posible este
sueño.*

Muchas Gracias a Todos.

Resumen

El presente trabajo muestra algunas posibilidades para la utilización energética de residuos generados por el procesamiento de la caña de azúcar, este trabajo contiene un estudio bibliográfico donde abarca diferentes temas sobre la biodigestión anaeróbica y en particular de la cachaza. Se tratan los diferentes procesos y etapas que intervienen en la producción del metano y del abono orgánico, de los cuales se hace mención de múltiples usos tanto domésticos, como industriales, además se ofrece una metodología para el cálculo de una planta de biogás con el 50% del potencial de cachaza diaria, y con esta se calculó la cantidad de biogás disponible con los consumos correspondientes a cada uno de los posibles usos, además se realizó un análisis económico determinando así el tiempo de recuperación de la planta .

Índice

Capítulo 1: La biodigestión anaeróbica y su utilización industrial.....	2
1.1 FUNDAMENTOS DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA	2
1.1.1. Metanogénesis.....	2
1.1.2. Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso:	2
1.1.3. Etapas intervinientes:.....	3
1.1.4. Factores a tener en cuenta para un buen funcionamiento de una planta de biogás.	6
1.1.5. Beneficios de la tecnología del Biogás.	6
1.2. EXPERIENCIAS DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LA CACHAZA.....	7
1.2.1. Experiencias obtenidas del Centro de Investigación de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC).....	7
1.3. DIFERENTES ALTERNATIVAS DE UNA PREPARTIDA DEL BIOGÁS Y EL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO DE LA BIODIGESTIÓN DA LA CACHAZA.	11
1.3.1. Diferentes aplicaciones:	11
1.3.2. Producción de biofertilizante.....	15
1.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS BIODIGESTORES INDUSTRIALES. ...	17
1.4.1. Digestores de alta velocidad o flujo inducido.....	17
1.4.2. Ventajas de los Digestores de alta velocidad o flujo inducido.	19
1.4.3. Instalaciones Industriales.....	20
Capítulo2: Evaluación de las potencialidades de generación de cachaza de la UEBCA “Ciudad Caracas”.	21
2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA (UEBCA “Ciudad Caracas”)	21
2.2. PROCESO TECNOLÓGICO DE LA UEBCA “CIUDAD CARACAS”	21
2.3. DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS A CACHAZA PROCEDENTE DE LA (UEBCA “CIUDAD CARACAS”).	24
2.3.1 .Cálculos para el dimensionamiento de una instalación de biogás.	25
Capítulo 3: Potencialidades de uso del biogás y efectos de los Componentes presentes en el biogás.	31
3.1. USOS DEL BIOGÁS CON SUS RESPECTIVOS CONSUMOS.	31
3.1.1. Uso del biogás en la caldera Retal	31
3.1.2. Uso del biogás en camiones de tiro de caña.	34
3.1.3. Cocción de alimentos en la industria y en casas de familias aledañas a la instalación.....	35

3.1.5. Uso del biogás en generadores.	37
3.2. COMPONENTES PRESENTES EN EL BIOGÁS Y SUS EFECTOS.	38
3.3. PRINCIPAL ACONDICIONAMIENTO DEL BIOGÁS.	43
Capítulo 4: Evaluación económica.	45
4.1. INGRESOS.	45
4.1.1. Ingresos asociados a la venta de energía eléctrica.	45
4.1.2. Ingresos asociados a la venta de bioabono.	46
4.2.1. Costos de inversión en equipo de generación eléctrica.	47
4.2.2. Costo de inversiones en la construcción de los digestores.	47
4.3. RESULTADOS FINALES.	47
Conclusiones.	49
Recomendaciones.	50
Bibliografía.	52
Anexos.	53

Introducción:

El uso de la biomasa aporta beneficios que son no sólo energéticos, sino que su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector agropecuario y específicamente en los organopónicos la opción del uso del biofertilizante generado por esta tecnología permite responder a una demanda de la sociedad, de esta forma se es más respetuoso del medio ambiente, y en particular se promueve la reducción de posibles fuentes de contaminación. En este contexto el presente trabajo realizado en la UEBCA “Ciudad Caracas” presenta el diseño, evaluación y beneficios alcanzados en una planta para producir gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de cachaza, residuo de alta contaminación al medio ambiente y causante de mal olor en el medio que lo rodea.

Problema Científico: La UEBCA “Ciudad Caracas” se convierte en una fuente de contaminación al medio ambiente debido al alto contenido de residuos

“3 000 ton/día de caña implica unos 1800 m³/día de estos residuos”.

Hipótesis: El montaje de un biodigestor usando los residuos de la instalación, permite obtener energía, biofertilizante y reduce el alto impacto ambiental.

Objetivo General: Evaluar las potencialidades y uso de la cachaza para la producción de biogás en la UEBCA “Ciudad Caracas”.

Objetivo específicos:

- Determinar las potencialidades de uso en la industria y en casas de familias aledañas a la instalación.
- Evaluar los posibles usos del biogás con sus respectivos consumos.

Capítulo 1: La biodigestión anaeróbica y su utilización industrial

1.1 FUNDAMENTOS DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

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 tracto digestivo de los rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

La generación de biogás, mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza.

Las bacterias metanogénicas en efecto constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 590 y 880 millones de toneladas de metano.

1.1.1. Metanogénesis

Una idea general sobre el proceso microbiológico involucrado en la formación de metano es necesaria para poder comprender mejor el diseño y funcionamiento de los denominados reactores o digestores productores de biogás.

1.1.2. Prerrequisitos necesarios para iniciar el proceso:

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos.

Las bacterias productoras del biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto sólo podrán sobrevivir en ausencia total de oxígeno atmosférico.

Otra característica que las identifica es la sensibilidad a los cambios ambientales debido a lo cual será necesario un mantenimiento casi constante de los parámetros básicos como la temperatura.

Las dificultades en el manejo de estas delicadas bacterias explican que la investigación sistemática tanto de su morfología como de la bioquímica fisiológica sólo se halla iniciado hace cincuenta años.

Hoy en día gracias a estudios muy recientes podemos conocer mejor el mecanismo y funcionamiento de este complejo sistema microbiológico involucrado en la descomposición de la materia orgánica que la reduce a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 .

1.1.3. Etapas intervinientes:

Veamos ahora las diferentes etapas intervinientes y sus principales características.

1.1.3.1. Fase de hidrólisis:

Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono.

Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

1.1.3.2. Fase de acidificación:

Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético $\text{CH}_3\text{-COOH}$ y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.

Esta reacción es endoexergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético.

1.1.3.3. Fase metanogénica:

Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre.

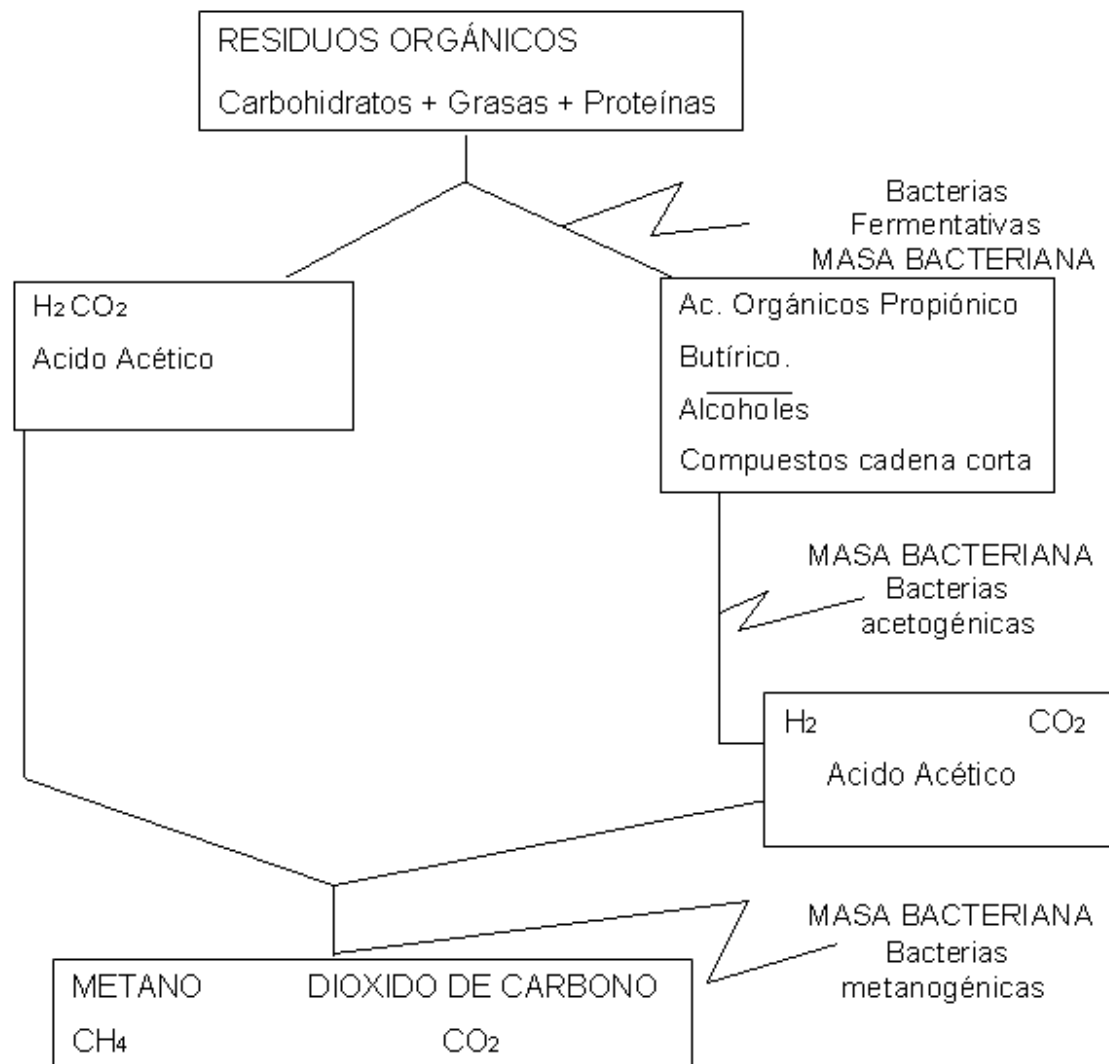


Figura 1. Distintas características de cada una de las etapas.

La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal sustrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el metano y el dióxido de carbono.

La Figura1 resume las distintas características de cada una de las etapas vistas que por simplificación se han agrupado en dos fases (ácida que involucra la de hidrólisis y acidificación y la metanogénica), con los principales compuestos químicos intervinientes.

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor.

Estas características han sido resumidas en la siguiente tabla para su mejor comprensión.

FASE ACIDOGÉNICA	FASE METANOGENICA
* Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno). * Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva). * Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura. * Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	* Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno). * Reproducción lenta (baja tasa reproductiva). * Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura. * Principales productos finales, metano y dióxido de carbono

Tabla 1. Características de las fases.

Como vemos el proceso ha sido simplificado aún más reduciendo el mismo a dos fases principales, la ácida generadora de productos intermedios y la metanogénica.

De la Tabla 2. Se desprende que una alteración en los parámetros de funcionamiento incidirá negativamente sobre la fase metanogénica

preponderantemente, lo cual significará una merma importante en la producción de gas y una acidificación del contenido pudiéndose llegar al bloqueo total de la fermentación.

1.1.4. Factores a tener en cuenta para un buen funcionamiento de una planta de biogás.

El proceso de producción de biogás depende de varios parámetros que afectan la actividad bacteriana.

- Temperatura
- Tiempo de retención.
- Relación Carbono / Nitrógeno.
- Porcentaje de sólidos.
- Factor PH.

1.1.5. Beneficios de la tecnología del Biogás.

Los sistemas de biogás pueden proveer beneficios a sus usuarios, a la sociedad y al medio ambiente en general.

Producción de energía (calor, luz, electricidad).

Transformación de desechos orgánicos en fertilizante de alta calidad.

Mejoramiento de las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas.

Reducción en la cantidad de trabajo relacionado con la recolección de leña para cocinar (principalmente llevado a cabo por mujeres)

Ventajas ambientales a través de la protección del suelo, del agua, del aire y la vegetación leñosa, reducción de la deforestación.

Beneficios micro- económicos a través de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento en los ingresos y del aumento en la producción agrícola ganadera.

Por lo tanto, la tecnología del biogás puede contribuir sustancialmente a la conservación y el desarrollo.

1.2. EXPERIENCIAS DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA DE LA CACHAZA

1.2.1. Experiencias obtenidas del Centro de Investigación de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC)

Dentro de los residuos sólidos de mayor disponibilidad en Cuba se encuentra la cachaza, subproducto obtenido durante el proceso de fabricación de azúcar de caña, en la etapa de clarificación y filtración del jugo de caña, de aquí es que surgen una serie de investigaciones relacionadas con estos residuos para obtener biogás de una forma eficiente, un ejemplo de estas investigaciones sobre la cachaza fueron realizados por el Centro de Investigación de Medio Ambiente de Camagüey (CIMAC).

En la investigación se exponen los resultados de un estudio realizado para comparar los rendimientos de generación de biogás a partir de cachaza de distintos orígenes y características. En tres etapas distintas se montaron por triplicado reactores batch de 1 L de capacidad operacional, conteniendo una suspensión de cachaza al 6 % de ST. Como inóculo se empleó el efluente procedente de un digestor semicontinuo y dosificado en proporción de un 20 % en cada reactor. La cachaza procedía en cada caso de un complejo agroindustrial (CAI) diferente. Paralelamente se montaron reactores conteniendo inóculo solo con el objetivo de poder restar el efecto de éste sobre la producción total de gas en cada caso, y llevar todos los resultados a igual base de comparación. Los reactores se mantuvieron aislados de la luz y las experiencias en cada etapa se desarrollaron por un período de 35 d en el intervalo de temperaturas de 24,5 a 32,2 °C. La temperatura en cada caso se registró permanentemente con un termógrafo. Se realizaron determinaciones de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), ácidos grasos volátiles totales (AGVT), alcalinidad total (AT) y pH. De

manera complementaria se efectuaron mediciones de dióxido de carbono con un analizador de gases ORSAT, y determinando por diferencia el contenido de metano.

En cada una de las etapas la cachaza para los reactores se tomó de los filtros rotatorios.

Etapas I–Se refiere al CAI N° 1 y se tomará cachaza fresca para el estudio en los reactores batch.

Etapas II –Se refiere al CAI N° 2 y se tomará cachaza guardada 1 mes en un lugar fresco bajo techo, posteriormente se utilizará para el estudio en los reactores batch.

Etapas III –Se refiere al CAI N° 3 y se tomará cachaza guardada 1 mes en un lugar fresco bajo techo, posteriormente se utilizará para el estudio en los reactores batch.

-Los estudios arribaron a las siguientes tablas y figuras.

Parámetro	Etapas I	Etapas II	Etapas III
pH	7,6	8,1	7,9
SV/ST	0,66	0,71	0,82
AGVT (mg/L)	415	167	256
AGVT/AT	0,072	0,044	0,072
ST (g/kg)	61,89	65,77	67,53
Edad de la cachaza	1 d	d 30	30 d

Tabla 2 Características generales de las mezclas al inicio de la digestión.

Parámetro	Etapa I	Etapa II	Etapa III
T media total(°C)	26,6	27	29
Variación de temp. diaria (°C)x	1,99	1,48	2,1
Rendimiento (mL por g de SV a)	92,6	72,7	129,5
AGVT (mg/L)	1 227	566	282
pH	6,88	6,7	6,77
Incremento de los AGVT	196%	119%	10%
Incremento de la relación AGVT/AT	154%	65%	-18%

Tabla 3 Resultados generales obtenidos.

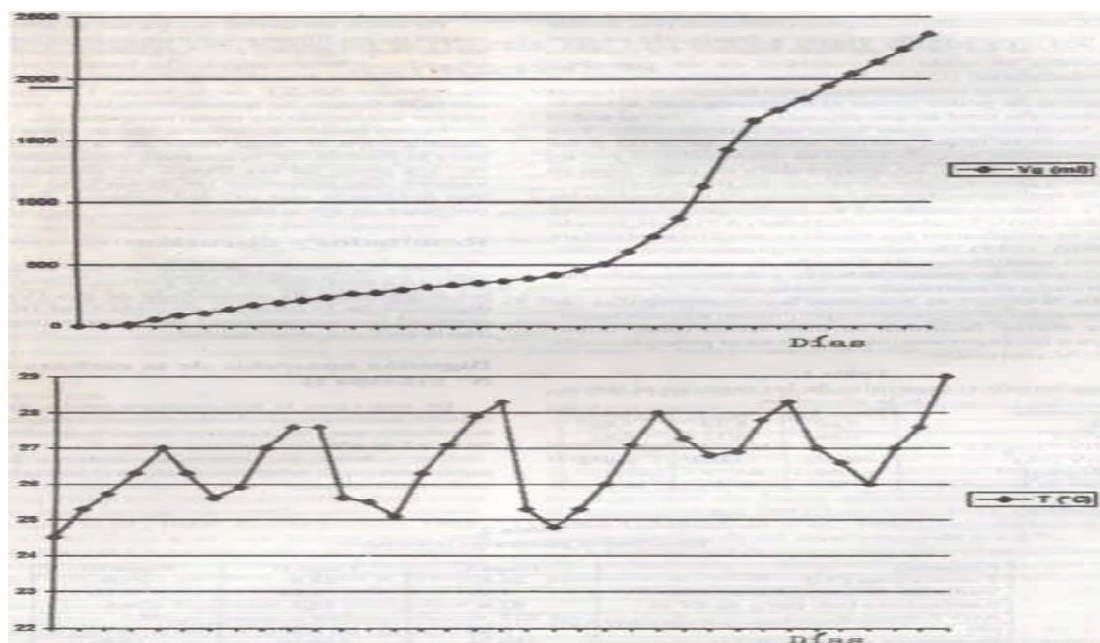


Fig. 2 Cachaza fresca del filtro. CAI No. 1.

Días	Etapa I	Etapa II	Etapa III
5	3,77%	0%	3,30%
10	8,97%	5,40%	14,40%
15	13,77%	21,40%	31,20%
20	17,56%	35,40%	48,60%
25	37,03%	50,40%	70,10%
30	77,80%	71,50%	88,10%

Tabla 4 Por ciento del total de gas acumulado en distintos tiempos desde el inicio de la digestión.

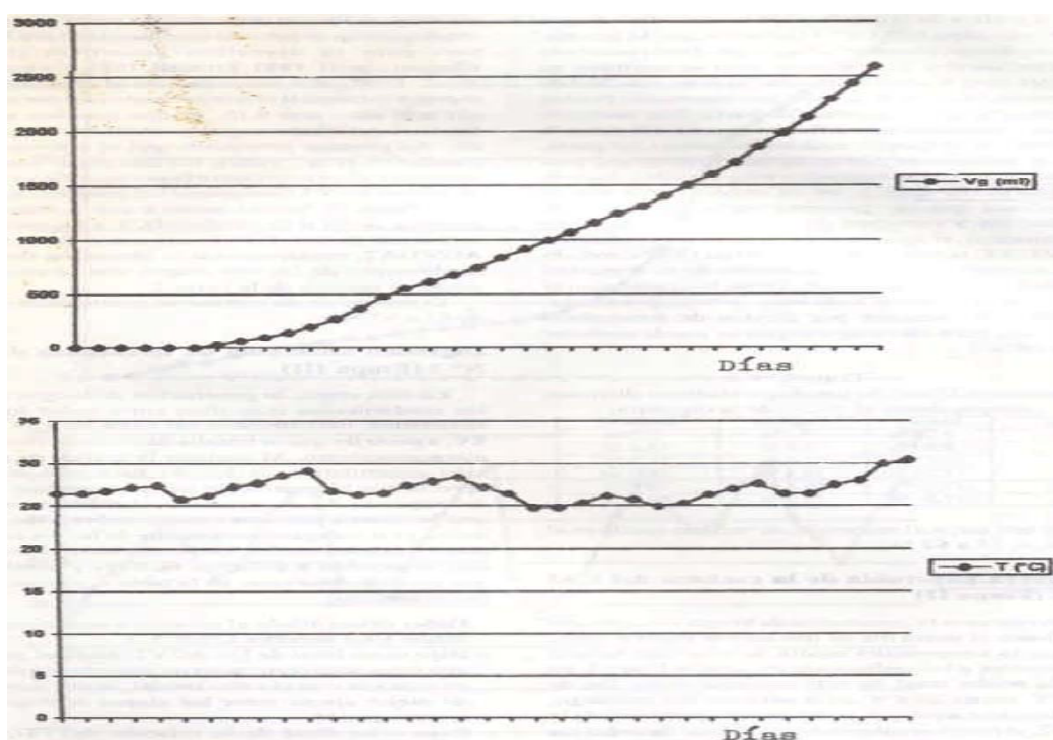


Fig. 3 Cachaza del filtro (1 mes). CAI No. 2.

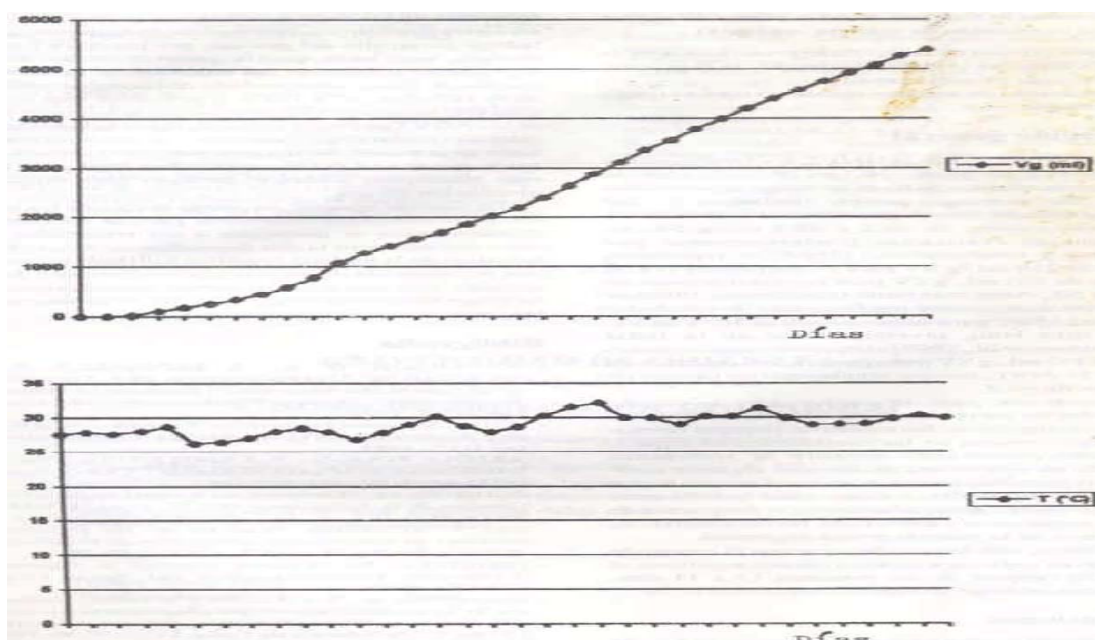


Fig. 4 Cachaza del filtro (1 mes). CAI No. 3.

Apoyándose en las tablas se puede ver que los rendimientos obtenidos estuvieron en el rango de 73,7 a 129,5 mL/g SV, pero debido, precisamente, a la fuerte dependencia de este parámetro, de las características del sustrato y a la variedad de sus cualidades entre un origen y otro, es que en otros casos los valores obtenidos difieren considerablemente de lo reportado por algunos investigadores. Al comparar las características generales y composición de la cachaza de caña, se aprecia de primera vista que estos parámetros pueden variar considerablemente en dependencia del origen, tipo de variedad de caña, tecnología de fabricación aplicada, etcétera, lo que motiva que algunos autores reporten estrechos rangos de variación y otros no, incluso para sus propias mediciones.

1.3. DIFERENTES ALTERNATIVAS DE UNA PREPARTIDA DEL BIOGÁS Y EL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO DE LA BIODIGESTIÓN DA LA CACHAZA.

1.3.1. Diferentes aplicaciones:

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

<i>Equipos</i>	<i>Consumo</i>
Cocina (1 quemador)	150-200 L/hora.
Lámpara de iluminación	120-200 L/hora
Refrigerador doméstico	50-100 L/hora.
Motor de Combustión	500 L/hora por HP.
Cocina industrial	1000-3000 L/hora.

Tabla 5. Principales artefactos que utilizan biogás con su consumo medio.

El biogás al igual que otros gases como el LPG (licuado) y el gas natural, tienen una gran variedad de usos tanto domésticos como industriales.

A continuación relacionamos los usos más importantes del biogás.

1. En cocinas.

Se emplea con una presión de 75-90 mm de CA a razón de 0.38-0.42 m³ por persona - día. Para presiones inferiores el per cápita debe calcularse a razón de 0.5 m³ /día.

2. En alumbrado.

Se emplea una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W) consume 0.11 a 0.15 m³/h de biogás requiriendo una presión de 70 a 85 mm de CA.

3. 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 mas 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.

No ocurre igual con los motores diesel, dado que la temperatura al final de la carrera de compresión no es superior a los 700 grados que la temperatura

ignición de la mezcla aire–biogás es de 814 grados, por lo que se hace necesario la inyección de una pequeña cantidad de combustible diesel antes de finalizar la carrera de compresión del pistón a fin de lograr la ignición de la mezcla, asegurando el funcionamiento normal del motor. En condiciones óptimas se logra economizar entre el 70 y 85 % del combustible diesel, sustituyéndolo por biogás.

El consumo en motores es:

0.45-0.54 m³/h por HP de carga.

0.60-0.70 m³/h por KW de carga.

Con una presión de 25 a 100 mm de CA.

4. En soldaduras.

La temperatura de una llama de oximetano es de alrededor de 3000 grados o sea 250 grados menos que la llama oxiacetilénica. La temperatura de la llama oxi-biogás sería menor aun en dependencia del % de metano del biogás por lo que no sería aplicable a la soldaduras ferrosas, aunque si para soldar aleaciones de latón, cobre y bronce.

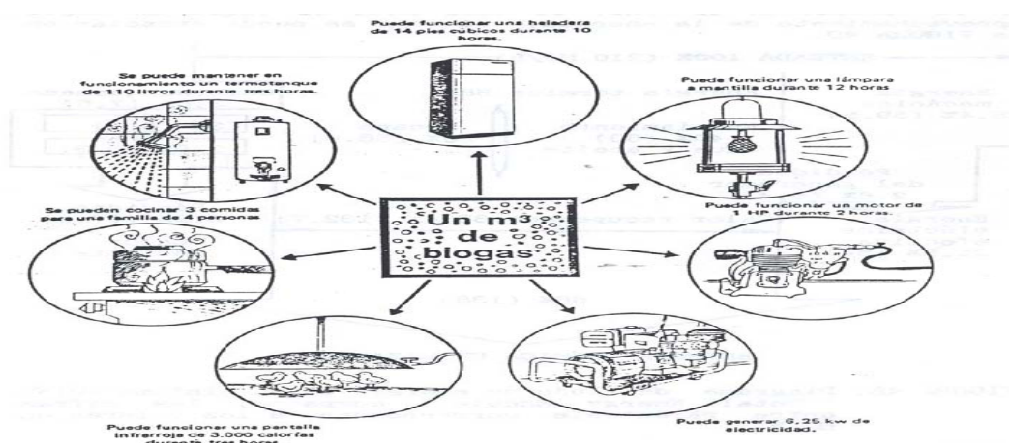


Figura 5 Uso de un metro cúbico de biogás, con sus respectivos consumos.

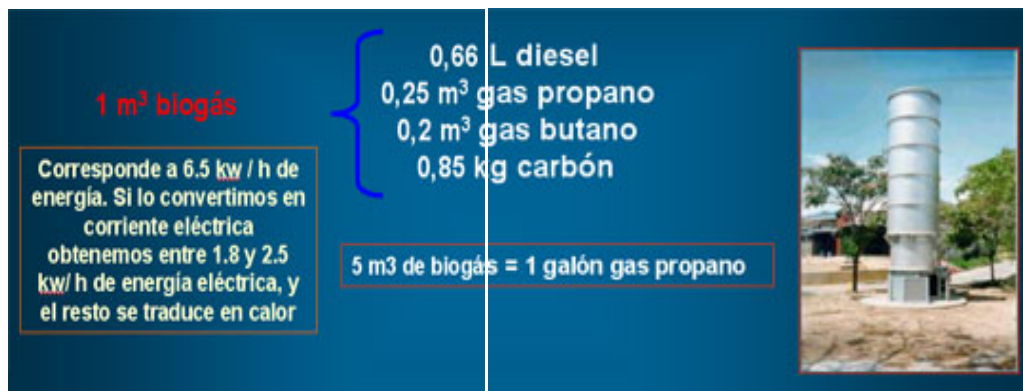


Figura 6. Usos del Biogás en actividades productivas.

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 (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.

1.3.2. 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.

Asimismo, 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.

Pueden destacarse las siguientes ventajas para el uso de biofertilizantes:

- Debido a su pH (7,5) funciona como un corrector de acidez, eliminando el aluminio tóxico y liberando el fósforo de sus sales insolubles de aluminio y hierro. Con elevación del pH se dificulta el desarrollo de hongos patógenos.
- Interviene en el intercambio iónico y en la absorción superficial.
- Su poder de fijación es tan grande que evita la solubilidad y lixiviación excesiva de sales, mejora la estructura del suelo, dejándolo más trabajable y facilitando la penetración de raíces.
- Estabiliza la aglomeración de partículas del suelo, logrando que resistan a la acción disgregadora del agua; absorbiendo las lluvias más rápidamente, evitando la erosión y, conservando la humedad por más tiempo. La estructura porosa permite mayor aireación de la zona de raíces facilitando su respiración y crecimiento.

Favorece el desarrollo microbiano y las bacterias se multiplican por millones, dando vida y salud al suelo. La intensa actividad bacteriana fija nitrógeno atmosférico, transformándolo en sales aprovechables. Facilita la multiplicación de bacterias radicales que se fijan en las raíces de leguminosas, mejorando su desenvolvimiento.

- En segundo lugar, cabe señalar que la única desventaja del uso de biofertilizantes es la no eliminación de la acidez del suelo causada por el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos dificultando, a menudo la absorción por la raíz de agua y nutrientes del suelo, tales como el potasio y el nitrógeno que influyen en la germinación y crecimiento de las plantas.

No posee problemas de la ley del máximo, pues su aplicación en cualquier cantidad no elimina otros elementos, sino que actúa como conservador de ellos.

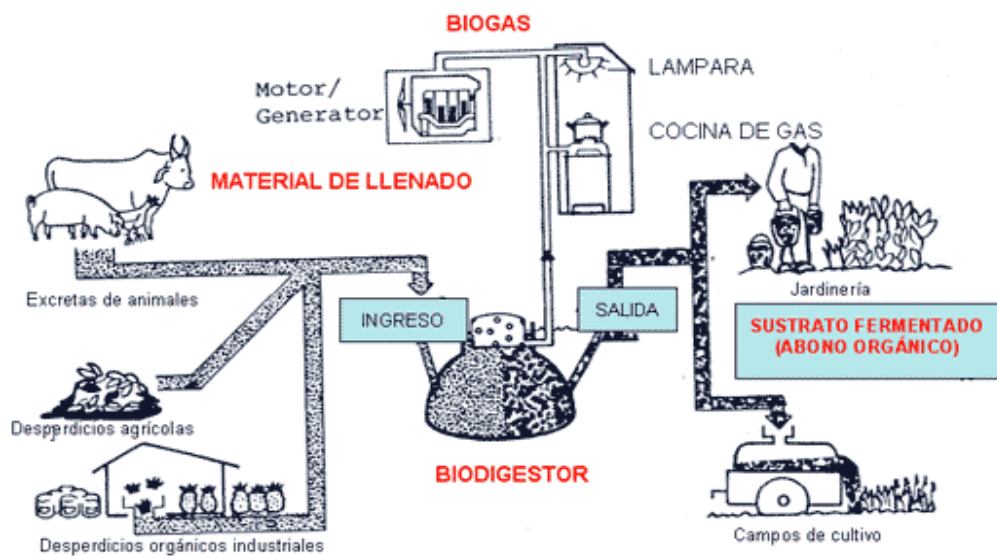


Figura 7. Ciclo de la biomasa en el biodigestores.

1.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS BIODIGESTORES INDUSTRIALES.

1.4.1. Digestores de alta velocidad o flujo inducido.

Estos son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi industriales. Generalmente trabajan a presión constante, por lo que se podrían catalogar como Digestores Tipo Hindú Modificado.

Se les conoce de ordinario como CSTD (Conventional Stirred Digester). Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en digestores convencionales de tipo continuo, que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido. El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos.

Buscando un tipo de digestor ideal, se llegó al concepto de digestor de segunda y tercera generación, siendo el clásico modelo hindú o chino, los de la primera.

Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana como son la inferior y la de sobrenadante intermedia, para que las bacterias tengan tiempo de atacar, hidrolizar y procesar efectivamente el material en descomposición; al mismo tiempo permite que los gases y el material parcialmente degradado sigan el recorrido del proceso normal dentro del digestor.

El Digestor de Segunda Generación divide al convencional en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del digestor. Utiliza compartimentos en ferrocemento o mampostería, espaciados adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. A este modelo se puede adicionar hasta un 25% de carga de origen vegetal sin que se atasque o paralice la operación.

El Digestor de Tercera Generación modifica radicalmente al de tipo Hindú tradicional, aunque sigue los lineamientos de esta escuela. Ha logrado una eficiencia de trabajo en forma continua que permite cargarlo con toda clase de materiales, hasta un 50 o 60% de materia de origen vegetal mezclada con excrementos, empleando una sola unidad que trabaja en forma de digestor continuo.

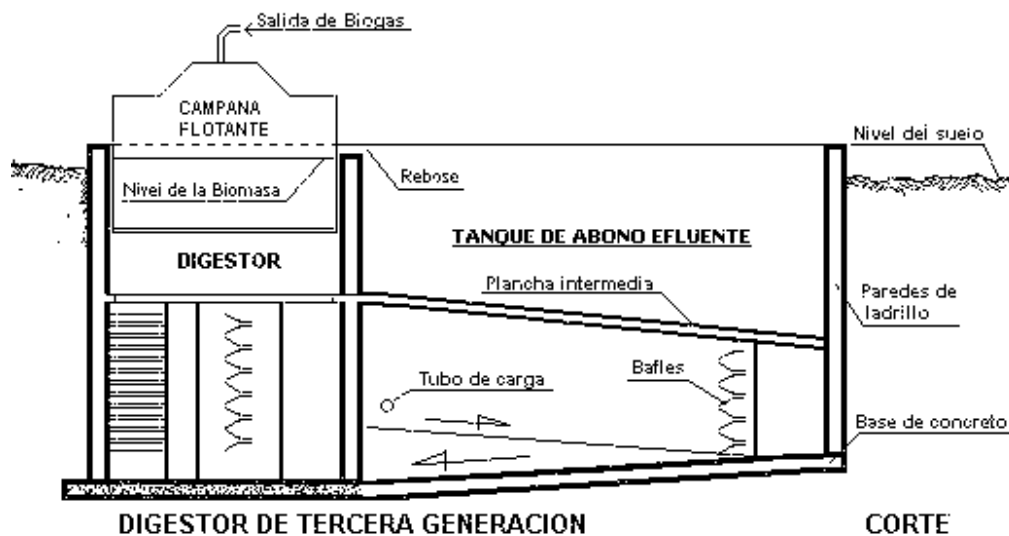


Figura 8. Digestor de tercera generación.

1.4.2. Ventajas de los Digestores de alta velocidad o flujo inducido.

- Menor tiempo de operación.
- Evita la formación de una costra de material dentro del digestor.
- Logra la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema
- Ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión.
- Mantiene una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes.
- Inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño.
- Permite una más rápida separación y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor.
- Mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor.

1.4.3. Instalaciones Industriales.

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. Con el objetivo de lograr su mejor funcionamiento se usan sistemas de bombeo para mover el material orgánico de los estanques de recolección hacia los biodigestores, y el biofertilizante de los digestores hacia los tanques de almacenamiento. También se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor.

Para evitar los malos olores se usan filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad y tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación. La tendencia mundial en el desarrollo de los biodigestores es lograr disminuir los costos y aumentar la vida útil de estas instalaciones, con el objetivo de llegar a la mayor cantidad de usuarios de esta tecnología.



Figura 9. Biodigestor industrial.

Capítulo 2: Evaluación de las potencialidades de generación de cachaza de la UEBCA “Ciudad Caracas”.

2.1. CARACTERIZACIÓN DE LA (UEBCA “Ciudad Caracas”)

El complejo 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. En el año 2003 se propone la creación de la Empresa Azucarera “Ciudad Caracas”, en sustitución del complejo agroindustrial, asociada al grupo empresarial del MINAZ en la provincia de Cienfuegos. Se encuentra situada en el Batey de su mismo nombre en el Municipio de Lajas, Provincia Cienfuegos. Donde el objetivo fundamental de la fábrica es la producción y comercialización de azúcar crudo y blanco directo, la producción de energía eléctrica, bagazo desmodulado, mieles 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.

2.2. PROCESO TECNOLÓGICO DE LA UEBCA “CIUDAD CARACAS”

La caña de azúcar después de ser cortada es llevada a los centros de Limpieza, luego es transportada por tiro directo al ingenio o en jaulas de ferrocarril, es recibida en la báscula donde se determina su peso. Después se transporta al basculador, donde es conducida desde el punto de descarga hacia los rompe bultos que son los encargados de romper el colchón de caña, pasan a los niveladores o gallegos para facilitar el trabajo de las cuchillas que están destinadas a nivelar los puntos

demasiados abultados de caña que se encuentra en los conductores. Luego continúa al proceso de extracción del jugo mediante cinco molinos constituidos por cuerpos cilíndricos de hierro fundido. En esta etapa se obtiene bagazo (que se utiliza en las calderas de vapor) y el jugo mezclado para la posterior producción de azúcar crudo. El jugo que viene de los molinos es alcalizado por la adicción de lechada de cal, el encalamiento tiene dos etapas fundamentales, una es pre alcalización en frío y la otra es la rectificación en caliente. El jugo pasa a los calentadores que estos son capaces de elevar la temperatura hasta un rango de 103° - 105° C, luego al tanque Flash donde ocurre la alcalización en caliente el cual está provisto de deflectores para lograr una mezcla homogénea entre el jugo y la cal. Con la reacción de cal y una completa precipitación de fosfato tricálcico se forman los núcleos de sedimentación que arrastran las impurezas hacia el fondo del clarificador y forman el lodo. Esta es extraída a gravedad a un recipiente cilíndrico con movimiento interior llamado cachazón donde se mezcla con el bagacillo fino proveniente de los molinos para formar la torta que pasa a los filtros con el fin de extraerle el jugo que contienen. Al jugo claro que proviene del clarificador se le determina el pH (que debe estar entre 6.7-7.2). Luego pasa por un filtro de jugo claro para eliminar la presencia de partículas finas, o sea, el bagacillo. Después que el jugo se filtra pasa para los pre-evaporadores donde existe una evaporación primaria, éstos operan relativamente a presiones muy altas, luego el proceso continúa hacia los evaporadores, aquí ocurre una evaporación secundaria porque se consume el vapor de escape o vapor de jugo de los evaporadores primarios, además estos vasos tienen como función de concentrar el jugo y eliminar la mayor cantidad de agua a un 75 %. La meladura que proviene de los evaporadores es conducida a los tachos donde se sigue concentrando hasta que aparezcan los cristales de azúcar. Los cristales se alimentan con meladura y alcanzan un tamaño adecuado para ser purgados en la templa. De aquí se obtiene el primer azúcar comercial y miel A, ésta se utiliza nuevamente para la fabricación y cuando es purgada se obtiene azúcar de segundo y miel B, de esta miel B se obtiene azúcar de tercera (semilla) la cual es utilizada como base para la fabricación de azúcar comercial y miel final. Las masas cocidas A y B se descargan en los cristalizadores de primera y segunda y

la masa cocida C en los cristalizadores de tercera. Cuando las masas cocidas pasan a las centrifugas que tienen una forma cilíndrica y tienen como función, separar la miel de los cristales, o sea, recibir la masa cocida y dar salida a la miel. Esta es la última etapa del proceso donde se obtiene el azúcar de primera y de segunda, es decir, el azúcar comercial, el azúcar de tercera o semilla y la miel final que sale de la fábrica. Luego esta azúcar comercial que sale de la centrífuga pasa por un conductor hacia las tolvas, donde es transportada hacia el cliente. Una parte de la producción es almacenada en sacos en la propia fábrica para ser distribuida finalmente.

Potencialidades.

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 sería la descomposición anaeróbica de este residuo en grandes digestores para la producción de biogás y abono orgánico.

Norma Potencial

La UEBCA “Ciudad Caracas” tiene una norma potencial de 4025 toneladas diarias de caña.

Norma Operacional al 70%.

La UEBCA “Ciudad Caracas” actualmente está trabajando al 70% de la norma potencial procesando diariamente un total de caña de azúcar que oscila por las 2817 ton/día, generando un total de cachaza de aproximadamente el 3.2% de las toneladas de caña procesada que esto sería 90 ton /día.

Nota: Con una producción de 90 ton/día se podría generar un total de biogás de 9000 m³/día. Ver tabla 6.

2.3. DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE BIOGÁS A CACHAZA PROCEDENTE DE LA (UEBCA “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.

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 requerido del digestor y el volumen del almacenamiento del gas.

Posibles Fuentes de biogás	Excreta húmeda diaria Kg/animal	m ₃ /kg. Biogás/día	Proporción Excreta: Agua	Tiempo de Retención aconsejable (días)
Vaca	10	0.360	1:1	40
Toro	15	0.540	1:1	40
Cerdo (50 kg)	2.25	0.101	1:1-3	40
Pollo	0.18	0.008	1:1-8	30
Caballo	10	0.300	1:1-3	40
Carnero	2	0.100	1:1-3	40
Ternero	5	0.200	1:1	40
Persona adulta	0.40	0.025	1:1	60
Cachaza	1 kg/2.5@caña	0.100	1:3	30

Tabla 6. Producción de biogás/día, proporción excreta – agua y tiempo de retención según la fuente de biogás. (Fuente elaboración propia)

2.3.1 .Cálculos para el dimensionamiento de una instalación de biogás.

Datos:

-Toneladas de cachaza del Central Caracas trabajando al 70% de la norma potencial:

Ton Cachaza sólida= 90.16 ton/día=90160 kg/día

-Proporción cachaza agua: 1:3

-Tiempo de retención=30 día

Volumen de digestión.

$$Vd. = \{(\text{kg. Cachaza} + \text{kg. Agua}) * \text{Tiempo Ret.}\} / \rho_{\text{mezcla}} \quad (\text{Ec.2.1})$$

Donde:

Vd-Volumen de digestión (m^3)

Tiempo Ret. - Tiempo de retención (día)

ρ_{mezcla} - Densidad de la mezcla (kg/m^3)

Entonces:

$$Vd. = \{(90160 \text{ kg. Cachaza} + 3*90160 \text{ kg. Agua}) * 30 \text{ días}\} / 1000 \text{kg}/ \text{m}^3$$

$$Vd. = 10819 \text{ m}^3.$$

Cálculo del volumen de construcción del digestor

$$Vcd. = Vd. + 0.3*Vd. = 1.3*Vd. \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

Vcd - Volumen de Construcción del Digestor (m^3)

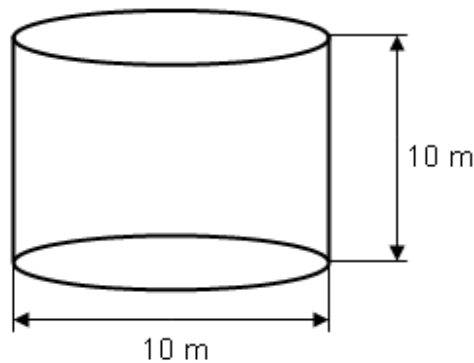
Entonces:

$$V_{cd} = 10819 + 0.3 \cdot 10819$$

$$V_{cd} = 14064.7 \text{ m}^3$$

Nota: El volumen de construcción del digestor (V_{cd}) es demasiado grande por lo tanto se necesitan varios digestores.

Dimensionamiento de los digestores



Volume total:

$$V_T = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot h$$

$$V_T = (\pi \cdot 10^2 / 4) \cdot 10$$

$$V_T = 785 \text{ m}^3$$

Figura 10. Dimensión de los digestores.

Cantidad de digestores que se necesitan.

$$C_d = V_{cd} / V_T \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

C_d - Cantidad de digestores

V_T – Volumen total del digestor (m^3)

Entonces:

$$C_d = 14064.7 / 785$$

$$C_d = 18$$

Nota: Se tomará solamente un 50% de la producción diaria de cachaza debido a la cantidad de digestores que se necesitan para digerir toda la cachaza.

Recalculando al 50% de la producción diaria de cachaza.

Datos:

-Toneladas de cachaza del Central Caracas trabajando al 70% de la norma potencial:

Ton Cachaza sólida= 90.16 ton/día=90160 kg/día

50%Ton Cachaza sólida=45080kg/día

-Proporción cachaza agua: 1:3

- $\rho_{mezcla}=1000\text{kg/ m}^3$

Sustitución de valores en la (Ec. 2.1)

$Vd. = \{(\text{kg. Cachaza} + \text{kg. Agua}) \cdot \text{Tiempo Ret.}\} / \rho_{mezcla}$

$Vd. = \{(45080 \text{ kg. Cachaza} + 3 \cdot 45080 \text{ kg. Agua}) \cdot 30 \text{ días}\} / 1000\text{kg/ m}^3$

$Vd. = 5410 \text{ m}^3$.

Sustitución de valores en la (Ec. 2.2)

$Vcd. = Vd. + 0.3 \cdot Vd. = 1.3 \cdot Vd.$

$Vcd. = 5410 + 0.3 \cdot 5410$

$Vcd. = 7033 \text{ m}^3$

Sustitución de valores en la (Ec. 2.3)

$Cd = Vcd / VT$

$Cd = 7033 / 785$

$Cd = 9$

Cálculo del volumen total de biogás generado (V_{tb}).

Se conoce de la tabla 6 que:

1 kg cachaza produce 0.1 m³biogás/día

Por lo tanto.

0,1 m³biogás/día ----- 1 kg cachaza

Vt b m³biogás/día ----- 45080 kg cachaza

Donde:

Vt b - volumen total de biogás (m³/día)

Entonces:

Vt b m³biogás/día = (45080*0,1)

Vt b = 4508 m³biogás/día.

Cálculo de almacenaje del biogás.

La mezcla cachaza-agua va a ocupar un (70%) del (Vcd), por lo tanto en el (30%) se almacenará una parte del Vt b y el resto en tanques independientes.

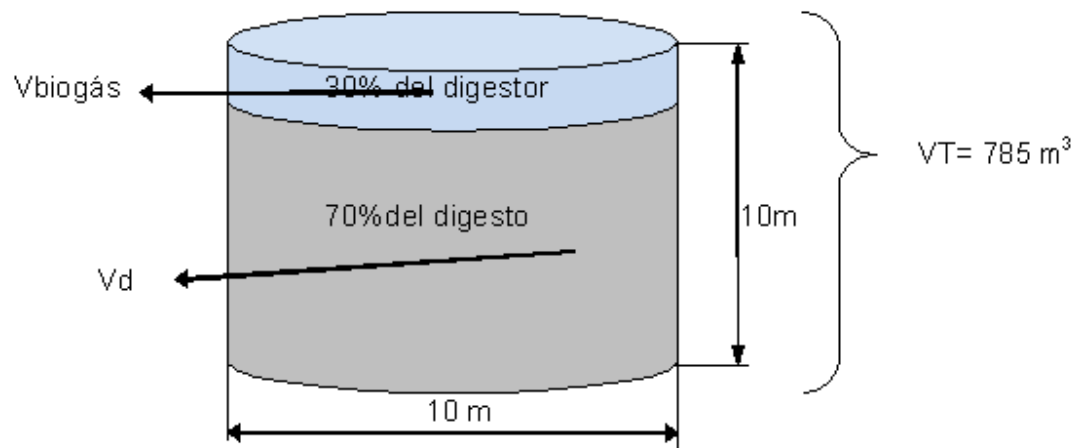


Figura 11. Algunas partes del digestor.

Volumen de biogás en los digestores.

(Ec.2.4)

Donde:

Vbd – Volumen de biogás en los digestores (m³).

Entonces:

$$Vbd = \frac{785 * 30}{100} * 9$$

$$Vbd = 2119.5 \text{ m}^3$$

Volumen de biogás que queda sin almacenar.

$$Vbq = Vt - Vbd \quad (\text{Ec.2.5})$$

Donde:

Vbq- Volumen de biogás que queda sin almacenar.

Entonces:

$$Vbq = 4508 - 2119.5$$

$$Vbq = 2388.5 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento de los tanques para almacenar el biogás restante.

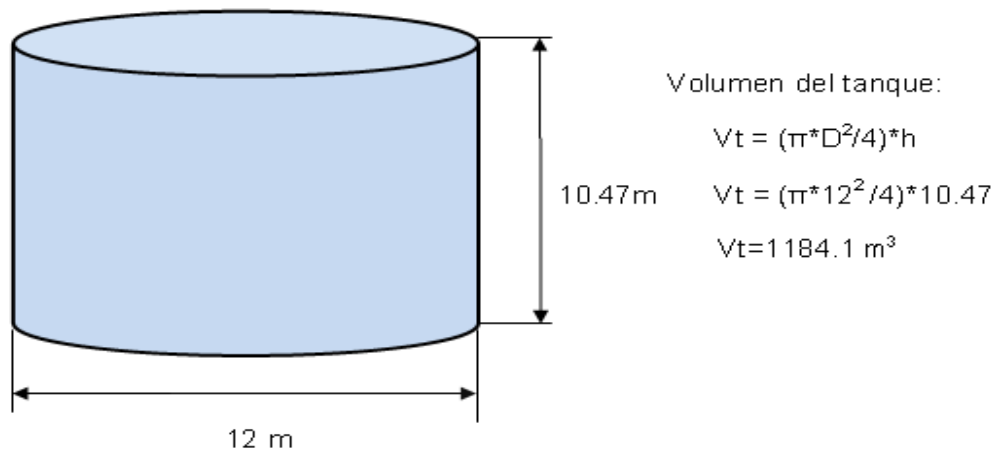


Figura 12. Dimensiones del tanque de biogás.

Cantidad de tanques que se necesitan.

$$Ct = Vbq / Vt \quad (\text{Ec.2.6})$$

Donde:

Ct - Cantidad de tanques

Vt – Volumen del tanque (m³)

Entonces:

$$Ct = 2388.5 / 1184.1$$

$$Ct = 2$$

Nota: Las dimensiones de los tanques de biogás se realizaron para almacenar todo el biogás que se genera en un día en conjunto con los biodigestores, sin tener en cuenta el consumo de biogás.

Esquema de la planta de biogás.

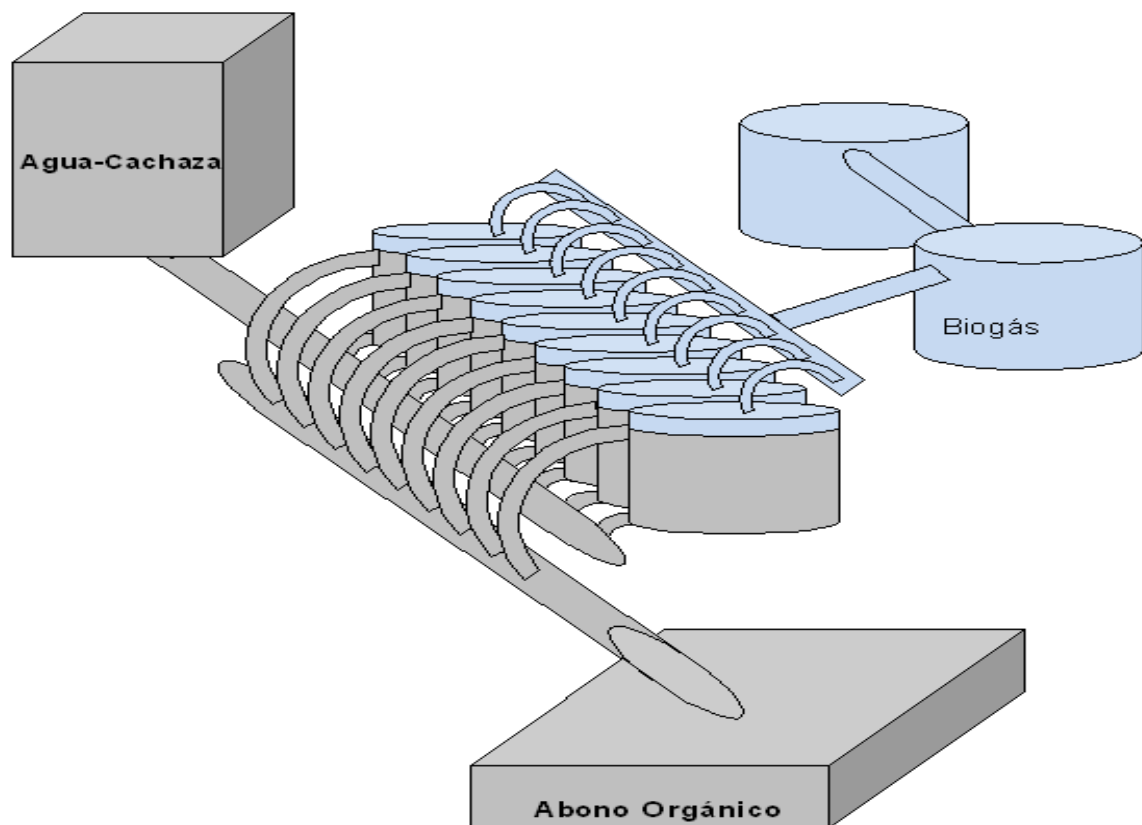


Figura 13. Esquema de la instalación.

Capítulo 3: Potencialidades de uso del biogás y efectos de los Componentes presentes en el biogás.

Introducción:

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible, en la cocción de alimentos para los trabajadores de la industria en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc. también puede ser usado en las calderas para generación de calor o electricidad en sustitución del bagazo. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110, además el biogás con aire en una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna en sustitución de la gasolina y el diesel. El biogás mezclado con aire puede ser quemado en un amplio espectro de artefactos transformándose principalmente en CO_2 y H_2O .

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxenos, etc. Por lo tanto es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final que se le vaya a dar a fin de asegurar un permanente y buen funcionamiento de los equipos que se alimentan de él.

3.1. USOS DEL BIOGÁS CON SUS RESPECTIVOS CONSUMOS.

3.1.1. Uso del biogás en la caldera Retal

Para utilizar el gas en quemadores debemos utilizar una soplante de la potencia adecuada que nos proporcione el caudal necesario para el manejo de los quemadores y la presión idónea.

Consumo de biogás en la Caldera Retal.

Para determinar el consumo o flujo de biogás en la caldera retal se tuvo que calcular primero el flujo de bagazo y para ello se tomaron algunas mediciones expuestas en los siguientes datos.

Datos:

- Valor calórico del biogás (V_c)= 5000 kcal / m³
- Valor calórico del bagazo (V_{cbag})=5000 kcal /kg
- Capacidad de la caldera con bagazo (G_v)=45 T/h=45000 kg/h
- Rendimiento de la caldera (η)=80%
- Presión en el domo (P_d)=1.7 MPa
- Temperatura de saturación en el domo (T_d)=380°C
- Entalpía de saturación en el domo (h_d)=3209 kJ/kg=766 kcal/kg
- Temperatura del agua a alimentar (T_{aa})=90°C
- Presión del agua a alimentar (P_{aa})=1.7 MPa
- Entalpía del agua a alimentar (h_{aa})=335 kJ/kg=80kcal/kg

$$G_{biog} * V_{cbiog} = G_{bag} * V_{cbag} \quad (Ec.3.1)$$

Donde:

G_{biog} - Consumo o flujo de biogás (m³/h)

V_{cbiog} -Valor calórico del biogás (kcal / m³)

G_{bag} - Consumo o flujo de bagazo (kcal /kg)

V_{cbag} - Valor calórico del bagazo (kcal /kg)

Cálculo del flujo de bagazo.

$$\eta = \frac{G_v * (h_d - h_{aa})}{G_{bag} * V_{cbag}} \quad (Ec.3.2)$$

Donde:

η – Rendimiento de la caldera (%)

Gv- flujo de vapor (kg/h)

hd - Entalpía de saturación en el domo (kcal/kg)

Taa- Temperatura del agua a alimentar (°C)

Haa- Entalpía del agua a alimentar (kcal/kg)

Entonces:

$$\eta = \frac{45000 * (hd - haa)}{G_{bag} * V_{cbag}}$$

$$80 \% = \frac{45000 * (766 - 80)}{G_{bag} * 5000}$$

$$G_{bag} = \frac{45000 * (766 - 80)}{0.8 * 5000}$$

$$G_{bag} = 7717.5 \text{ Kg/h}$$

Sustituyendo los valores en la Ec.3.1 se obtiene el consumo de biogás.

$$G_{biog} * V_{cbiog} = G_{bag} * V_{cbag}$$

$$G_{biog} = \frac{G_{bag} * V_{cbag}}{V_{cbiog}}$$

$$G_{biog} = \frac{7717.5 * 5000}{5000}$$

$$G_{biog} = 7717.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Nota: El biogás no puede ser empleado en la caldera debido a que la producción de biogás en los digestores no satisface el consumo.

3.1.2. Uso del biogás en camiones de tiro de caña.

Para sistemas pequeños el biogás es usado eficientemente para producir energía mecánica en motores de combustión interna, en este caso se desea sustituir parcialmente el combustible diesel empleado en los camiones de tiro de caña.

Nota: Se debe remover el sulfuro de hidrógeno a un contenido menor 10 ppm para incrementar la vida del motor. Cambios de aceite más frecuentes son necesarios para mantener la vida útil del motor.

Consumo de biogás en motores de combustión interna.

Equivalencias:

1 m³ biogás $\longleftrightarrow$ 0,6L diesel

Datos obtenidos por la base de camiones:

- Cantidad de camiones (Cc) =40
- Consumo de diesel (Cd) =4 km / L
- Recorrido diario (Rd) = 40 km
- Consumo de biogás (Cb) =?

Consumo total de diesel.

$$Ctd = \frac{Cc * Rd}{Cd} \quad (Ec.3.3)$$

Donde:

Ctd - Consumo total de diesel (L/día)

Cc - Cantidad de camiones

Rd - Recorrido diario (km)

Cd - Consumo de diesel (km / L)

Entonces:

$$Ctd = \frac{40 * 40}{4}$$

Ctd=400 L

Consumo de biogás en los motores.

$$Cbm = Ctd / 0.6 \quad (Ec.3.4)$$

Donde:

Cbm - Consumo de biogás en los motores ($m^3/día$)

Entonces:

$$Cbm = 400 / 0.6$$

$$Cbm = 667 \text{ m}^3/día$$

Nota: A los motores de Ciclo Diesel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diesel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables.

3.1.3. Cocción de alimentos en la industria y en casas de familias aledañas a la instalación.

Se conoce que aproximadamente 3 000 millones de personas en el mundo emplean todavía leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas.

La destrucción de las áreas boscosas es una de las causas de la manifestación de los diferentes procesos de degradación de los suelos, lo que trae consigo el detrimento de los rendimientos agrícolas con la consiguiente disminución en la producción de alimentos.

Consumo de biogás en la cocción de alimentos en la industria.

Los siguientes datos fueron suministrados por el administrador del comedor.

Datos:

-Solamente se cocina para el almuerzo.

-Cantidad de personas a almorzar (C_{pa})= 270

Información: Con 1m^3 de biogás se puede cocinar una comida al día para 12 personas.

Consumo de biogás en el comedor.

$$C_{bc}=C_{pa}/12 \quad (\text{Ec.3.5})$$

Donde:

C_{bc} - Consumo de biogás en el comedor ($\text{m}^3/\text{día}$)

C_{pa} -Cantidad de personas a almorzar

Entonces:

$$C_{bc}=270/12$$

$$C_{bc}=22.5 \text{ m}^3/\text{día}$$

Consumo de biogás en la cocción de alimentos para casas de familias.

Los siguientes datos fueron suministrados por la Oficoda Caraca.

Datos:

-Cantidad de viviendas (C_v)=385

-Cantidad de personas promedio por cada vivienda (C_{pv})=4

Información: Con 1m^3 de biogás es suficiente para cocinar 3 comidas al día para una vivienda con 4 personas.

Consumo de biogás en las viviendas.

$$C_{bv}= C_v*1\text{m}^3 \text{ biogás} \quad (\text{Ec.3.6})$$

Donde:

C_{bv} - Consumo de biogás en las viviendas ($\text{m}^3/\text{día}$).

C_v -Cantidad de viviendas.

Entonces:

$$C_{bv}=385*1$$

$$C_{bv}=385\text{m}^3/\text{día}$$

3.1.4. Consumo total de biogás.

Datos:

- Consumo de biogás en motores (Cbm)=667 m³/día
- Consumo de biogás en el comedor (Cbc)=22.5 m³/día
- Consumo de biogás en las viviendas (Cbv)=385 m³/día

$$C_{tb} = C_{bc} + C_{bv} + C_{bm} \quad (\text{Ec.3.7})$$

Donde:

C_{tb} - Consumo total de biogás (m³/día)

Entonces:

$$C_{tb} = 667 + 22.5 + 385$$

$$C_{tb} = 1074.5$$

Nota: Todavía queda un gran volumen de biogás sin consumir (3433.5 m³) que se emplearan en la generación de energía eléctrica.

3.1.5. Uso del biogás en generadores.

Se utilizó como base un equipo generador encontrado en el mercado que entrega una potencia nominal de 468[kW], produce 340 kWh a un consumo de 80 Lit/diesel y tiene un valor de \$70.000 los datos de este equipo se encuentra en los Anexos.

Se necesita consumir la mayor cantidad de biogás restante (3433.5 m³) en un día y para ello se instalara una serie de generadores de los mencionados anteriormente.

Cantidad de generadores que se necesitan.

Datos:

-1 m³ biogás $\longleftrightarrow$ 0,6L diesel

-Consumo de diesel (C_d) = 80 L / h

-Consumo de biogás (C_b) = 133.3 m³/h

-Tiempo de trabajo diario (T_t) = 4 h

-Cantidad de biogás a consumir (Cbc) = 3433.5 m³

$$Cg = \frac{\frac{Cbc}{Cb}}{Tt} \quad (Ec.3.8)$$

Donde:

Cg - Cantidad de generadores que se necesitan.

Cbc -Cantidad de biogás a consumir (m³).

Cb- Consumo de biogás (m³/h).

Tt- Tiempo de trabajo diario (h).

Entonces:

$$Cg = \frac{\frac{3433.5}{133.3}}{4} = \frac{26}{4} = 6.5$$

Nota: Se necesita un total de seis generadores eléctricos trabajando 4h/día para consumir prácticamente todo el biogás.

3.2. COMPONENTES PRESENTES EN EL BIOGÁS Y SUS EFECTOS.

Los componentes más comunes que se encuentran presentes en el biogás son:

- CO₂
- H₂S
- NH₃
- Vapor de agua
- Polvo
- N₂
- Siloxenos

A continuación se muestra una tabla resumen de los efectos en el comportamiento del biogás

CO2	25 - 50 % vol	Baja el poder calorífico
		Incrementa el número de metano
		Causa corrosión
		Daña celdas alcalinas de combustible
H2S	0 - 0,5 % vol	Corrosión en equipos y piping
		Emisiones de SO2 después de los quemadores
		Emisión de H2S en combustión imperfecta
		Inhibición de la catálisis
NH3	0 - 0,05 % vol	Emisión de Nox
		Daño en las celdas de combustibles
Vapor de agua	1 - 5 % vol	Corrosión en equipos y piping
		Daños de instrumentación por condensado
		Riesgo de congelar y bloquear tuberías y
Polvo	> 5µm	Bloquea las boquillas y celdas de combustibles
N2	0- 5 % vol	Baja el poder calorífico
Siloxenos	0 - 50 [mg/m3]	Actúan como abrasivos, daño en motores

Tabla 7. Componentes del biogás y su efecto en las propiedades. Fuente [1]

Efectos del CO2 en el biogás

La presencia de CO2 en el gas se mide en la razón de CO2/metano [%vol] y puede ser controlada parcialmente debido a que es esencial en la formación de metano en el gas por lo que no se busca hacerlo desaparecer.

Los factores que afectan la composición de CO2 son:

1) La presencia de compuestos con largas cadenas de hidrocarburos por ejemplo compuestos con alto contenido en grasas ayudan a mejorar la calidad del gas cuidando de no afectar la acidez, la cantidad de átomos de Carbono presentes en el sustrato se relaciona directamente con el porcentaje en volumen de metano presente en el biogás.

- 2) Generalmente la descomposición anaeróbica de la biomasa mejora con el tiempo de exposición, cercano al final del tiempo de residencia el contenido de metano aumenta desproporcionadamente a medida que el contenido de CO₂ va desactivando el proceso de hidrólisis.
- 3) El proceso de fermentación toma lugar de manera más rápida si el material en el reactor está distribuido homogéneamente.
- 4) Un alto contenido de líquido en el reactor influye en una alta concentración de CO₂ disuelto en el agua, lo que disminuye el nivel de CO₂ presente en la fase gaseosa.
- 5) A mayor temperatura de fermentación, disminuye la cantidad de CO₂ disuelto en el agua.
- 6) Una alta presión durante el proceso lleva a una mayor concentración de CO₂ presente en el agua, esto se puede aprovechar si se purga material con alto contenido en CO₂ disuelto en el agua (claramente una vez iniciado el proceso de proliferación bacteriana).

N₂ y O₂ presente en el biogás.

El nitrógeno y oxígeno presente en el biogás se encuentran normalmente en proporción 4:1 y usualmente se incorporan en las etapas de ventilación que tienen como objetivo eliminar el ácido sulfhídrico presente en el reactor, estos gases pueden entrar también normalmente en pequeñas cantidades si el sistema de tuberías no está perfectamente hermético.

Amoniaco presente en el biogás.

Normalmente la concentración de amoniaco es baja (<0,1 mg/m³), cuando los substratos usados provienen de excremento de aves o algunos casos particulares de basura la presencia de amoniaco se puede incrementar hasta no superar los 1.5 mg/m³, por sobre este límite existe riesgo para los quemadores inclusive para la vida de los motores utilizados.

Acido sulfhídrico presente en el biogás.

La cantidad de H₂S presentes en los gases de escape depende principalmente del proceso utilizado para la obtención del biogás y del tipo de substrato involucrado,

si no existe un paso de desulfurización, la concentración de H_2S puede exceder el 0.2% vol. Cuando el substrato fermentado es viscoso el contenido de H_2S es menor que en el caso de un substrato líquido.

Un objetivo primordial es mantener el contenido de ácido sulfhídrico a los niveles más bajos posibles, porque aguas abajo la mayoría de los componentes sufren daños irreversibles debido al alto potencial de corrosión del H_2S , usualmente el biogás es desulfurizado aun mientras permanece en el reactor.

A través de un proceso de pre-desulfurización se puede ayudar a mantener un nivel inferior a 70 mg/m³ cuando se utilizan co-substratos o por debajo de 310 mg/m³ en planta que utilizan excretas líquidas para la fermentación. A pesar de los esfuerzos, el H_2S siempre está presente en niveles altos.

El sulfuro de hidrógeno contenido en el biogás, junto a la humedad de éste, se convierte en ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual es nocivo para ciertos equipos como calentadores de agua, motores o refrigeradores [2]. Por lo tanto, la reducción del sulfuro de hidrógeno se hace necesaria cuando el biogás presenta sobre 2% en volumen de este compuesto [2]. Sin embargo, la desulfuración no es necesaria si el biogás contiene menos de 1% de este compuesto.

Con el fin de eliminar o disminuir el porcentaje de H_2S en el biogás se emplean sistemas de filtro con sustancias como cal viva o apagada, limadura de hierro o ciertos tipos de tierras conocidas como hematites parda o limonita, las cuales son ricas en sustancias ferrosas. Estas masas se regeneran al entrar en contacto con aire por lo que podrán ser usados nuevamente. La capacidad absorbente de esta masa depende de la cantidad de hierro que contengan. Una masa que contiene entre 5 a 10% de hidróxido de hierro puede absorber 15[g] de sulfuro por kilo sin ser regenerada, pudiendo remover hasta 150 [g] de sulfuro al ser regenerada [3].

Otra alternativa para la remoción de H_2S consiste en Biofiltros de lecho fijo, donde la fase móvil corresponde al gas, con soporte orgánico/sintético para la biomasa que se encuentra fija. Corresponde a uno de los sistemas de tratamiento más

utilizado debido a sus bajos costos de operación, al bajo costo del material del medio filtrante y a los bajos consumos de agua, además de poseer una alta eficacia en la eliminación de distintos contaminantes, en particular el H_2S . No generan desechos como lodo y agua contaminada. Dentro de sus desventajas se encuentra el poco control frente a los fenómenos de reacción, la dificultad de control de pH ya que se trata con contaminantes que generan productos ácidos, el taponamiento generado por el exceso de biomasa y los grandes requisitos de espacio.

Los biofiltros consisten en una columna que contiene un material de empaque de elevada porosidad cuya función es dar soporte y en algunos casos servir como fuente de nutrientes a los microorganismos. Los microorganismos se encuentran formando parte de una capa que rodea al material filtrante denominada biopelícula.

A medida que el gas atraviesa el lecho poroso, los contaminantes solubles, son transferidos a los microorganismos debido a la existencia de un gradiente de concentración generado entre la fase gas y la biopelícula. Una vez en la biopelícula, los contaminantes son degradados por la biomasa activa, que los utiliza para su metabolismo como fuente de nutrientes y/o energía. Los ácidos que son generados degradarán rápidamente al medio orgánico, por lo que este debe ser reemplazado al poco tiempo de operación. Debido a lo anterior, el medio filtrante debe tener una buena capacidad buffer con la finalidad que pueda consumir el ácido generado y no inhibir a la actividad bacteriana. Es usual el uso de carbonato de calcio en forma de conchas marinas molidas como buffer para prevenir las bajas de pH dentro del biofiltro. Con el tiempo las conchas marinas molidas se disolverán debiendo ser reemplazadas. Una relación típica de mezcla es de 25 [kg] de conchas marinas por cada metro cúbico de material filtrante [4].

Las bacterias incoloras del azufre son las más ampliamente usadas para la oxidación del H_2S y azufre elemental a sulfatos usando oxígeno como aceptor de electrones. Son bacterias aeróbicas quimioautótrofas, cuyo proceso de oxidación da lugar a la formación de iones hidrógeno, produciendo una acidificación del

medio. Algunos de los microorganismos identificados como bacterias incoloras del azufre corresponden a una serie de especies del género *Thiobacillus*, que son capaces de oxidar sulfuro de hidrogeno utilizando oxigeno como aceptor de electrones. Son bacterias autotróficas, por lo que usan el dióxido de carbono del biogás para cubrir sus necesidades de carbono bajo pH=3 los sistemas estarán dominados por *Thiobacillusthiooxidans* que oxida el sulfuro rápidamente. Esta especie no se inhibe incluso a pH=1, pero tiene la desventaja de formar acido sulfúrico en mayor cantidad a menor pH, por lo cual ocasiona problemas de corrosión dentro del biofiltro.

Siloxenos presentes en el biogás.

Los siloxenos son variantes de la silicona y se presentan como grupos separados en el biogás, estos componentes pueden ser hallados principalmente en cosméticos, detergentes, tintas de impresión y en materiales de construcción, es por esto que en los desechos domésticos, que son sustrato principal para el biogás obtenido de plantas de tratamientos de agua o de vertederos, se encuentran muchos de los compuestos derivados de la silicona. Sin embargo el contenido de siloxenos puede ser alto en plantas que fermentan mezclas de sustratos (con una parte proveniente de fangos de cloaca).

Concentraciones aceptables de estos compuestos son de 0.2 mg/m³, cuando se quema biogás. Con siloxenos presentes se forma SiO₂ lo que se deposita en la superficie de partes y maquinas, pero en motores que queman biogás puede producir abrasión de la superficie de pistones.

3.3. PRINCIPAL ACONDICIONAMIENTO DEL BIOGÁS.

El gas tal cual sale del digestor debe ser acondicionado a fin de asegurar un permanente y buen funcionamiento de los equipos que se alimentan de él. A pesar de que alguno de estos acondicionamientos no son necesarios en todos los casos, otros como el drenaje del agua de condensación deberá realizarse siempre.

El biogás que sale del digestor está saturado de vapor de agua, a medida que se enfría el vapor se condensa en las cañerías y si no se lo evacua adecuadamente

pueden bloquearse los conductos con agua. Por esta razón las cañerías de distribución deben ser instaladas con una pendiente mínima del 1% hacia un recipiente denominado trampa de agua donde ésta se almacena y se extrae. Existen diversos tipos de trampas de agua tanto manuales como automáticas (Figura15), que son las recomendadas porque requieren de un mínimo mantenimiento.

Secado, drenaje:

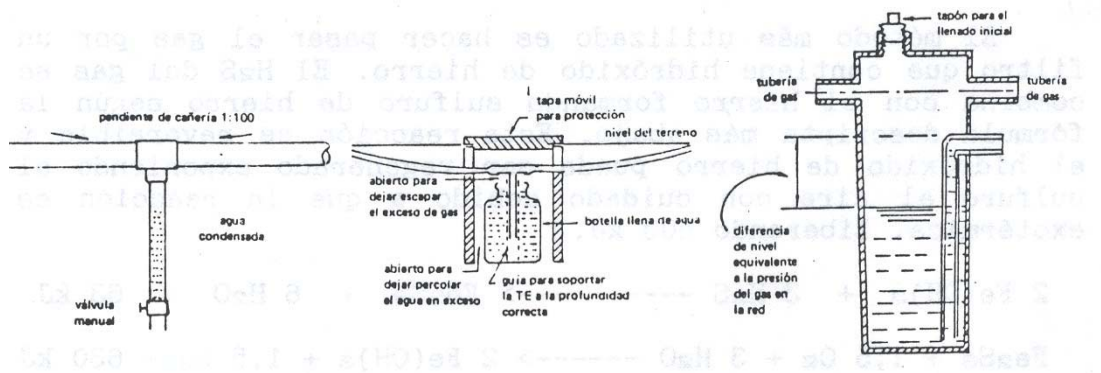


Figura14. Tipos de drenaje: 1) Simple tipo "T"; 2) Automático subterráneo; 3) Automático tipo "sifón"

Capitulo4: Evaluación económica.

En el desarrollo del análisis económico se tiene que tener en cuenta que el tiempo de zafra oscila alrededor de cuatro meses al año y que el digestor comenzará a producir biogas y abono orgánico a partir del segundo mes de comenzada la zafra quedando solamente tres meses.

4.1. INGRESOS

4.1.1. Ingresos asociados a la venta de energía eléctrica

Se utilizó como base un equipo generador encontrado en el mercado que entrega una potencia nominal de 468[kW], produce 340 kWh a un consumo de 80Lit diesel y tiene un valor de \$70.000. los datos de este equipo se encuentra en los Anexos.

Ingreso anual en energía eléctrica producida.

Datos:

Las ventas de energía eléctrica al SEN a un costo promedio de 41.40 \$/ MWh (Dpto Comercial empresa eléctrica Cfg).

-Costo de la energía eléctrica (Cee) 41.40 \$/ MWh

-Cantidad de generadores (Cg) =6

-Tiempo de trabajo diario (Ttd) = 4 h

-Cantidad de días a trabajar (Cdt) = 90días

-Capacidad de generación eléctrica (Cge)=340 kWh= 0.34 MWh

$$lee = Cg * Ttd * Cdt * Cge * Cee \quad (Ec.4.1)$$

Donde:

lee- Ingreso anual en energía eléctrica producida (\$)

Cg-Cantidad de generadores

Ttd - Tiempo de trabajo diario (h)

Cdt- cantidad de días a trabajar (días)

Cge- Capacidad de generación eléctrica (MWh)

Cee- Costo de la energía eléctrica (\$/MWh)

Entonces:

$$lee = 6 * 4 * 90 * 0.34 * 41.40$$

$$lee = \$30404.16 \text{ MN}$$

4.1.2. Ingresos asociados a la venta de bioabono.

Las toneladas de abono orgánico procesado en la planta de biogás son aproximadamente 4/3 de las toneladas de materia orgánica que se le suministra a la planta debido a las pérdidas de agua por evaporación.

Ingreso anual en abono orgánico.

Datos:

-La ventas de bioabono a un precio de 275.00 \$/t. (Dpto. economía de la agricultura urbana Cfs).

-Costo del bioabono (Cb) = 275.00 \$/t.

-Ton Cachaza sólida = 45.08 ton/día

-Proporción cachaza agua: 1:3

$$lao = (\text{ton. Cachaza} + \text{ton. Agua}) * \frac{3}{4} * Tp * Cb \quad (\text{Ec.4.2})$$

Donde:

lao- Ingreso anual en abono orgánico (\$).

Tp- Tiempo de producción (día).

Cb- Costo del bioabono (\$).

Entonces:

$$I_{ao} = (45.08 + 3 * 45.08) * \frac{3}{4} * 90 * 275$$

$$I_{ao} = \$3347190 \text{ MN}$$

4.2. INVERSIONES.

4.2.1. Costos de inversión en equipo de generación eléctrica.

Es de vital importancia considerar un equipo de generación eléctrica que utilice biogás para aprovechar el ahorro por concepto de energía eléctrica, se utilizó como base un equipo generador encontrado en el mercado que entrega una potencia nominal de 468[kW], produce 340 kW/h a un consumo de 80 Lit. Diesel y tiene un valor de \$70.000 MN. Los datos de este equipo se encuentran en el Anexo

Costo de la inversión de los generadores.

Se van a montar seis generadores eléctricos con un precio cada uno de \$70000 MN, por lo tanto el costo de la inversión sería:

$$\text{Costo de la inversión} = \text{Cant. Generadores} * \text{Cost. Generadores}$$

$$\text{Costo de la inversión} = 6 * 70000$$

$$\text{Costo de la inversión} = \$ 420000 \text{ MN}$$

4.2.2. Costo de inversiones en la construcción de los digestores

El costo de inversión de los digestores se tomará a partir de revisiones bibliográficas y estudio realizado sobre diferentes plantas de gran envergadura montadas en Cuba, arrojando valores que oscilan entre (\$1000000 MN y \$3000000 MN) por lo tanto se tomará un costo de inversión de \$2000000 MN.

$$\text{Costo de la inversión} = \$ 2000000 \text{ MN}$$

4.3. RESULTADOS FINALES.

Ingresos

Ingreso anual en energía eléctrica producida.

$$- \$30404.16 \text{ MN}$$

Ingreso anual en abono orgánico.

- \$3347190 MN

Ingreso total

-\$3377594.16 MN

Costos de inversión.

Costos de inversión en equipo de generación eléctrica.

-\$ 420000 MN

Costo de inversión en los digestores.

- \$ 2000000 MN

Costos de inversión total.

-\$2420000 MN

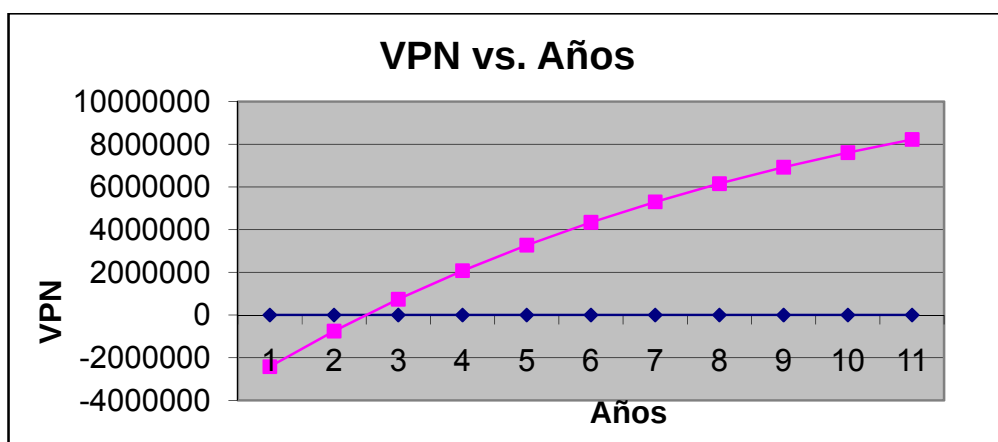
Gastos

Los gastos se tomaran como el 10% de los costos de inversión

Gastos totales

-\$242000 MN

4.3.1. Tiempo de recuperación de la planta



Conclusiones

- La utilización de digestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando su valor fertilizante y controlando, de manera considerable, los malos olores.
- La producción de biogás no puede ser empleada en la caldera, debido a que los digestores no satisfacen el alto consumo de esta, pero si puede emplearse en motores de combustión interna, en la cocción de alimentos, en grupos electrógenos y en otros múltiples usos.

Recomendaciones

- Construir la planta de biogás lo más cerca posible a los consumidores, con el objetivo de minimizar los costos y las pérdidas en tuberías.
- Ubicar los digestores donde reciba la mayor cantidad de sol durante el día, mejorando así las condiciones para la producción de biogás.

Referencia Bibliográfica

- [1] Biogás from waste and renewable, Dieter Deublein y Angélica Steinhauser, 2008
- [2] Martínez R., Chávez E., López I, Utilización del biogás como combustible para motores de combustión interna. En: V Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica (COMEC), 4-6 de noviembre de 2008, UCLV, Santa Clara, Cuba. Centro de Estudios de Termoenergética Azucarera (CETA), 2008. 8 p.
- [3] Ward A. et al. "Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources". Bioresource Technology, volumen 99, 2008, pág. 7928-7940.
- [4] Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas Raúl Botero B y Thomas R. Preston (1987).

Bibliografía

- Colleran E., Concannon F., Golden T., Geoghean F., Crumlish B. y Killila E. (1992). Use of mathanogenic activity test to characterize anaerobic sludge, screen for anaerobic Groups and species. *Water Science and Technology*, **25**, 31 - 40.
- Gabre R. B. (1988). Laboratory manual. Microbiological aspect of anaerobic digestion. Ranade D R, Editor.
- López C y Novoa M. C. (1991). Microbiología de la digestión anaerobia de aguas residuales. Parte II. Poblaciones microbianas en digestores anaerobios. *Revista CNIC. Ciencias Biológicas*, **22**, 1-2, 43 - 48.
- López M.; Sánchez E; Montalvo S., Escobedo R. (1998). Efecto de las variables operacionales sobre el proceso de solubilización de residuos sólidos. *Memorias V Taller y Seminario Latinoamericano Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*, Viña del Mar, Chile, octubre.
- Noyola A. (1994). Diseño, inóculo y arranque de rectores UASB. *Memorias III Taller y Seminario Latinoamericano sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*. Montevideo. Uruguay, 133 – 143
- Noyola A.; Bustamante N. (1992). Evolución del inóculo de un reactor anaerobio de lecho de lodos a escala industrial. *Memorias VIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Morelos, México, septiembre.
- Soto M; Méndez R. y Lema J. M. (1993). Methanogenic and non – methanogenic activity tests. Theroretical basis and experimental set up. *WaterResearch*, **27**, 1361 – 1376.
- Soubes M. (1994). Microbiología de la digestión anaerobia. *Memorias III Taller y Seminario Latinoamericano Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*, Montevideo, Uruguay, 15 – 28
- WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim AWWA/APHA/WEF. (1995). *Standard methods for the examination of water and waste water*. 19th edition, Washington.

Anexos

		Código:0201801 Ref:	Fecha:
Ficha Técnica de los Objetos			
		Fecha de Emisión: 23/06/2012	
obipat			
	Nombre: Generador		Código: GEN-0001
	Grupo: Generadores STAMFORD HC-5		Género: Generadores
	Localización: Área de Equipos Auxiliares \ Local del Grupo Electrónico del Área de Eq. Aux. \ Grupo Electrónico del Área de Equipos Auxiliares \ Generador del Grupo Electrónico.		
	Activo: No EstadoTécnico: 100		
Cliente / Área:		6106 Área de Equipos Auxiliares	
		6100 Planta Embotelladora "Ciego Montero". Los Portales	
Propiedades Generales			
Marca		STAMFORD	
Modelo		HC-5	
R.P.M.		1800	
Potencia Continua (Kw)		468	
Potencia en emergencia (Kw)		514.4	
Frecuencia (Hz)		60	
Cos fi		0.8	
IP		23	





