



UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN

OSCAR LUCERO MOYA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA.

**PROPUESTA DE PLANTA DE BIOGÁS PARA TRATAR RESIDUAL PORCINO EN
CENTRO PORCINO “CUBA SÍ 3”**

AUTOR: Ernesto Sanz González

TUTOR: Ing. Rubén Roch Alberteris.

TIPO DE CURSO: CRD

Holguín, 2011.

PENSAMIENTO.

[...] toda ciencia empieza en la imaginación, y no hay sabio sin el arte de imaginar, [...]

“Libro nuevo de José Miguel Macías”,

Edición 128, Nueva York, septiembre 8 de 1894. O.C. 5:240.

AGRADECIMIENTOS.

A todas las personas que durante estos cinco años de estudio contribuyeron en mi formación como futuro profesional.

DEDICATORIA.

A María del Pilar (mi mamá), a Claudia (mi hija) y a toda mi familia.

RESUMEN

El presente trabajo es básicamente una propuesta para el tratamiento del residual de cerdos generado por en el centro porcino “Cuba Si 3”, el cual se efectuará mediante la descomposición de dichos residuos orgánicos por el método anaerobio.

En el desarrollo del mismo se hace un análisis de los aspectos teóricos y de conceptos relacionados con el tema. Entre otras cuestiones se plantean algunas consideraciones sobre el uso de las plantas de biogás para tratar las aguas residuales, se explica la fermentación anaerobia y sus fases.

Como aspecto importante a partir del estudio de los diferentes tipos de planta de tratamiento de residuales y con el cálculo de la cantidad de residual generado por la entidad se propone el tipo de planta adecuado (cúpula fija) 46,4 m³ de capacidad para una producción de 13 m³/días de biogás. De esta se efectúa su valoración económica, ambiental y para la defensa de la patria en condiciones excepcionales.

ABSTRACT

The present work is basically a proposal for the treatment of the residual one of pigs generated for in the swinish center "Cuba Si 3", which will be made by means of the decomposition of these organic residuals by the anaerobe method.

In the development of the same one an analysis of the theoretical aspects is made and of concepts related with the topic. Among other questions they think about some considerations on the use of the biogas plants to treat the residual waters, it is explained the fermentation anaerobia and their phases.

As important aspect starting from the study of the different types of treatment plant of residual and with the calculation of the quantity of residual generated by the entity intends the adapted plant type (fixed dome) 46,4 m³ of capacity for a production of 13 m³/day of biogas. Of this their economic, environmental valuation is made and for the defense of the homeland under exceptional conditions.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I. Fundamentación teórica	8
1.1. Resumen histórico.....	8
1.2. Biomasa	11
1.3. Gestión de residuos orgánicos.	13
1.3.1. Formas de valorización energética.	14
1.4. Biogás	16
1.4.1. Principio de la fermentación anaeróbica.	17
1.5. Metano	18
1.5.1. Riesgos potenciales sobre la salud.....	20
1.5.2. Usos del gas metano.	20
1.5.3. Afectación del metano al medio ambiente.	22
1.6. Biodigestor	23
1.6.1. Principales ventajas de los biodigestores.	24
1.6.2. Tipos de plantas.....	25
1.7. Caracterización de la entidad porcina.	29
CAPÍTULO II. Propuesta del tipo de planta de biogás para el tratamiento de residual porcino en el Centro Porcino Cuba Sí 3.	31
2.1. Determinación de la cantidad del residual de cerdos.	31
2.2. Selección de la planta de biogás.....	32
2.3. Dimensionamiento de la planta de biogás (cúpula fija).	34
2.4. Cantidad de materiales para la construcción de la planta.	35
2.5. Valoración económica de la planta de biogás.	36
2.6. Valoración del impacto medio ambiental de la planta de biogás.	37
2.7. Aporte para la defensa de la patria.	39
CONCLUSIONES.	40
RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	52

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, dentro de los factores que contribuyen a la contaminación del medio ambiente se encuentran los desechos generados por las industrias y las ciudades, los cuales han aumentado en gran cantidad con el desarrollo de la sociedad, favoreciendo el incremento del calentamiento global y los efectos nocivos para la salud del planeta y de los seres vivos.

La disposición de las aguas residuales domésticas, industriales y/o agrícolas se han convertido en los últimos años en un problema serio, que ha repercutido directamente en el medio ambiente, donde se ocasionan problemas graves de contaminación, especialmente en países como el nuestro, en vías de desarrollo. [9]

Las aguas residuales son normalmente vertidas a ríos y quebradas, sin recibir un adecuado tratamiento. En la actualidad dichos cuerpos de agua, principalmente ríos, han reducido notablemente su capacidad de dilución debido a muchos factores, relacionados principalmente con la carencia del recurso hídrico "agua", y están contaminados. [9]

Tal vez uno de los hechos más significativos de las décadas finales del siglo XX y años iniciales del actual siglo XXI, haya sido el extraordinario cambio cualitativo que han tenido las comunidades humanas en relación con el entorno. Una de las principales manifestaciones del referido cambio es la creciente globalización de los problemas ambientales, en especial aquellos que se vinculan con el recurso agua y derivados de su ciclo. Dentro de este, el relacionado con el manejo de las aguas residuales, que adquiere un carácter prioritario por su incidencia ambiental en el aseguramiento de una mayor calidad de vida a todos los habitantes del planeta y de las generaciones futuras.

En numerosos trabajos se ha puesto de manifiesto la importancia que se le atribuye en un entorno dado, al manejo y reciclaje de las aguas residuales para la preservación del medio ambiente. Estos residuos líquidos con el curso de la

ciencia y la técnica, constituyen una vía de incalculable valor energético que en múltiples ocasiones se desaprovecha en la práctica a la hora de seleccionar e implantar un sistema de tratamiento que no contemple el reciclaje donde existen esas posibilidades.

Para lograr adecuadamente lo anterior es factible usar tecnologías de diversa índole, desde sistemas simples hasta otros muy sofisticados. También es de importancia clave hallar innovadoras técnicas, para retornar los nutrientes a las tierras agrícolas, aplicar estrategias de marketing para la comercialización de estos nutrientes recuperados y divulgar instrucciones para su uso seguro en la agricultura. Existen ejemplos individuales de sistemas exitosos y prometedores de eliminación residual ecológica en varios países, y numerosos expertos de larga experiencia trabajan en este campo. Sin embargo, todavía se requiere mucha investigación y desarrollo antes que estos sistemas identificados como ciclo cerrado puedan establecerse internacionalmente.

En el tratamiento de las aguas residuales... “el método anaerobio es el que más se considera y se aplica en el mundo para las zonas tropicales y moderadas. Es una tecnología adecuada de bajo costo que recupera energía que a la vez puede ser usada en los propios procesos productivos”. (Manual para especialistas cubanos, Instituto de Energía de Janoy).

Dicho método es aplicable a los diferentes tipos de aguas residuales dentro de las que se encuentran las que contienen desechos humanos orgánicos,...y los residuales animales, en particular los procedentes del ganado porcino cuyo tratamiento en particular es motivo de estudio del presente trabajo.

En el mundo para el tratamiento de residuales porcinos es frecuente la utilización de digestores para procesar desperdicios provenientes de procesos productivos, con la finalidad de proteger al medio ambiente. Los países desarrollados son los que más la utilizan (Estados Unidos, Alemania, Suecia y otros emergentes como: China, India y Viet Nam) en este último no es permitido la cría de cerdos si no se tiene un planta de biogás para el procesamiento de los residuales contaminantes

del medio, de ahí la cantidad de plantas que anualmente construyen, fuente del mejoramiento de las condiciones de vida de las áreas rurales. En unos pocos países del tercer mundo se emplean algunas de estas técnicas en pequeños asentamientos humanos, donde por estar enclavados en áreas ambientalmente protegidas o por la escasa disponibilidad de recursos naturales no les es posible garantizar otra fuente para adquirir energía, tal es el caso de Bolivia y Costa Rica.

En Cuba tradicionalmente los criadores de cerdos en convenio con el estado, así como los centros porcinos han utilizado las lagunas de oxidación como elemento de tratamiento de residuales, a pesar de no mantener las condiciones ideales que debe reunir dicho elemento de tratamiento.

Los residuales porcinos se caracterizan por una alta fetidez de sus aguas depositadas en dichas lagunas, lo que está demostrado por estudios de laboratorio archivados y publicados en diversas bibliografías como es el Manual para especialistas cubanos, del Instituto de Energía de Janoy. Acorde a los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas por dichos laboratorios, en las aguas que son utilizadas en estos menesteres en el transcurso de 3 días de ser acumuladas, el nivel de fetidez aumenta hasta un 77%, incrementándose los niveles de moscas y otros insectos no beneficiosos para la salud humana ni del propio animal. En cambio cuando dichas aguas son tratadas anaeróbicamente por un digestor, la fetidez es disminuida hasta un 97 % con los consiguientes beneficios.

Estudios como el mencionado y otros de diversos alcances referidos a la temática Medioambiental han contribuido tanto en Cuba como en el mundo a tomar del recién finalizado Siglo XX los siguientes aspectos como enseñanza:

- * Que el agua potable será el recurso más disputado en el presente siglo.
- * Que los combustibles fósiles se agotarán.
- * Que el medio ambiente hay que preservarlo como premisa indispensable para la vida.

Dentro de las distintas posibilidades tecnológicas que se investigan y desarrollan en múltiples campos, como solución a estos problemas, se destaca, por su cada vez más creciente aplicación y empleo la tecnología de obtención del Biogás para emplearlo como fuente de energía. Muestra de ello lo constituye el uso en Países del primer Mundo como: Alemania y Suecia, donde su uso en la transportación de vehículos modernos constituye novedad con gran impacto social.

Este vínculo de los principales problemas del mundo contemporáneo con la obtención del Biogás a partir de los residuos orgánicos y aguas residuales, se tiene muy en cuenta actualmente, así como los criterios implícitos en el ecosistema circundante que contemplan lo siguiente:

“Todo uso técnico del agua tiene que basarse en el concepto de su ciclo cerrado. Las poblaciones están intercaladas en el ciclo continuo del agua a través de su abastecimiento y de la evacuación de sus aguas residuales. No se puede resolver el problema del agua residual sin pensar al mismo tiempo en el abastecimiento de agua. El ciclo agua – aguas residuales existe en algún grado en casi todas las economías hidráulicas urbanas. Toda población que utiliza para su abastecimiento el agua de un río, no puede impedir que en su agua potable haya cierta cantidad de partículas de agua residual de la población existente aguas arriba. En años pasados únicamente se evitaba hablar de ello. Es erróneo pensar que se pudiera obtener agua limpia e intacta de algún sitio donde nunca hubiera estado en contacto con el hombre e igualmente es equivocado creer que se puede verter el agua residual a alguna parte donde jamás vuelva a tener contacto con los hombres. Al contrario, cualquier agua de manantial o de subsuelo, ha sido ya alguna vez agua de superficie y ha sido polucionada ya en cierto grado; y toda agua residual puede volver al ciclo del agua en donde será aprovechada una vez mas por el hombre, incluso para beber. El ciclo cerrado como tal es inevitable. Únicamente hay que procurar que no sea demasiado corto”

Esta idea desarrollada por IMHOFF. K, hace exactamente 82 años (verano seco del año 1929) y que ha sido interpretada y polemizada de diferentes maneras a lo largo de estos años, es retomada de nuevo, pero con una concepción más amplia

donde se establecen cadenas y vínculos que además de alargar el ciclo, evita el efluente apreciable con la participación de todo un universo de la flora y la fauna de un ecosistema dado.

En consecuencia con lo anterior, podemos definir que los sistemas de tratamiento a ciclo cerrado son diseños de esquemas de desarrollo que integran la búsqueda de solución a los problemas ambientales, de alimentación, producción de abonos y energía, a partir de aguas residuales o residuos de origen orgánico, se tiene en cuenta el ecosistema circundante.

Estos sistemas pueden ser aplicados a diferentes escalas y objetivos económicos e industriales. De igual forma su aplicación puede tener un carácter integral o parcial. En todos los casos es necesario hacer un correcto balance económico en función del factor escala que se plantea y para lo cual cada caso requiere de un análisis particular.

En Cuba, desde la década del 70 las plantas de biogás se usan como alternativa energética, por lo que en ese período se trabaja en estos sistemas para el tratamiento de residuales usados principalmente en las provincias del centro del país, no obstante la tecnología no se divulga en mucho tiempo a otras regiones de la isla.

En la actualidad, considerando su importancia y las ventajas que ofrecen, dentro del sector de la agricultura se han tomado medidas para la explotación de estos potenciales y el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, estos últimos incluidos en el programa Fuentes Renovables de Energía desarrollado a partir del año 2008; con el fin de instalarlos en las unidades porcinas de la provincia Holguín. Por tanto, todo trabajo que como el presente esté encaminado a recuperar el uso de las plantas de biogás para el tratamiento de residuales posee especial valor, pues con el mismo se contribuye directamente a proteger y cuidar el Medio Ambiente, garantizando el presente y futuro de la especie humana. Además repercute directamente en la economía del país, dado el posible uso de

diversas maneras del biogás como fuente de energía con el objetivo de disminuir importaciones.

En el Centro Porcino Cuba Sí 3, provincia Holguín, municipio Holguín, no se cuenta con una tecnología para el tratamiento del residuo porcino, la cual genera el vertimiento de todo este material directo a una laguna de oxidación (Ver Anexo No 1), lo que trae como consecuencia la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas y del aire circundante, considerándose lo antes expuesto, la **situación problemática.**

Problema.

¿Cómo solucionar el tratamiento del residual porcino generado por el Centro Porcino Cuba Sí 3?

Objeto de estudio.

Tratamiento de residual porcino por método anaeróbico.

Campo de acción.

Tipos de plantas de biogás para el tratamiento anaerobio de residual porcino.

Hipótesis.

Con la implantación de una planta de biogás por método anaerobio en el Centro Porcino Cuba Sí 3 se podrá tratar el residual porcino producido en la unidad evitando la contaminación medioambiental.

Objetivo general del trabajo.

Proponer una planta de biogás para el tratamiento de residuo de cerdos en el Centro Porcino Cuba Sí 3.

Tareas a ejecutar.

1- Estudiar bibliografía del tema a tratar.

- 2- Determinar la cantidad de residuo orgánico en el Centro Porcino Cuba Sí 3.
- 3- Analizar los diferentes tipos de plantas de biogás.
- 4- Seleccionar el tipo de planta de biogás a proponer.
- 5- Efectuar la valoración económica de la planta de biogás propuesta.
- 6- Valorar el posible impacto al medio ambiente de la planta de biogás propuesta.
- 7- Analizar el aporte a la defensa del tema tratado.
- 8- Elaborar el documento o informe final del trabajo.

Métodos

1- **Empíricos:** En la entrevista al personal técnico para el diagnóstico del problema (Ver Anexo No 2), en la revisión de la bibliografía y en la consulta a expertos.

2- **Teórico:**

Análisis y síntesis

Análisis: Análisis del proceso de tratamiento de residuales, sus causas y consecuencias.

Síntesis: A partir del problema planteado se indica como solución la implantación de una planta de biogás para el tratamiento de residuales.

Resultados esperados

Seleccionar el tipo de planta a instalar para el tratamiento del residuo porcino generado por el Centro Porcino Cuba Sí 3, atendiendo a las condiciones concretas y objetivas del lugar.

CAPÍTULO I. Fundamentación teórica.

En el presente capítulo se realiza una síntesis histórica y se analizan los elementos teóricos y conceptuales vinculados al tema aportando criterios al respecto. Para un mejor entendimiento del mismo se esclarecen algunos de los más importantes términos y definiciones aplicados en el desarrollo del trabajo.

1.1. Resumen histórico.

El gas natural, compuesto por metano, fue utilizado en la antigüedad por los chinos y los persas como generador de calor, exactamente para calentar los baños de agua, pero tuvieron que pasar muchos años para descubrir que el metano no solo se encontraba como gas en los fósiles, sino que este se producía de otras maneras. [8]

En el siglo XVIII Volta investigó e identificó el gas de los pantanos. Dalton, en 1804, estableció la composición química del metano (CH_4). Hasta mediados del siglo XIX no se tuvo certeza de la participación de organismos vivos unicelulares en el proceso, Beauchamp, en 1868, quién estableció la presencia de microorganismos en los procesos de producción de metano. Pasteur descubrió que mediante la temperatura se podía favorecer el desarrollo de los microorganismos más interesantes. Propoff, en 1875, descubrió que la formación de biogás solo se producía en condiciones anaerobias. En 1884, Pasteur investigó sobre la producción de biogás a partir de residuos animales, se propone la utilización del biogás para la iluminación de las calles. [8]

En la primera mitad del siglo XX se realizaron numerosas experiencias a escala laboratorio y piloto, alcanzando una especial importancia durante la segunda guerra mundial debido a la escasez de combustibles. Con el fin de la guerra y la fácil disponibilidad de combustibles fósiles la mayoría de las instalaciones fueron cesando en su funcionamiento. [8]

En la India, a partir de la década de los 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir de estiércol bovino con el doble objetivo del

aprovechamiento energético y mantenimiento de las propiedades fertilizantes. En China se ha fomentado, también, desde la década de los 70, la construcción de digestores, mediante programas de ámbito nacional. [8]

En los países industrializados la historia de la tecnología de biometanización ha sido diferente y el desarrollo ha estado motivado más por motivaciones medioambientales que puramente energéticas, un método clásico de estabilización de lodos activos residuales de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas. A partir de la crisis energética de 1973, y durante la década de los ochenta, volvió a adquirir cierta importancia como forma de recuperación energética en explotaciones agropecuarias y agroindustriales. [8]

Con la bajada de los precios del petróleo, a finales de los años ochenta, el interés por la tecnología de digestión anaerobia volvió a decaer, aunque en algunos países industrializados se han desarrollado importantes programas de desarrollo de plantas anaerobias a escala industrial, se tiene como objetivos principales la gestión de residuos, principalmente ganaderos, la estabilización e higienización de los mismos, y el fomento de las energías renovables, para disminuir la emisión neta de gases de efecto invernadero. El principal exponente es Dinamarca, donde, en 1985, comenzó un programa demostración, desarrollado conjuntamente por los ministerios de agricultura, energía y medio ambiente, en un esfuerzo por demostrar el potencial de grandes plantas de digestión anaerobia como productores de energía eléctrica. Así, en 1997 se contabilizaban 19 grandes plantas que tratan conjuntamente residuos de origen industrial, residuos urbanos, lodos de depuradora y residuos ganaderos, aunque en el año 2000 los objetivos eran duplicar la producción, y continuar aumentando hasta el año 2030. [4] Ver figura No 1.

En Cuba durante la década de los años 70 la aplicación del biogás fue considerada como uno de los mejores medios para enfrentar la escasez de combustible, luego sobrevino un período de olvido, hasta que en los primeros años del Siglo XXI la Comisión de Energía, que se ocupa de la energía renovable a partir de los desechos orgánicos que incluyen las aguas residuales y conocido

como Grupo de Biogás de Villa Clara (GBV), se propuso retomar el tema del Biogás.



Figura No 1. Planta compacta USAB.

En aquella primera etapa, la energía producida a partir de las plantas de tratamiento se destinó fundamentalmente al alumbrado de vaquerías, pero con el tiempo la inmensa mayoría dejó de funcionar, pues su diseño hacía muy engorroso el manejo de la materia orgánica, el mantenimiento requería desarmar la instalación, y además se tupían con frecuencia. Todo ello sin tener en cuenta que la mayoría de las vaquerías se electrificaron.

A partir del año 2008 en el país se han construido un total de 150 plantas del tipo cúpula fija y todas se encuentran funcionando, con muy buenos resultados prácticos para los usuarios que de ellas se sirven y a la vez operan. Como ejemplo de las mismas se puede referir la ubicada en la Empresa despulpadora de café Bartolomé Maso, ubicada en la provincia Granma. Ver figura No 2.



Figura No 2. Planta de Biogás de 23 m³ montada en despulpadora de café.

1.2. Biomasa.

Según estudios realizados por investigadores de la biomasa abarca todo un conjunto heterogéneo de materias orgánicas tanto por su origen como por su naturaleza. En el contexto energético el término biomasa se utiliza para denominar a una fuente de energía renovable basada en la utilización de materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o de los productos derivados de esta. También tienen consideración de biomasa la materia orgánica de las aguas residuales y lodos de depuradora, así como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, aunque dadas las características específicas de estos residuos se suelen considerar como un grupo aparte (ver tabla 1).

La biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta energía se libera al romper los enlaces de los

compuestos orgánicos en el proceso de combustión, dado como productos finales dióxido de carbono y agua.

Tabla No 1. Índices para determinar la producción de biogás a partir del peso y características de la biomasa.

	Excreta húmeda diaria (kg/animal)	Biogás (m3/días)	Proporción (excreta-agua)	Tiempo de retención (día)
Vaca	10	0.360	1:1	20 – 30
Toro	15	0.540	1:1	20 – 30
Cerdo (50kg)	2.25	0.101	1:1-3	20 – 30
Pollo	0.18	0.108	1:1-8	30
Caballo	10	0.300	1:1-3	30
Carnero	2	0.100	1:1-3	40
Ternero	5	0.200	1:1	40
Persona adulta	0.4	0.025	1:1	60

Por este motivo los productos procedentes de biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan biocombustibles, según su estado físico: biocombustibles sólidos, en referencia a los que son utilizados básicamente para fines térmicos, eléctricos y líquidos, como sinónimo de los biocarburantes para automatización.

La biomasa es una excelente alternativa energética por dos razones. La primera es que se puede obtener una gran diversidad de productos; la segunda, se adapta perfectamente a todos los campos de utilización actual de los combustibles

tradicionales. Así, mediante procesos específicos, se puede obtener toda una serie de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos que pueden ser aplicados para cubrir las necesidades energéticas de transporte, cocina, industria y electricidad, o servir de materia prima para la industria. [5]

1.3. Gestión de residuos orgánicos.

Los residuos o subproductos orgánicos pueden dejar de considerarse como un grave problema, debido al costo de su manejo y disposición, las molestias por sus indeseables olores, así como el espacio físico que ocupan, si se implementa una forma de valorar sus potencialidades, lo que conduce a convertir un problema en una oportunidad.

La gestión de residuos orgánicos se realiza a través de dos procesos fundamentales:

I. Eliminación, la cual suele realizarse mediante:

- Incineración,
- Incorporación al suelo,
- Vertedero.

II. Valorización, realizada mediante:

- Alimentación animal,
- Compostaje,
- Incineración con aprovechamiento del calor.

Existen otros mecanismos de gestión poco implementados en los países subdesarrollados, entre los que pueden mencionarse:

I. Transformaciones biotecnológicas,

II. Extracción de sustancias de alto valor,

III. Valorización energética.

1.3.1. Formas de valorización energética.

Existen tres métodos fundamentales de valorización energética de la biomasa, éstas son:

I. Métodos termoquímicos, éstos comprenden:

- Combustión,
- Pirólisis,
- Gasificación,
- Liquefacción.

II. Métodos químicos: el más difundido y extendido es el proceso de transesterificación de los aceites vegetales para la obtención de biodiesel.

III. Métodos bioquímicos, dentro de éstos se destacan fundamentalmente:

- La fermentación alcohólica, para obtener bioetanol;
- La fermentación metánica para la obtención de biogás.

Obtención de biogás a partir de desechos orgánicos

El alto costo de las inversiones iniciales a realizar limita en muchos países en vías de desarrollo el empleo de las energías renovables. El biogás, ilustrado en la Figura No 3, constituye una abundante y barata fuente de energía y de fácil obtención a partir de desechos animales, vegetales e industriales. Esta energía puede ser utilizada en numerosos procesos que tienen incidencia en la economía, no solo por la generación de energía sino también por la producción de abonos orgánicos de alta calidad.

Aunque en sus orígenes las plantas de biogás no tuvieron una amplia aceptación y aplicación, con el paso del tiempo estas han ido ocupando un mayor espacio en las diferentes regiones del planeta principalmente por su contribución al cuidado del Medio Ambiente y por su factibilidad económica. Una planta de biogás manejada y mantenida correctamente satisface las necesidades de reconocimiento y comodidad del dueño, por lo que este estará dispuesto a adaptarse a las necesidades de mantenimiento que la misma genere.

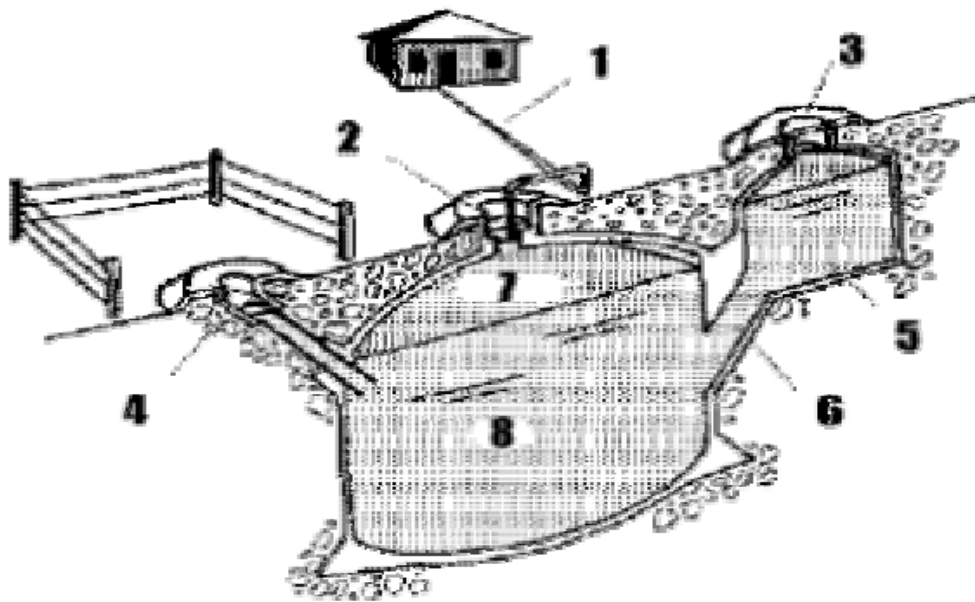


Figura 3. Esquema del digestor: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada de biomasa; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

La planta de biogás es apropiada para las condiciones técnicas y posibilidades económicas de los campesinos del Tercer Mundo. La tecnología del biogás está bien adaptada a las exigencias ecológicas y económicas del futuro, es una tecnología de avanzada. No obstante, lamentablemente en algunas regiones existe un problema de imagen, pues la planta de biogás erróneamente se considera una solución para “gente pobre” y quien no quiere ser visto de esta forma no la compra. Por otro lado incide la labor del constructor, quien deberá

contribuir con una buena ejecución garantizando su buen funcionamiento e imagen como símbolo de desarrollo social y no de precariedad. Queda aún un largo camino investigativo y práctico para alcanzar el total desarrollo de las plantas de biogás, pero sin dudas estas ya constituyen un importante factor en la garantía del cuidado del planeta para las generaciones actuales y futuras.

1.4. Biogás.

La digestión de la biomasa en condiciones anaeróbicas da origen al llamado “biogás”, a razón de unos 300L por kg de materia seca, con un valor calorífico de unos 5.500kcal/m³. La composición de biogás es variable, pero está formado principalmente por metano (55-65%) y anhídrido carbónico (35-45%); y en menor proporción, por nitrógeno, (0-3%), hidrógeno (0-1%), oxígeno (0-1%) y sulfuro de hidrógeno (trazas). [9]

El poder calorífico del biogás está determinado por la concentración de metano (9.500 Kcal/m³), pudiéndose aumentar esta, eliminando todo o parte del anhídrido carbónico que le acompaña. Este tipo de transformación se produce de manera espontánea en pantanos o fondos de lagunas y lagos en los que haya depósitos de materia orgánica. Por este motivo al metano se le ha llamado el “gas de los pantanos”. También se produce en los vertederos de RSU (Residuos Sólidos Humanos), obtenido el gas mediante perforaciones. [9]

El biogás se suele utilizar para generar electricidad. En caso de los vertederos, su uso para este fin tiene como ventajas añadidas la quema de metano y su transformación en anhídrido carbónico y agua. De esta forma se reduce el efecto perjudicial del metano como gas de efecto invernadero, la digestión anaeróbica es un proceso típico de la depuración, por lo que también se emplea para el tratamiento de aguas residuales y efluentes orgánicos de industrias agrarias o de explotaciones ganaderas. [5]

Por lo anterior planteado se entiende que el biogás es uno de los productos que se obtienen debido a la descomposición de lo que en algún momento tuvo vida.

1.4.1. Principio de la fermentación anaeróbica.

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. [6]

Las bacterias productoras del biogás son estrictamente anaeróbicas y por lo tanto solo 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 solo se hubiera iniciado hace cincuenta años. [6]

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 metano y anhídrido carbónico. A continuación veamos las diferentes fases de este proceso: [6]

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. [6]

Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distintos tipos que son en su gran mayoría anaerobios facultativos. [6]

Fase de la 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 anhídrido carbónico. [6]

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que sustraen 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, donde se mantiene el equilibrio energético. [6]

Fase metanogénica: Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las archibacterias y poseen características únicas 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. [6]

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. [6]

De lo anterior se puede concluir que el proceso de la fermentación anaeróbica se produce sin la presencia de oxígeno.

1.5. Metano.

El primer miembro de la serie de los alcanos es el metano, formado por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno. Los cuatro átomos de hidrógeno están situados en los vértices de un tetraedro regular, con el átomo de carbono en el centro del mismo. Para formar estos enlaces el átomo de carbono emplea orbitales atómicos híbridos.

El metano se produce por la descomposición de sustancias vegetales, principalmente de celulosa, por la acción de microorganismos, y se desprende del cieno de algunos pantanos por el cual toma también el nombre de gas de los pantanos. [1]

El metano se desprende también, más o menos puro, de los volcanes de fango y de algunas fuentes no cenagosas.

También se produce en las minas de carbón de piedra y de lignito, por descomposición lenta de las materias orgánicas, acumulándose en las cavidades con nitrógeno y anhídrido carbónico. [1]

Tabla No 2. Propiedades del metano. [1]

Generales		Cambios de fase		Propiedades del gas	
Nombre	Metano	Punto de fusión	90,6 K (-182,5 °C)	$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-74,87 kJ/mol
Fórmula química	CH ₄	Punto de ebullición	111,55 K (-161,6 °C)	$\Delta_f G^0_{\text{gas}}$	-50,828 kJ/mol
Peso atómico	16,043 uma	Punto triple	90,67 K (-182,48 °C) 0,117 bar	S^0_{gas}	188 J/(mol·K)
Densidad	0.717 kg/m ³ (gas)	Punto crítico	190,6 K (-82,6 °C) 46 bar	C_m	35,69 J/(mol·K)
Otras denominaciones	Gas del pantano; hidruro de metilo	$\Delta_{\text{fus}}H$	1,1 kJ/mol		
Número cas.	74-82-8	$\Delta_{\text{vap}}H$	8,17 kJ/mol		

El metano es el componente mayoritario del gas natural, aproximadamente un 97% en volumen a temperatura ambiente y presión estándar, por lo que se deduce que en condiciones estándar de 0°C y una atmósfera de presión tiene un comportamiento de gas ideal y el volumen se determina en función del componente mayoritario de la mezcla, lo que quiere decir que en un recipiente de un metro cúbico al 100% de mezcla habrá 0.97 metros cúbicos de gas natural; el metano es un gas incoloro e inodoro. Como medida de seguridad se añade un odorífero, habitualmente metanotiol o etanotiol. El metano tiene un punto de ebullición de -161,5 °C a una atmósfera y un punto de fusión de -183 °C. Como gas es solo inflamable en un estrecho intervalo de concentración en el aire (5-15%). El metano líquido no es combustible ver tabla 2. [1]

1.5.1. Riesgos potenciales sobre la salud.

Según el criterio de varios autores estudiosos del tema el principal peligro del metano para la salud son las quemaduras que puede provocar si entra en ignición. Es altamente inflamable y puede formar mezclas explosivas con el aire. El metano reacciona violentamente con oxidantes, halógenos y algunos compuestos halogenados. El metano es también un asfixiante y puede desplazar al oxígeno en un espacio cerrado. La asfixia puede sobrevenir si la concentración de oxígeno se reduce por debajo del 19,5% por desplazamiento. Las concentraciones a las cuales se forman las barreras explosivas o inflamables son mucho más pequeñas que las concentraciones en las que el riesgo de asfixia es significativo. Si hay estructuras construidas sobre o cerca de vertederos, el metano desprendido puede penetrar en el interior de los edificios y exponer a los ocupantes a niveles significativos de metano.

1.5.2. Usos del gas metano.

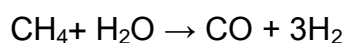
El metano es importante para la generación eléctrica ya que se emplea como combustible en las turbinas de gas o en generadores de vapor.

Si bien su calor de combustión, de unos 802 kJ/mol, es el menor de todos los hidrocarburos, si se divide por su masa molecular (16 g/mol) se encuentra que el

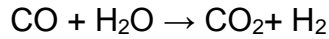
metano, el más simple de los hidrocarburos , produce más cantidad de calor por unidad de masa que otros hidrocarburos más complejos. En muchas ciudades, el metano se transporta en tuberías hasta las casas para ser empleado como combustible para la calefacción y para cocinar. En este contexto se le llama gas natural. En la ciudad de Bogotá, Colombia el gas natural es empleado como combustible alternativo por varios vehículos de transporte público como taxis, pero en la fecha de este agregado al párrafo (año 2010) su uso se ha generalizado mundialmente, Afganistán y la Argentina los países donde más vehículos (en total absoluto y en proporción sobre el total de vehículos) lo usan como combustible. Sin embargo en la Argentina, debido a las malas políticas energéticas de los últimos años, el gas natural ha empezado a escasear y en el invierno austral de los últimos años ha sido necesario restringir el consumo de gas para automotores a fin de no perjudicar el consumo doméstico. [7]

Acorde a los criterios expuestos por investigadores del tema el metano es utilizado en procesos químicos industriales y puede ser transportado como líquido refrigerado (gas natural licuado). Mientras que las fugas de un contenedor refrigerado son inicialmente más pesadas que el aire debido a la alta densidad del gas frío, a temperatura ambiente el gas es más ligero que el aire. Los gasoductos transportan grandes cantidades de gas natural, del que el metano es el principal componente.

En la industria química, el metano es la materia prima elegida para la producción de hidrógeno, metanol, ácido acético y anhídrido acético. Cuando se emplea para producir cualquiera de estos productos químicos, el metano se transforma primero en gas de síntesis, una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, mediante reformación por vapor. En este proceso, el metano y el vapor de agua reaccionan con la ayuda de un catalizador de níquel a altas temperaturas (700 -1.100 °C). [7]



La proporción de monóxido de carbono frente al hidrógeno puede ser ajustada mediante la reacción de desplazamiento de gas de agua al valor deseado.



Otros productos químicos menos importantes derivados del metano incluyen el acetileno obtenido y se hace pasar metano a través de un arco eléctrico, y los clorometanos (clorometano, diclorometano, cloroformo, y tetracloruro de carbono), producidos por medio de la reacción del metano con cloro en forma de gas. Sin embargo, el uso de estos productos disminuye, el acetileno es reemplazado por sustitutos más económicos y los clorometanos debido a motivos de salud y medioambientales. [7]

1.5.3. Afectación del metano al medio ambiente.

El metano es un gas de efecto invernadero muy importante en la atmósfera de la Tierra con un potencial de calentamiento de 23 sobre un período de 100 años. Esto implica que la emisión de una tonelada de metano tendrá 23 veces el impacto de la emisión de una tonelada de dióxido de carbono durante los siguientes cien años. El metano tiene un gran efecto por un breve período (aproximadamente 10 años), mientras que el dióxido de carbono tiene un pequeño efecto por un período prolongado (sobre los 100 años). Debido a esta diferencia en el efecto y el período, el potencial de calentamiento global del metano en un plazo de 20 años es de 63. [8]

La concentración de metano en la atmósfera ha aumentado durante los últimos cinco mil años. La explicación más probable de este aumento continuado reside en las innovaciones asociadas al comienzo de la agricultura, sobre todo probablemente al desvío de los ríos para el riego del arroz. [8]

El metano se forma cerca de la superficie, y es transportado a la estratósfera por el aire ascendente de los trópicos. El aumento de metano en la atmósfera de la Tierra es controlado naturalmente, aunque la influencia humana puede interferir en esta regulación, por la reacción del metano con el radical hidroxilo, una molécula formada por la reacción del oxígeno con el agua. [8]

Al principio de la historia de la Tierra, aproximadamente hace 3.500 millones de años, había 1.000 veces más metano en la atmósfera que en la actualidad. El metano primordial fue liberado por la actividad volcánica. Fue durante esta época cuando apareció la vida en la Tierra. Entre las primeras formas de vida se encontraban bacterias metanógenas que mediante el hidrógeno y el dióxido de carbono generaban metano y agua. [8]

El oxígeno no fue un componente mayoritario de la atmósfera hasta que los organismos fotosintéticos aparecieron más tarde en la historia de la Tierra. Sin oxígeno al metano podía permanecer en la atmósfera más tiempo y además en otras concentraciones que en las actuales condiciones. [8]

Por lo antes expuesto el mundo se ha tomado la tarea de reducir este gas altamente contaminante, mostrando interés en el desarrollo de la cumbre de Copenhague, donde se trató la crisis ambiental por la que el planeta atraviesa y con el tratado de Kioto se logra llevar a cabo esto por el bien de la humanidad. Es válido aclarar que algunos países no han adquirido plena conciencia de las implicaciones del tema para la supervivencia tanto para las generaciones actuales como para las futuras.

1.6. Biodigestor.

Un biodigestor es un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno ver figura No 4. Como fruto de este proceso se obtiene un gas combustible que posee un promedio de 66% de metano y 33% de anhídrido carbónico. El material resultante de la biodigestión, o efluente, puede ser directamente usado como abono y como acondicionador del suelo, pues los nutrientes como el nitrógeno se tornan más disponibles, mientras los otros como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y su disponibilidad. [3]

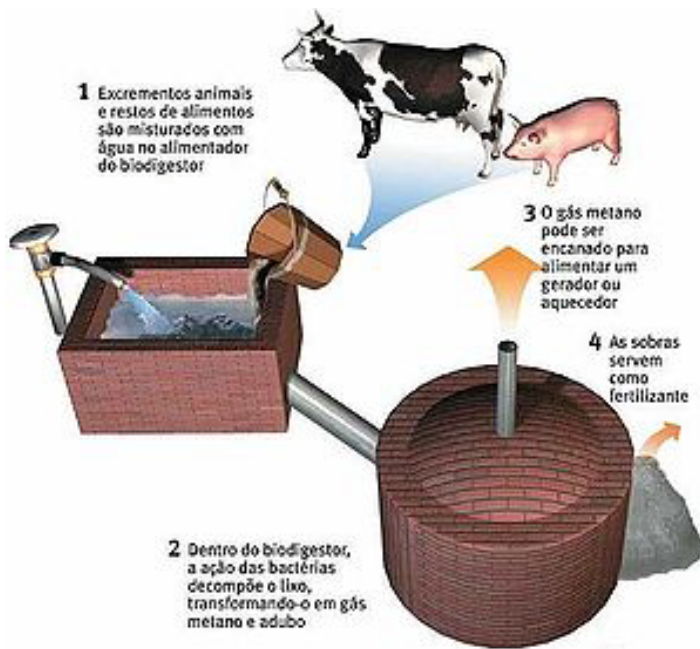


Figura No 4. Biodigestor.

1.6.1. Principales ventajas de los biodigestores.

Varios autores coinciden en el criterio de que los biodigestores presentan las ventajas siguientes:

- La biomasa no necesita tratamiento antes de su inclusión en el biodigestor.
- El biogás generado puede ser empleado en la cocción de alimentos, calefacción y como combustible en el funcionamiento de motores de combustión interna.
- Disminuyen la fetidez generada por el almacenamiento de estiércol en la granja.
- El valor de fertilizante del estiércol se conserva. El 50% o más del nitrógeno orgánico se transforma en amoníaco. Una pequeña cantidad de fósforo y potasio se sedimenta como lodo en la mayoría de los digestores.
- Su operación funcional es simple y no requiere mantenimientos complejos.

- Reducen la carga contaminante al Medio Ambiente cuando los residuos son vertidos de forma puntual o a cuerpos de agua.
- Facilitan el almacenaje y trasiego de composta digerida es más fácil de almacenar y de bombear.
- La superficie que ocupan es menor que la necesaria para los sistemas de tratamiento aeróbicos.

1.6.2. Tipos de plantas.

En general, las plantas de biogás simples que se conocen pueden ser divididas en tres tipos:

- 1. De Cúpula Fija (anexo 3):** Son aquellos armados en una sola estructura que por regla general es hecha en materiales rígidos (concreto, bloques o ladrillos). Debido a la alta presión que pueden alcanzar en su interior y a la constante variación de la misma, se recomienda su construcción en forma de domo, bajo tierra en suelos estables y firmes, y la impermeabilización de la parte interna de la estructura a fin de evitar el escape de líquido y gases. Estos factores hacen obligatorio el uso de mano de obra altamente calificada para su diseño y construcción. [3]

El modelo de cúpula fija tiene como principal característica que trabaja con presión variable; sus principales desventajas, son que la presión de gas no es constante y que la cúpula debe ser completamente hermética, ello implica cierta complejidad en la construcción y costos adicionales en impermeabilizantes. Sin embargo, este modelo presenta la ventaja de que los materiales de construcción son fáciles de adquirir a nivel local, así como la inexistencia de partes metálicas que pueden oxidarse y una larga vida útil si se le da mantenimiento, además de ser una construcción subterránea. [3]

- 2. De cúpula móvil (anexo 4):** Los biodigestores de este grupo tienen dos estructuras: la primera, al igual que en los de estructura sólida fija, va enterrada

y hecha en concreto, bloque o ladrillo; la segunda en la mayoría de los casos es una campana metálica que “flota” sobre la primera estructura. [3]

Se caracteriza por tener un depósito de gas móvil a manera de campana flotante. Esta campana puede flotar en la masa de fermentación o en un anillo de agua. Las ventajas de este tipo de planta son que trabajan a presión constante y se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana; pero tiene como desventaja que está expuesto a la corrosión ya que las campanas son generalmente metálicas. Últimamente se ha experimentado con fibra de vidrio y se han obtenido buenos resultados. Además, presenta costos altos de construcción y de mantenimiento, debido al uso periódico de pintura anticorrosiva. [3]

- 3. De estructura flexible (anexo 5):** Los altos costos de inversión requeridos para la construcción de biodigestores de estructuras sólidas, impiden que las personas con pocos recursos económicos tengan oportunidad de instalar uno de estos diseños, razón que motivó en Taiwán, en los años 60 la idea de hacer las cámaras de digestión en materiales flexibles (membranas de nylon y neopreno) que aun eran costosas. En los 70 fue usado un material de menor costo, subproducto de las refinerías de aluminio, y veinte años después se recurrió al PVC y al polietileno, material vigente hoy principalmente en América Latina y Vietnam. [3]

Generalmente, estos materiales tienen forma tubular o cilíndrica con la entrada y la salida del material situados en los extremos opuestos y la salida de gas en el centro.

El modelo tipo balón, consiste en una bolsa o balón plástico completamente sellado, donde el gas se almacena en la parte superior, aproximadamente un 25% – 30 % del volumen total. Tiene como desventajas que debido a su baja presión es necesario colocarle sobrepesos al balón para aumentarla. [3]

Su vida útil es corta, de aproximadamente 5 años y el material plástico debe ser resistente a la intemperie, así como a los rayos ultravioleta. La planta balón está

compuesta de una bolsa de plástico o de caucho completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75% de volumen) se rellena de la masa de fermentación, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas. [3]

4. Biodigestor Plástico de Flujo Continuo Tipo CIPAV: Basado en el modelo Taiwanés, la Fundación CIPAV inició la investigación y promoción de biodigestores plásticos de flujo continuo en 1986. Como fruto de las investigaciones se ha promovido los biodigestores que van desde 3 hasta 100 metros cúbicos construidos con polietileno tubular calibre 8 con un diseño que incluye cajas de entrada y salida del material líquido. [3]

Las principales ventajas de este tipo de biodigestor, comparado con otros diseños y materiales, son su bajo costo, su facilidad de construcción, instalación y manejo, y su mínimo mantenimiento. [3]

El diseño y dimensionamiento de un biodigestor depende, en lo fundamental, de los factores siguientes:

- a) Tipo y composición del material orgánico que se debe emplear para la biodigestión.
- b) Demanda de biogás y de biofertilizante.
- c) Materiales de construcción que se deben emplear.
- d) Tecnologías constructivas apropiadas.
- e) Facilidad de explotación y mantenimiento.
- f) Posibilidad económica del usuario.

Estos seis factores pueden ser resumidos en dos:

- Factibilidad de la inversión (necesidad y condiciones creadas).
- Características y situación económica del usuario.

Las plantas de tecnología simple, según el régimen de carga o llenado, se clasifican en dos tipos fundamentales: de flujo continuo, mayormente empleadas para la obtención de volúmenes considerables de gas; y las de flujo discontinuo o Batch, para pequeñas producciones de biogás.

La gran ventaja de las primeras es que las bacterias metanogénicas reciben un suministro estable del material orgánico, por lo que producen biogás de manera más uniforme.

Las plantas de tecnología simple más empleadas, y de flujo continuo, pueden agruparse en dos tipos ampliamente desarrollados en la práctica:

a) Planta de cúpula móvil, en la cual el gasómetro (compuesto generalmente por planchas metálicas) flota sobre el material orgánico en fermentación.

b) Planta de cúpula fija, en la que el gas se almacena en la parte superior debido al desplazamiento gaseoso. Las ventajas de las plantas de cúpula fija son las siguientes:

- Su construcción se realiza con paredes de bloques de hormigón y cúpula de ladrillos, y se emplean otros materiales conocidos, como cemento, arena, piedra y acero constructivo, que aseguran una alta resistencia y durabilidad de la obra.
- No presentan partes móviles propensas al desgaste, así como tampoco partes metálicas que faciliten la corrosión.
- Su tiempo de vida útil se extiende a más de veinte años.
- Posibilidad de hacer extracciones del lodo digerido, sistemáticamente, sin alterar su funcionamiento, lo que permite un mejor aprovechamiento del lodo y extiende los plazos de mantenimiento.
- Mejor aprovechamiento de la excavación.
- Mejor acceso al biodigestor, tanto durante la obra como para futuros trabajos de revisión.

- Simplificación del método de construcción, lo que permite disminuir el tiempo de ejecución (de 10 a 15 días).

Su desventaja principal radica en la necesidad de personal calificado para su construcción, y de una inspección periódica y monitoreo por parte de técnicos especializados.

Cuando el volumen del biodigestor excede los 100 m³. Se utilizan, por lo general, otras tecnologías más complejas, como son:

- a) Fermentador de contacto. Una parte del material orgánico ya digerido es reciclado a un reactor de mezcla continua, donde se incorpora material orgánico crudo y se asegura una alta concentración de bacterias metanogénicas.
- b) Biodigestor de manto de lodo de flujo ascendente. Su configuración hidráulica produce una capa de sólidos suspendidos con gran contenido de bacterias, lo que asegura un alto grado de biodegradación.
- c) Biodigestor de cama fija. Constituido por un lecho o filtro de piedras, piezas de cerámicas o plásticas, etc., que producen un área de adherencia de las bacterias. Se emplea para líquidos con poco contenido de sólidos en suspensión.
- d) Digestión de fases. Las fases de digestión ácida y metanogénica son producidas separadamente, lo que asegura las condiciones óptimas para lograr el mayor rendimiento en la biodegradación y, por tanto, en la producción del biogás.

1.7. Caracterización de la entidad porcina.

El Centro porcino Cuba Sí 3 ubicado en carretera vía San Germán kilómetro 5 ½, municipio Holguín, provincia Holguín, es una entidad creada en la década de 1980, cuyo objeto social consiste en:

1. Producir y Comercializar carne de cerdo de forma Mayorista, carne de cerdo en pie, (incluye pre-cebas para destinos planificados), carne de cerdo en bandas, cortes especiales, cerdos para asar, mamones, subproductos y procesados en moneda nacional y divisas.

2. Producir y comercializar de forma minorista las producciones agropecuarias de autoconsumo a los trabajadores del sistema porcino en moneda nacional.
3. Prestar servicios de comedor, cafeterías, recreación y alojamiento no turístico con gastronomía asociada a los trabajadores del sistema porcino y de ganado menor en Moneda Nacional.
4. Producir y comercializar de forma mayorista medicina alternativa en moneda nacional.

Dicha entidad cuenta con un número aproximado de cincuenta trabajadores, distribuidos en diferentes departamentos, los que se encargan del cuidado y cría de un promedio 300 cabezas de ganado porcino.

CAPÍTULO II. Propuesta del tipo de planta de biogás para el tratamiento de residual porcino en el Centro Porcino Cuba Sí 3.

En el siguiente capítulo, a partir de información recopilada sobre el tema se procede a estudiar los diferentes tipos de planta de biogás para el tratamiento de residuales. Luego se determina la cantidad de residual porcino generado por la entidad donde se propone la planta de tratamiento con el fin de determinar el tipo idóneo de esta a implantar. Se realiza además su valoración económica y ambiental.

2.1. Determinación de la cantidad del residual de cerdos.

El residual en el Centro porcino Cuba Sí 3 es en su mayoría la excreta de cerdo, la que va directamente por medio de una tubería a la laguna de oxidación y luego se drena a un arrollo cercano. Lo cual se pudo comprobar mediante inspección al terreno, donde además con el fin de obtener un mayor número de datos y confirmar la necesidad de una nueva solución de residuales se procedió a hacer una breve entrevista sobre el tema a 30 trabajadores de la entidad. (Ver Anexo No 2).

En la unidad existen como promedio 300 cerdos con un peso promedio de 45 kg y temperatura ambiente de 30 °C, lo cual genera un gran volumen de composta diaria.

El cálculo del aporte orgánico de la población animal para una temperatura ambiente de 30 °C, se realiza a partir de los datos de la tabla No 3.

Tabla No 3. Aporte orgánico de la población animal.

Especie	Cantidad	<i>PVp</i> (kg)	<i>PVe</i> (kg)	Cant. Excreta (kg/día)	<i>Te</i> (horas/día)
Cerdo	300	45	50	2.25	24

Donde:

PVp: Peso vivo promedio de la población animal de diseño.

PVe: Peso vivo equivalente tomado de la tabla 1 referido a la especie animal.

T_e : Horas del día que el animal permanece estabulado.

Para la determinación de la cantidad de excreta a eliminar diaria, el cálculo se realiza mediante una hoja de cálculo en Excel Ver Anexo No 6, de la que se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.

Tabla No 4. Cantidad de excreta de cerdo a eliminar por día.

Tipo de animales	Número de animales	Peso vivo promedio (kg)	Estabulado en horas.
Cerdos	300	45	24
Tiempo de retención (días) = 20			
Temperatura ambiente = 30 °C			
Excreta de cerdo diaria a eliminar = 405kg			
Total de excreta a elimi/días+H ₂ O = 1620kg			
Volumen del digestor/excreta/día = 32,4m ³			

2.2. Selección de la planta de biogás.

Para la selección del tipo de planta de biogás se realiza una tabla donde se comparan los tres tipos de digestores más usados para el tratamiento de residuales:

Tabla No 5. Comparación de las tipos de plantas más usadas.

Factores para la selección.	Plantas más utilizadas		
	Estructura flexible.	Cúpula fija.	Campana flotante.
Tipo y composición del material orgánico para la biodigestión.	Excreta de animales de corral.	Excreta de animales de corral.	Excreta de animales de corral.

Tabla No 5. Comparación de las tipos de plantas más usadas (continuación).

Factores para la selección.	Plantas más utilizadas		
	Estructura flexible.	Cúpula fija.	Campana flotante.
Demanda de biogás y de biofertilizante.	Alta	Medio	Alta
Materiales de construcción que se deben emplear	Polietileno, bloques, cemento, acero (mucho).	Ladrillos, cemento, arena, acero (poco)	Campana de acero, ladrillos, cemento
Tecnologías constructivas apropiadas.	Industriales	Artesanales	Industriales
Eficiencia	(50 – 60)%	(70 – 80)%	(80 – 95)%
Calificación del operador.	Medio	Medio	Medio.
Tiempo de duración de la planta.	(10 – 20) años	(15 – 30) años	(5 – 10) años
Costo de fabricación.	Alto	Medio	Alto

Luego de compararse los tipos de digestores se selecciona el de **cúpula fija** debido a que cumple con las características del cliente:

- 1- Costo de fabricación bajo.
- 2- Tiempo de duración de la planta mayor.
- 3- Facilidad de mantenimiento.

- 4- Necesidad del usuario de tratar todo el residual que genera.
- 5- Economía del usuario.
- 6- Factibilidad de obtención de los materiales de construcción a utilizar (no importados).
- 7- Fácil manejo de la planta.

2.3. Dimensionamiento de la planta de biogás (cúpula fija).

Determinación de las dimensiones principales del biodigestor en dependencia de la cantidad de excreta a tratar diaria, el cálculo se realiza según la metodología de diseño y construcción de plantas de biogás propuesta por CUBASOLAR, por lo que se usó una hoja de cálculo en Excel para la realización de los cálculos (Ver Anexo No 6), donde los resultados se exponen en la tabla 6.

Tabla No 6.: Principales dimensiones del digestor (para tratar el residual producido por 300 cerdos).

Dimensiones del digestor.			
Altura de la pared del digestor=	2.5 m	Volumen del digestor a diseñar según diámetro V_{total} (m^3) =	46,4
Diámetro del digestor=	4,45 m	Volumen del digestor según V_2 de residuales(m^3)=	45,4
Altura de la caja de compensación (hc) =	1,1 m	Volumen de gas producido/días V_3 (m^3) =	13,0
Presión dentro del digestor P_1 =	2	Volumen de la caja de compensación/gas producido V_4 (m^3)=	13.1
Proporción de H ₂ S de 0.5% al 5% =	0.5	Diámetro del filtro =	0.4

Para la ejecución constructiva de la planta se tendrá en cuenta los datos técnicos indicados en la Tabla 7, mostrada a continuación.

Tabla No 7: Datos para la construcción del Digestor de 46,3 m³.

Datos para construir el digestor de 46,3 m ³	
Altura de la pared del digestor (h) =	2,5 m
Altura de la cúpula del digestor (hc)	1,1 m
Altura de la base del cono (hc) =	0.67 m
Altura caja de compensación =	1,1 m
Diámetro del digestor =	4,45 m
Radio del digestor =	2,225m
Radio de la cúpula del digestor =	2.78 m
Altura Total =	3,7 m

2.4. Cantidad de materiales para la construcción de la planta.

El cálculo de los materiales se determina mediante la hoja de cálculo en Excel Ver Anexo No 6. Como resultado se obtienen las siguientes cuantías dadas en la Tabla No 8:

Tabla No 8. Cantidades de materiales.

Materiales	Cantidad de materiales para una planta de 46,4 m³.
Bloques =	327
Mortero colocar bloque m ³ =	0,5
Ladrillos =	3052
Mortero en Resano m ³ =	3
Estuque m ² =	126
Hormigón en piso m ³ =	1,1
Hormigón en cerramiento m ³ =	0,9

Tabla No 8. Cantidades de materiales. Continuación.

Materiales	Cantidad de materiales para una planta de 46,4 m³.
Acero de 1/2" en cerramiento y zapata (tira)	13
Total de acero de 1/4" (tira) =	5

2.5. Valoración económica de la planta de biogás.

Para el cálculo de los costos de la planta de biogás se usa el sistema nacional para determinar el costo de las obras del MICONS, **Presupuesto de Obras PRECONS** ver tabla 9.

Tabla No 9. Presupuesto para la construcción.

#	Materiales a utilizar	Unidad	Valor CUC	Cantidad	Importe
1	Bloques de hormigón de 0.15	U	0,31	327	101,37
2	Acero de 1/4"	Tira	0,39	9	3,51
3	Acero de 1/2"	Tira	0,48	26	12,48
4	Cemento Gris P-350 en bolsa	Bolsa	2,5	128	320,00
5	Llave de paso de 3/4"	U	1,5	6	9,00
6	Tubo de Polipropileno de 1"	M	1,6	21	33,60
7	Unión universal de polipropileno de 1"	U	1,3	2	2,60
8	Nudo de Polipropileno de 1"	U	0,9	2	1,80
9	Te de Polipropileno de 1"	U	0,9	2	0,68

Tabla No. 9: Presupuesto para la construcción (continuación).

#	Materiales a utilizar	Unidad	Valor CUC	Cantidad	Importe
10	Reducido de Polipropileno de 1" a 1/2"	U	0,68	1	0,68
11	Arena artificial	m ³	1,39	8	11,12
12	Piedra hormigón 18-19	m ³	1,24	4	4,96
13	Puntilla de 2 1/2"	kg	0,61	1,5	0,91
14	Alambre # 18	kg	1,26	3	3,78
15	Tubo de Polipropileno de 2 1/2"	M	1,3	18	23,40
16	Cemento plástico para PVC	L	5,9	1	5,90
	Total en CUC.				651,89

2.6. Valoración del impacto medio ambiental de la planta de biogás.

Como se ha explicado con anterioridad, la planta de tratamiento genera biogás, un gas químico compuesto por varios gases: nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno, metano y CO₂ siendo estos dos últimos agentes contaminantes de la atmósfera si no se controla su emisión a la misma. Por tanto, resulta de particular importancia conocer las posibles cantidades que se producen especialmente de metano, por ser el generado en mayor cuantía (puede llegar a un 65-70%). Dicha información permite saber de forma cuantitativa hasta donde es posible mitigar el impacto negativo al Medio Ambiente con el uso de esta planta respecto a otras formas de tratamiento de residuales por métodos aerobios.

Cantidad de metano que se deja de emitir a la atmósfera.

Como se muestra en el (Anexo No 6), la cantidad de biogás producido por el volumen de excreta (1620 kg/día) es de 13 m³/día de gas.

Por lo que para un año será:

$$13 \text{ m}^3/\text{día de biogás} \times 365 \text{ días/año} = \mathbf{4745 \text{ m}^3/\text{año de biogás.}}$$

Como el biogás está compuesto en su mayoría por metano, si se considera un biogás 60% de metano entonces se puede afirmar que la cantidad de metano en un año será:

$$(4745 \text{ m}^3/\text{año de biogás}) \times 0,6 = \mathbf{2847 \text{ m}^3/\text{año de metano.}}$$

A fin de determinar en qué cantidad se deja de consumir oxígeno del Medio Ambiente se inicia el análisis mediante el cálculo de la demanda química de oxígeno o carga contaminante (DQO) producto a la cantidad de excreta de cerdo.

De laboratorio conocemos que 1m³ de residual tratado anaerobicamente y tomando como base la menor eficiencia del digestor al producir Biogás se obtendrían 144Kg de Demanda Química de Oxígeno (DQO) o carga contaminante por días (Manual para especialistas cubanos, Instituto de Energía de Janoy), por lo que:

Para 4745 m³/año de biogás se necesita:

$$\text{DQO} = (4745 \text{ m}^3/\text{año de biogás} \times 144 \text{ kg/ m}^3)$$

$$\mathbf{\text{DQO} = 684 \text{ ton/año}}$$

Como resultado de los cálculos anteriores se obtiene que la carga contaminante o DQO es de 684 ton/año, entendiéndose como tal que debido a las características de la planta (funcionamiento anaerobio) la misma no requiere tomar de la atmósfera dicha cantidad de oxígeno en el proceso de fermentación, mitigando también de esta manera su impacto al Medio Ambiente.

Por los criterios anteriormente expuestos, se puede prever que el empleo de este tipo de planta de biogás impactará positivamente en el Medio Ambiente, a lo que es posible añadir que el funcionamiento de la misma bajo condiciones anaerobias favorece la no existencia de animales como roedores e insectos, usualmente frecuentes en zonas de cría de ganado porcino y que son dañinos para la salud de estos así como para los recursos humanos vinculados a dichas instituciones.

2.7. Aporte para la defensa de la patria.

El presente trabajo tiene particular importancia para la defensa de la patria ya que una vez creadas las condiciones en la planta de tratamiento, en tiempo de guerra, el biogás generado por la misma puede ser utilizado como una fuente de energía para elaborar alimentos a los soldados cubanos ubicados en campamentos cercanos o para personas heridas situadas en hospitales de campaña.

Por otro lado en condiciones excepcionales, como la referida, también se puede emplear la planta para la evacuación de los residuales humanos generados por dichos campamentos u hospitales temporales.

CONCLUSIONES.

Con los resultados alcanzados en el trabajo se evidencia el cumplimiento del objetivo general propuesto para el mismo así como de las tareas planteadas:

1. Se determinó que la cantidad de residual orgánico generado por el centro porcino Cuba Sí 3 es de 405 kg de excreta por día.
2. La Planta propuesta para tratar el residual porcino en el centro Cuba Sí 3 es una planta de cúpula fija de 46,4 m³ de capacidad.
3. Utilizando el sistema PRECONS se obtuvo que el costo de planta es de 651,89 CUC.
4. Tratando este residual en la planta propuesta se disminuye en 684 ton/año de DQO y la emisión de metano en 2847 m³/año.

RECOMENDACIONES

1. Construir el tipo de planta propuesta para tratar el residual porcino generado por el Centro Porcino Cuba Sí 3.
2. Promover el conocimiento del uso de este tipo de planta en el cuidado y protección del Medio Ambiente.
3. Realizar estudios en el resto de las unidades porcinas de la provincia y en los corrales colectivos de criadores de cerdos por cuenta propia, para determinar en cuales puede ser factible la implementación de plantas de biogás para el tratamiento de los residuales.
4. Profundizar en la búsqueda de información e investigación sobre el aprovechamiento de la tecnología de producción de biogás en la generación de energía eléctrica y almacenamiento del mismo para su distribución, así contribuir con el desarrollo de una economía sostenible en el país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación colombiana de porcicultores; valorización de estiércol de cerdo a través de la producción de biogás; http://www.oiporc.com/contenido/3.2_MANUAL_BIODIGESTOR.pdf; 13 de noviembre del 2010.
2. Börjesson G., Sundh I., Tunlid A., Frostegard A., Svensson B.H. (1998). Microbial oxidation of CH₄ at high partial pressures in an organic landfill covers soil under different moisture regimes. FEMS Microbiology Ecology. Vol. 26. pp. 207-217.
3. Díaz L.F., Savage G.M., Eggerth L.L. and Golueke C.G. (1993). Composting and recycling municipal solid waste. Lewis Publishers. USA. Sauri M. et. al. / Ingeniería 6-3 (2002) 55-60
4. EPA, Environmental Protection Agency. (1998). an analysis of composting as an environmental remediation technology. EPA530-R-98-008.USA.
5. Epstein E. (2002). The science of composting. TECNOMIC publication. USA.
6. Haung R.T. (2002). The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. USA.
7. Humer M., Lechner P. (1999). Compost as a landfill covers material for the elimination of methane emissions. Proceedings ORBIT 99. pp. 503-510. Germany.
8. Humer M., Lechner P. (2001). Compost covers as a measure for minimisation of methane emissions and leachate from landfills. Proceedings ORBIT 2001. pp. 187-192. Sevilla, Spain.
9. Instituto de ingeniería rural; manual para la producción de biogás; <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/Manual%20para%20la%20producci%20de%20biog%C3%A1s.pdf>

C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf; 15 de noviembre del 2010.

10. Ito A., Takahashi I., Nagata Y., Chiba K., Haraguchi H. (2005). Spatial and temporal characteristics of urban atmospheric methane in Nagoya City, Japan: an assessment of the contribution from regional landfills. *Atmospheric Environment*. No. 35. pp. 3137-3144.
11. Jesús Fernández; energías renovables para todos; http://www.energias-renovables.com/Productos/pdf/cuaderno_BIOMASA.pdf; 15 de noviembre del 2010.
12. Sancho y C.J. y Rosiles C.G. (1998). Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México. *Federalismo y Desarrollo*. Num. 62, pp. 3-16. México, D.F.
13. SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social. (2001). Manual para determinar la factibilidad de reducción y reuso de residuos sólidos municipales. *Manuales Técnicos para el Manejo de la Basura*. Publicación electrónica. México, D.F.
14. Semple K.T., Reid B.J. and Fermor T.R. (2008). Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environmental Pollution*. Elsevier. No. 112. pp. 269-283.
15. Solórzano O.G. y Camacho R.I. (2003). Aportación de gases de invernadero en el manejo de residuos sólidos en México. *Memorias EXPO AMCRESPAC 2001, México Limpio: Tarea de Todos*. Memorias Electrónicas. Querétaro, Qro.
16. Technical summary». *Climate Change 2006*. United Nations Environment Programme.
17. Trace Gases: Current Observations, Trends, and Budgets». *Climate Change 2007*. United Nations Environment Programme.

18. Visvanathan C., Pokhrel D., Cheimchaisri W., Hettiaratchi J.P.A. and Wu J.S. (1999). Methanotrophic activities in tropical landfill cover soils: effects of temperature, moisture content and methane concentration. *Waste Management & Research*. Vol. 17. Num. 4. pp. 313-323.
19. William F. Ruddiman, Libro, Madrid, 2008, pág 121
20. Wilson D.C. (2004). Directions in waste management. Past, present and future. *International Directory of Solid Waste Management. The ISWA Year book*. James & James Science Publishers. Hong Kong. pp. 31-36.

ANEXOS:

Anexo 1.



Laguna de oxidación del Centro porcino Cuba Si 3.

Anexo No 2.

Guía De Entrevista

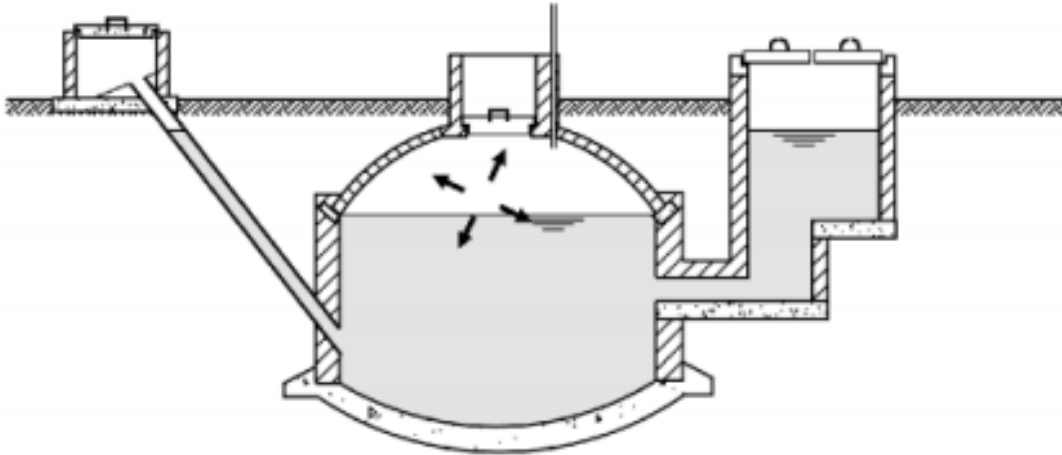
Entrevistado: _____

Lugar: _____

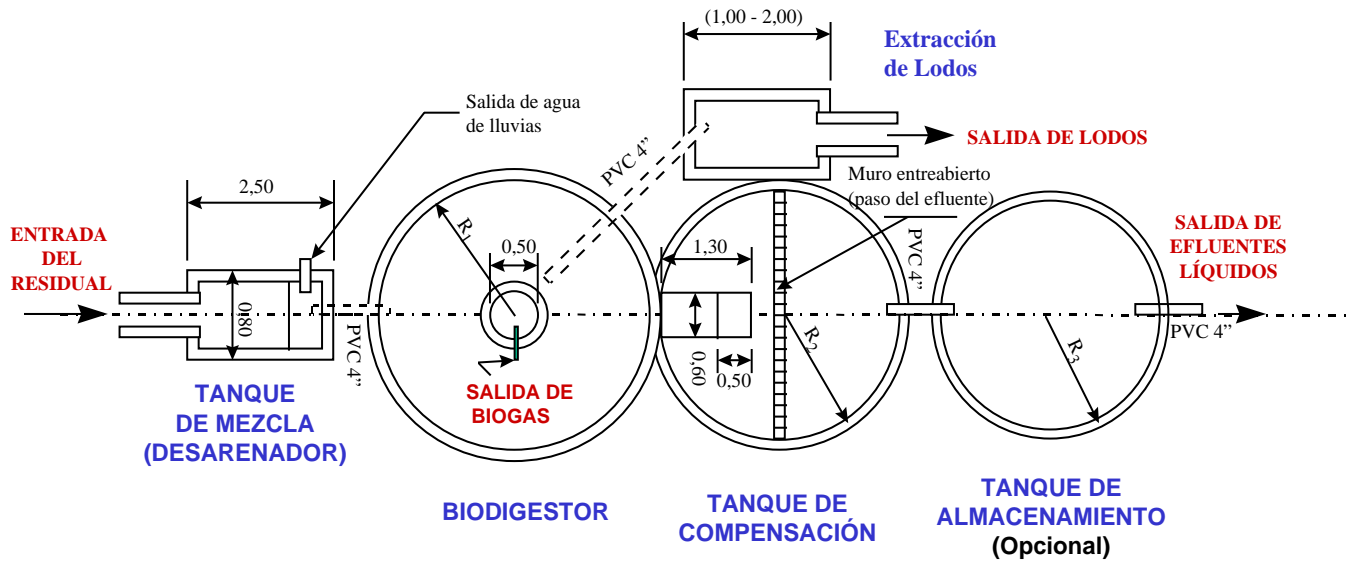
Fecha: _____

1. Pudiera decirme según su opinión, si factores como la presencia de roedores e insectos perjudiciales a la salud humana, así como la fetidez en la entidad están asociados a la presencia de una Laguna de Oxidación como solución final a los residuos porcinos generados por la entidad.
2. ¿Qué otros factores negativos manifiestos en la entidad usted asociaría a la existencia de una Laguna de Oxidación como solución para el tratamiento de los residuales porcinos de la entidad?
3. Según su criterio ¿Considera usted que la solución final de tratamientos a los residuales porcinos generados por la entidad funciona adecuadamente?
4. ¿Tiene Usted conocimiento de otra posible mejor solución para el tratamiento de los residuales porcinos?
5. ¿Qué sugiere usted para mejorar las condiciones actuales del tratamiento de los residuales porcinos producidos por la entidad?

Anexo No 3.

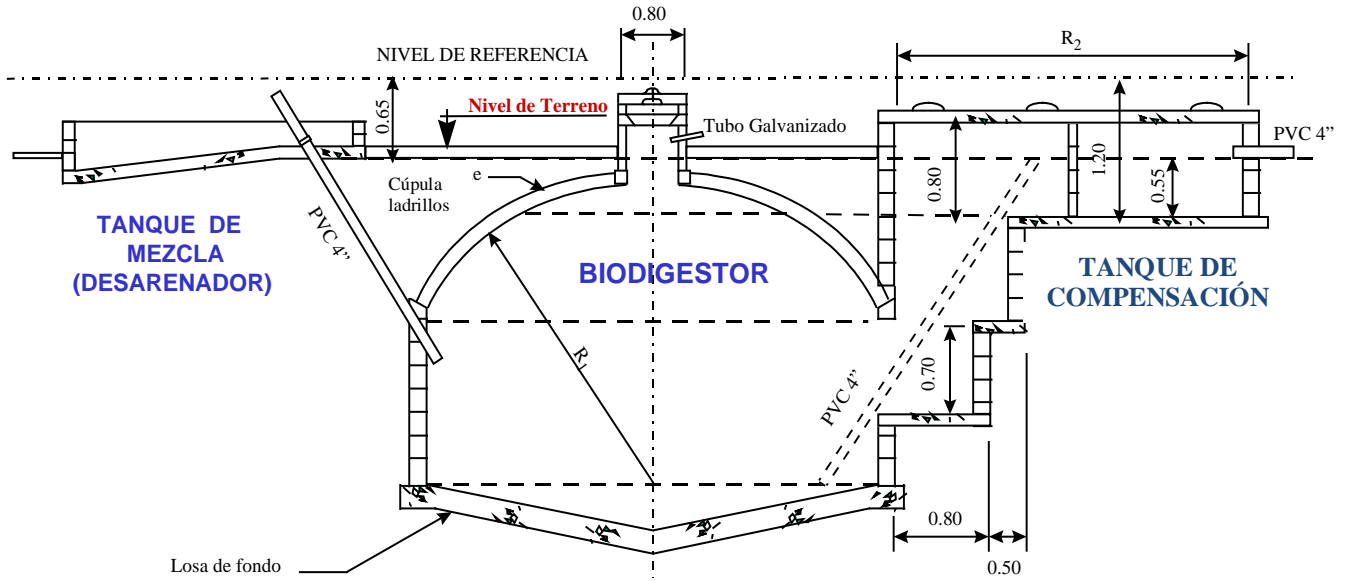


Biodigestor de cúpula fija.



PLANTA

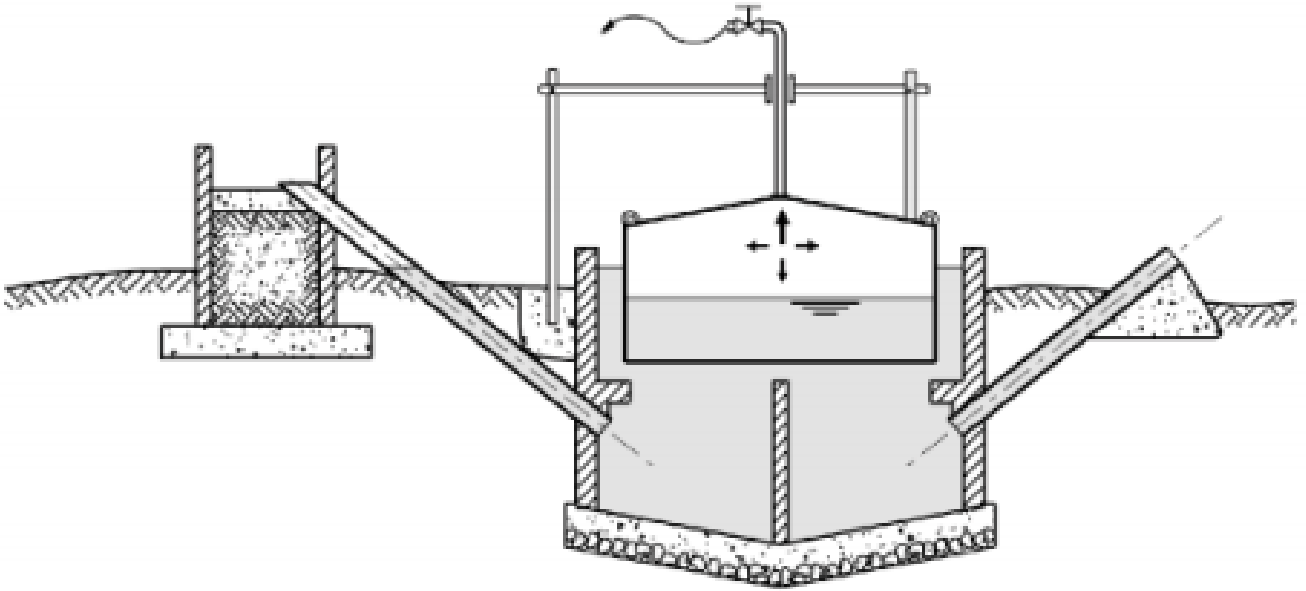
Distribución en Planta



CORTE LONGITUDINAL

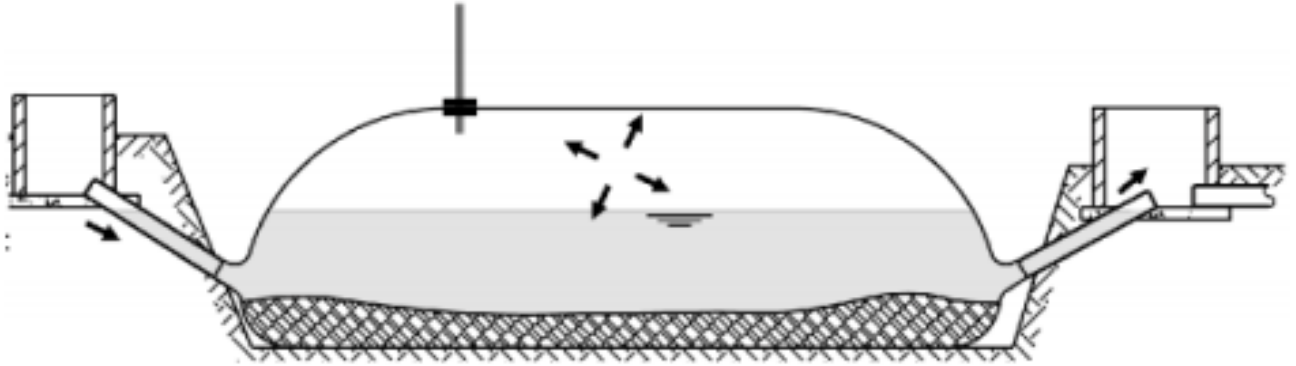
Corte Longitudinal

Anexo No 4.



Biodigestor de campana flotante (tipo hindú).

Anexo No 5.



Biodigestor de estructura flexible.

Anexo No 6.

Proyecto de digestor del tipo cúpula fija del Centro Porcino Cuba Sí 3

Datos iniciales a introducir por el usuario:

Altura de la pared del digestor=	2.5	
Diámetro del digestor=	4.45	ml
Altura de la caja de compensación(hc) =	1.1	ml
Presión dentro del digestor P1 =	2	Atm.
Proporción de H ₂ S de 0.5% al 5% =	0.5	%
Diámetro del filtro =	0.4	cm

Datos iniciales para calculo de residuales:

Tipo de animales	Número de animales	Peso vivo prome (kg)	Estabula. en horas
Cerdos	300	45	24
Vacunos	0	400	8
Tiempo de retención (días) =		20	
Temperatura ambiente =		30	grados

Resultados obtenidos

Diseñar según Vt (M3) =	46.3	Excreta de cerdo diaria a eliminar =	405	Kg
Volumen total del digestor V2+V3=Vt	45.4	Excreta de vaca diaria a eliminar =	0	Kg
Volumen de gas producido /días V3 (M3) =	13.0	Total de excreta a elimi/días+H ₂ O =	1620	Kg
Volumen de la caja de compensación/gas producidoV4(M3)=	13.1	Volumen del digestor/excreta/día =	32.4	M3
Volumen de residualesV2(M3)=	32.4			

Gasto de materiales

	Materia	Cemento
Bloques =	454	17
Mortero colocar bloqueM3 =	0.6	
Ladrillos =	3708	25
Mortero colocar ladrillos M3 =		
Mortero en Resano M3 =	4	17
Estuque M2 =	157	6
Hormigón en piso M3 =	1.2	7
Hormigón en cerramento M3	1.0	6
Total de cemento (B)=	80	
Acero de 1/2" en cerramento y zapata(tira =	14	
Total de acero de 1/4" Kg =	4.7	

Datos para construir el digestor

Altura de la pared del digestor (h) =	2.5
Altura de la cúpula del digestor (hc) =	1.1
Altura de la base del cono (hc) =	0.67
Altura caja de compensación (ml)=	1.1
Diámetro del digestor D (ml) =	4.45
Radio del digestor (ml) =	2.225
Radio de la cúpula del digestor (ml) =	2.78
Altura Total(ml) =	3.7

Hoja de cálculo.