

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TEMA:

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO
ENERGÉTICO DE LA EXCRETA GENERADA POR LOS ANIMALES DE
CRÍA (OVINOS, PORCINOS Y VACUNOS) EN LA FINCA DE
AUTOCONSUMO DEL INSTITUTO PREUNIVERSITARIO VOCACIONAL DE
CIENCIAS EXACTAS "FEDERICO ENGELS"**

POSTULANTE:

HERNÁN DARÍO SUNTÁSIG CHUQUITARCO

DIRECTOR:

DR.C. LEONARDO AGUIAR TRUJILLO

LATACUNGA - ECUADOR

2010

Declaración de Autoridad

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro que soy el autor del presente Trabajo de Diploma y que autorizo a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente

Los resultados que se exponen en el presente Trabajo de Diploma, se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por el autor y asesorado y respaldado por la Universidad de Pinar del Río, por lo tanto los resultados en cuestión son propiedad del autor y la Universidad respectivamente. Solo ellos podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta, y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

Hernán Darío Suntásig Chuquitarco autorizo la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de su autor, no haga uso comercial de la obra y no realice ninguna modificación de ella. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Autorizo al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[<http://mecanica.upr.edu.cu/repositorio/>]"

Autorizo al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesinas disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

Hernán Darío Suntásig Chuquitarco

Dedicatoria

DEDICATORIA

Este trabajo de diploma va dedicado a:

- *A mi madre que ha sabido brindarme su apoyo, constancia y entregarme su amor sin reservas.*

- *A mi padre por los principios y valores morales inculcados, que fueron punto clave en mi carrera estudiantil.*

- *A mis amigos que me han entregado todo su afecto incondicional.*

Muchas Gracias

Pensamiento

PENSAMIENTO

*En la tierra hacen falta personas,
que trabajen más y critiquen menos,
que construyan más y destruyan menos
que prometan menos y resuelvan más
que esperen recibir menos y dar más
que digan mejor ahora que mañana.*

Ernesto "Che" Guevara

Página de Aceptación

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Facultad de Geología-Mecánica

Departamento de Mecánica

Luego de estudiada la exposición del diplomante Hernán Darío Suntásig Chuqitarco así como las opiniones del tutor y el oponente del presente trabajo de diploma, el tribunal emite la calificación de 5 puntos.

Msc. Luis Manuel García Rojas

Presidente del Tribunal

Ing. Rigoberto Hernández Riverón

Secretario

Ing. Julio Rivero Gonzales

Vocal

Dado en la Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”, a los 22 días del mes de Marzo del 2010.

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mis padres Gricelda y Vicente, a mi tutor de tesis el Dr.C. Leonardo Aguiar Trujillo, y las personas que colaboraron de una u otra forma en el desarrollo de esta tesis.

Resumen

RESUMEN

El trabajo de investigación presentado a continuación propone el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas "Federico Engels" (IPVCEFE).

Inicialmente se realiza un levantamiento del potencial de excreta de los animales de cría existentes en la finca de autoconsumo del (IPVCEFE) y de esta forma seleccionar correctamente el tipo de biodigestor que se va a proponer para que utilice la finca.

Para garantizar los parámetros requeridos (presión constante, manejo fácil y buena digestión en zonas tropicales) se selecciona el biodigestor modelo Hindú, con las dimensiones fundamentales de diámetro 3 m, altura 4 m y según cálculos produce 12 m³ de biogás por día en la finca de autoconsumo del (IPVCEFE).

Abstract

ABSTRACT

The investigation work presented proposes the design of a biodigestor for the obtaining of energy using the manure generated by the breeding animals (sheeps, pigs and cows) in the property of self-consumption of the Institute Vocational Pre university of Exact Sciences "Federico Engels" (IPVCEFE).

Initially is carried out a rising of the potential of manures of the existent breeding animals in the property of self-consumption of the (IPVCEFE) and whit this way to select the biodigestor type that will intend correctly so that it uses the property.

To guarantee the required parameters (constant pressure, handling easy and good digestion in tropical areas) the Hindu model biodigestor is selected, with the fundamental dimensions of diameter 3 m and height 4 m and according the calculation producing 12 m³ of biogas per day in the property of self-consumption of the (IPVCEFE).

Opinión del Tutor



UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO
“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”
FACULTAD DE GEOLOGÍA-MECÁNICA



Opinión del tutor

El trabajo de diploma titulado “Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas Federico Engels”, constituye una interesante investigación en el tema del aprovechamiento de fuentes renovables de energía y en particular en el aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos, temas incluidos en el contexto actual de crisis energética y en la búsqueda de alternativas que conduzcan a la sustitución de combustibles fósiles, así como por el valor que puede representar como material de estudio o de consulta a estudiantes.

El diplomante ha realizado un trabajo exitoso en la búsqueda de bibliografía, obtención de datos experimentales, diseño y cálculo de un biodigestor de tipo hindú, mostrando un elevado rigor científico.

Además exhibió independencia y profesionalidad en el trabajo, por lo que le permitió realizar un análisis adecuado de los resultados y finalmente concluye con la elaboración del documento de tesis, cumpliendo los objetivos trazados en el mismo.

Por su desempeño, se propone la máxima calificación (5 puntos).

Dado en Pinar del Río, a los 10 días del mes de Marzo del 2010

Tutor: Dr.C. Leonardo Aguiar Trujillo

Profesor Auxiliar

Índice

ÍNDICE

	Páginas
1 INTRODUCCIÓN	12
1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	14
2 CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 El Biogás	16
2.1.1 ¿Qué es el Biogás?	16
2.1.2 Historia del Biogás.....	18
2.1.3 ¿Cómo Producir el Biogás?	18
2.1.4 Aplicaciones del Biogás	19
2.1.5 El efluente como fertilizante.....	21
2.1.6 Perspectiva actual del uso del Biogás.	21
2.2 El Biodigestor	23
2.2.1 ¿Qué es un Biodigestor?	23
2.2.2 Tipos de Biodigestores	24
2.2.3 Perspectiva actual del uso de los Biodigestores.....	26
3 CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Descripción del área de estudio	29
3.2 Levantamiento del potencial de excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del IPVCFE 30	
3.2.1 Producción de excreta por especies.....	31
3.2.2 Potencial de biomasa	34
3.3 Selección del tipo de biodigestor a utilizar	35
3.4 Metodología para el dimensionamiento de un biodigestor tipo Hindú .	37
3.5 Diseño del Biodigestor	38
3.5.1 Ubicación del biodigestor.....	38
3.5.2 Excavación	41

3.5.3	Dimensionamiento del biodigestor.....	41
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1	Cálculo del potencial de excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del IPVCEFE	50
4.1.1	Producción de excreta por especies.....	50
4.1.2	Potencial de Biomasa.....	53
4.2	Diseño del Biodigestor	55
4.2.1	Dimensionamiento del Biodigestor	55
5	ANÁLISIS ECONÓMICO	62
6	IMPACTO AMBIENTAL	62
7	CONCLUSIONES	63
8	RECOMENDACIONES.....	63
9	BIBLIOGRAFÍA.....	68
10	ANEXOS.....	71

Introducción

1 INTRODUCCIÓN

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía, éstas serían las energías alternativas. En conjunto con lo anterior se tiene también que el abuso de las energías convencionales actuales hoy día tales como el petróleo la combustión de carbón entre otras acarrearán consigo problemas de agravación progresiva como la contaminación, el aumento de los gases invernadero y la perforación de la capa de ozono. [1]

Actualmente las proyecciones del uso de la energía global se basa en escenarios que son construidos alrededor de suposiciones acerca de cuán lejos la economía se expandirá, el rápido crecimiento de la población mundial, el grado de avance tecnológico, medidas de conservación, adopción de tecnologías energéticamente eficientes, la disponibilidad relativa y el precio de los combustibles. Sugieren el uso de energías renovables, como la biomasa que es un recurso renovable cuya utilización presenta características singulares y beneficios notables. Además, se trata de una fuente prácticamente inagotable, producida cíclica y continuamente por el reino vegetal y animal y el sistema urbano e industrial. [2]

De forma genérica, por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial que haya tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico. La biomasa puede aprovecharse de diversas formas, mediante los llamados procesos de conversión, y en general se quema directamente en plantas energéticas tradicionales con ciclos de vapor, como sucede desde antaño en los centrales azucareros; o en sistemas más avanzados y eficientes que

emplean la gasificación en ciclos combinados, en los que se usan los gases de escape de las turbinas de gas, el cual alimenta un generador, de esta última es la vía más eficiente de aprovechamiento de la biomasa y la que tiene un futuro más prometedor. Otra vía de obtener combustible de la biomasa es mediante la fermentación anaerobia, como el biogás y la obtención de combustibles como el etanol por fermentación anaerobia y el metanol por hidrólisis, así como el bio-diesel a partir de la extracción de aceites vegetales. [3]

Dentro de las utilidades que hasta el momento se han dado al biogás están: producción de electricidad; funcionamiento de motores (combustible para vehículos), tanto solo como mezclado con fuel oil, producción de energía mecánica para el funcionamiento rural de fábricas de procesos agrarios; funcionamiento de refrigeradores de kerosene y funcionamiento de cocinas de gas [4]

En el mundo la preocupación por las nuevas fuentes de energía se convirtió en programas nacionales. En los Estados Unidos se creó el Programa Nacional de Biomasa, en 1999, como parte del Departamento de Energía con el objetivo del desarrollo de alternativas ambientales para generar energía. La Agencia Internacional de Energía llevó a cabo un proyecto sobre la Gasificación de la Biomasa y su objetivo fue el intercambio de información científica entre los Estados Unidos, Canadá, Dinamarca, Suecia, Noruega, Finlandia, Holanda, Reino Unido, para realizar proyectos referentes a la gasificación de la biomasa. [5]

Cuba es uno de los primeros Países de América Latina donde se introdujo la tecnología del biogás en las plantas de tratamiento de aguas negras. Por lo que la tecnología del biogás ha sido aplicada e investigada desde la primera mitad del siglo XX. Con la creación de la Comisión Nacional de energía en Cuba (1983) y sus filiales en las diferentes provincias se plantearon un grupo de medidas encaminadas al ahorro de energía y a la sustitución de los portadores energéticos convencionales, razón por la cual el biogás como portador energético no convencional (renovable), comenzó a replantearse de manera generalizada para un grupo importante de empresas e instalaciones dispersadas por todo el País. [6]

En Pinar del Río se encuentra el Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas “Federico Engels” (IPVCEFE), el mismo que posee una finca de autoconsumo en la cual existen animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) los mismos que producen un potencial de excreta que puede ser aprovechado de una forma energética.

1.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Problema:

No existe un aprovechamiento energético de la excreta de los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del IPVCEFE.

Hipótesis:

Si se logra estimar el potencial de excreta de los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) que existen en la finca de autoconsumo del IPVCEFE y seleccionamos el tipo de biodigestor para aprovechar la excreta de los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos), entonces se podrá diseñar un biodigestor que permita el aprovechamiento energético de dicha excreta.

Objeto:

Producción de biogás a partir de la excreta de los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) existente en la finca de autoconsumo del IPVCEFE.

Objetivo:

Diseñar el biodigestor que logre el aprovechamiento energético de la excreta de los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) existente en la finca de autoconsumo del IPVCEFE.

Objetivos Específicos:

1. Realizar el levantamiento del potencial de la excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) existente en la finca de autoconsumo del IPVCEFE.

2. Seleccionar el tipo de biodigestor a utilizar para el aprovechamiento energético de la excreta de los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) existente en la finca de autoconsumo del IPVCEFE.

Capítulo I

2 CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El Biogás

2.1.1 ¿Qué es el Biogás?

El biogás es una mezcla de gases producidos por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica (biomasa), cuyos principales componentes son el metano (CH_4) y el anhídrido carbónico (CO_2). [7]

Es un gas compuesto por alrededor de 60 % de gas metano (CH_4) y 40 % de bióxido de carbono (CO_2). Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1 % de ácido sulfhídrico (H_2S). Es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de 700 °C, y su llama alcanza una temperatura de 870 °C. Con un contenido de metano mucho menor de 50 %, el biogás deja de ser inflamable. Su poder calorífico promedio es de 5000 kcal. Un metro cúbico de biogás permite generar entre 1,3-1,6 kW/h, que equivalen a medio litro de petróleo, aproximadamente. [8]

En la figura 1 se muestra el sistema típico del biogás

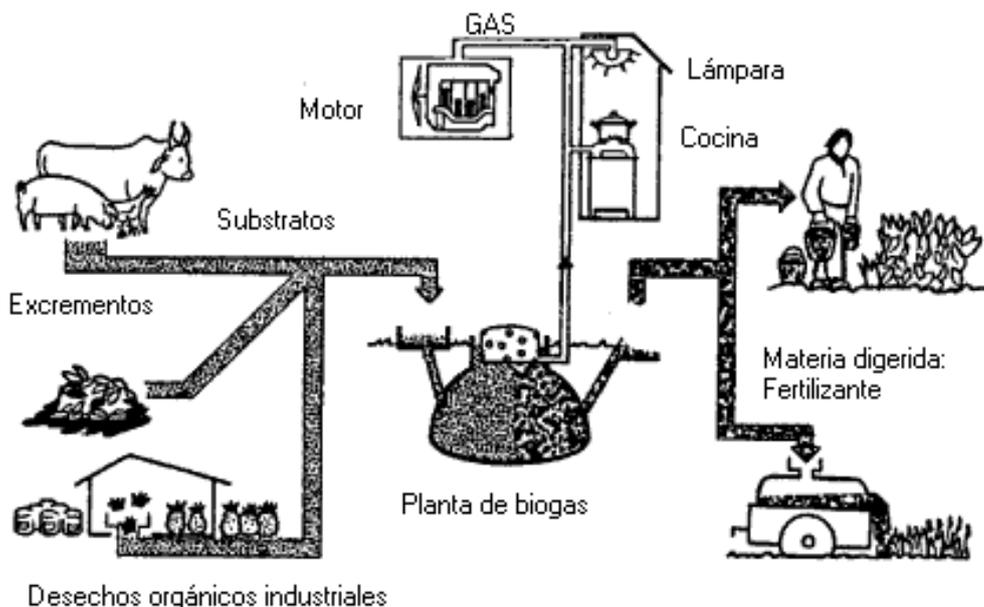


Figura 1: Sistema típico del biogás

Fuente: OEKOTOP (<http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>) [9]

La composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación en la tabla 1.

Tabla 1: Composición química del biogás

Elemento	Porcentaje
Metano (CH ₄)	40-70 %
Dióxido de carbono (CO ₂)	0-60%
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	0-3%
Hidrógeno (H ₂)	0-1%

Fuente:

(http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/biomasa_y_biogás.htm)

[10]

El contenido de metano depende de la temperatura de fermentación. Con bajas temperatura de fermentación se obtiene un alto porcentaje de gas metano, pero las cantidades de gas son menores. El porcentaje de metano depende del material de fermentación, alcanzando los siguientes valores aproximadamente como se indica en la tabla 2.

Tabla 2: Porcentaje de metano según el material de fermentación

Material de fermentación	Porcentaje de Metano
Estiércol de gallina	60%
Estiércol de cerdo	67%
Estiércol de establo	55%
Pasto	70%
Desperdicios de cocina	50%

Fuente:

(http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c1.htm) [11]

2.1.2 Historia del Biogás

El gas natural, que en su mayor composición es metano, fue utilizado por los pueblos chinos y persas hace miles de años como generador de temperatura. Pero pasaron muchos años hasta que se dieran cuenta que el metano no solo se encontraba en el gas natural fósil, sino que se producía constantemente. [12]

El gas metano fue descubierto por Shiley en 1667 llamándosele “Gas de los Pantanos”. La historia señala que Alejandro Volta fue el primer investigador en describir científicamente la producción de gas combustible en lodos y sedimentos lacustres 1776. La primera unidad utilizada para depurar los sólidos sedimentados de agua negras o albañal domestico, fue desarrollado por Louis H. Mouras de Vesoul, en Francia fue denominada “estercolero automático Moura”. [13]

En el año 1887 el científico Hoppe-Seyler pudo comprobar la formación de metano a partir de acetato. La misma observación hizo Omelianski en 1886 con estiércol de vacas. En 1888 Gayon obtuvo gas al mezclar estiércol y agua, a una temperatura de 35 °C. Soehngen descubrió en 1906 la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano. En 1920 Imhoff puso en práctica el primer biodigestor en Alemania. [12]

2.1.3 ¿Cómo Producir el Biogás?

El Biogás conocido también como "Gas de los Pantanos" se produce por la fermentación anaeróbica (sin oxígeno) de residuos orgánicos e inorgánicos que mezclados con agua y depositados en un recipiente cerrado e impermeable llamado Biodigestor a temperatura entre los 20 °C y 30 °C se descomponen debido a las bacterias anaeróbicas. El proceso digestivo se completa entre los 30 y 40 días produciéndose la mayor cantidad de Biogás. Para mantener una producción constante se debe renovar periódicamente los insumos. Cuando los residuos no digeribles alcanzan cierta magnitud, se limpia el biodigestor (1 a 2 veces al año) vaciándolo totalmente. [14]

Por lo general, se puede obtener biogás a partir de cualquier material orgánico. Comúnmente se emplean las excretas de cualquier índole, la cachaza, los desechos de destilerías, los componentes orgánicos de los desechos sólidos municipales, los residuos orgánicos de mataderos, el lodo de las plantas de tratamiento de residuales, los desechos orgánicos de las industrias de producción de alimentos, los residuales agropecuarios, etcétera. Todos los materiales orgánicos que pueden ser empleados como «lodo de fermentación» están compuestos, en su mayor parte, por carbono (C) y nitrógeno (N). La relación entre ambos tiene gran influencia sobre la producción de biogás. Con el agua aumenta la fluidez del material de fermentación, lo cual es importante para lograr un proceso de fermentación más eficiente y, por tanto, una mayor producción de biogás. En un lodo de fermentación líquido las bacterias de metano llegan con mayor facilidad al material de fermentación fresco, lo que acelera el proceso. El proceso de fermentación se compone de dos fases principales: la ácida y la metanogénica. En la primera se forman los aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes, a partir de las proteínas, grasas e hidratos de carbono disueltos en el residual. En la segunda se forman el metano, el bióxido de carbono y el amoníaco, entre otros. [8]

2.1.4 Aplicaciones del Biogás

A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado en la mayor parte de los casos para cocinar en combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina o combustible diesel en motores de combustión interna. En general, el biogás puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible. [15]

El biogás, al igual que otros gases como el GLP (gas licuado de petróleo) y el gas natural, tiene una gran variedad de usos, tanto doméstico como industrial. Su principal uso doméstico es en las cocinas y el alumbrado, por cuanto no requiere ser purificado. Los usos más importantes del biogás para determinar la demanda energética del usuario son:

- **Cocinas.** Se emplea con una presión de 75-90 mm de columna de agua (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.
- **Alumbrado.** Si se utiliza una lámpara de 100 candelas (aproximadamente 60 W), esta consume de 0,11 a 0,15 m³/h de biogás, requiriendo una presión de 70 a 85 mm de CA.
- **Calderas.** En dependencia del tamaño del quemador, los consumos serán:
 - Diámetro del quemador 50 mm: 0,32 m³/h.
 - Diámetro del quemador 100 mm: 0,46 m³/h.
 - Diámetro del quemador 150 mm: 0,63 m³/h.
- **Motores de combustión interna.** El biogás es un combustible excelente para motores, tanto de gasolina como diesel. Sólo se registra una ligera disminución de la potencia y el motor trabaja algo más caliente que con el combustible líquido. Si se dotan de un mezclador de aire-gas adecuado, los motores de gasolina pueden trabajar con 100 % de biogás, sin necesidad de gasolina, incluso en el arranque. No ocurre lo mismo con los motores Diesel, debido a que la temperatura al final de la carrera de compresión no es superior a los 700 °C, y la temperatura de ignición de la mezcla aire-biogás es de 814 °C, por lo que se hace necesaria la inyección de una pequeña cantidad de combustible diesel antes de finalizar la carrera de compresión del pistón, para obtener la ignición de la mezcla y asegurar el funcionamiento normal del motor. En condiciones óptimas se logra economizar entre 70 y 85 % del combustible diesel, sustituyéndolo por biogás. El consumo en motores es 0,45-0,54 m³/h por caballo fuerza (HP) de carga, o 0,60-0,70 m³/h por kW de carga, con una presión de 25 a 100 mm de CA.
- **Soldaduras.** La temperatura de una llama de oximetano es de alrededor de 3000 °C, o sea, 250 °C menos que la llama oxiacetilénica. La temperatura de la llama oxi-biogás sería menor aún en dependencia del

porcentaje de metano del biogás, por lo que no sería aplicable a las soldaduras ferrosas, aunque sí puede utilizarse para soldar aleaciones de latón, cobre y bronce. [16]

2.1.5 El efluente como fertilizante

En la digestión anaerobia (DA) el nitrógeno (N) gaseoso se transforma en amoníaco (NH_3), y diluido en agua está a disposición de las plantas como nutriente. Un efluente líquido es más rico en nitrógeno y potasio, mientras que otro más espeso, como el obtenido de paja y pasto fermentado es relativamente más rico en fósforo. Balanceando estas características se puede obtener un buen fertilizante. [17]

El uso del efluente del biodigestor ha sido probado en varios países y en diferentes cultivos, reportando incrementos en las cosechas y mejoramientos en las propiedades del suelo a diferencia de los fertilizantes químicos que reducen la productividad de la tierra. También se utiliza para la acuicultura y se investiga en la alimentación de cerdos como suplemento. [18]

2.1.6 Perspectiva actual del uso del Biogás

Las plantas de biogás permiten gestionar y valorizar conjuntamente una gran variedad de materiales orgánicos residuales de las actividades agroalimentarias (“co-digestión”). Esto permite abaratar los costes de gestión y tratamiento de los residuos. En una misma planta de biogás podemos co-digerir anaeróbicamente por ejemplo: estiércol de una granja de vacas, pulpa de una fábrica de zumo de naranja, lodos de una depuradora de una industria láctea, residuos de un matadero, etc. El biogás es una energía renovable y su uso reemplaza el consumo de energías fósiles generalmente importadas de otros países. Así pues, el biogás contribuye a garantizar el suministro de energía, en especial en áreas rurales y reducir la dependencia de dichos países. Por cada metro cúbico de biogás (65 % de metano) podemos llegar a generar unos 2,1 kWh de electricidad renovable. El biogás contribuye notablemente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero tanto por la reducción del consumo de energías fósiles equivalentes, que generan CO_2 y por tanto efecto invernadero, como por el adecuado tratamiento que se le da a algunos

residuos como los purines de cerdo que emiten metano (gas de efecto invernadero 21 veces más perjudicial que el CO₂) a la atmósfera si no son tratados adecuadamente. [19]

En muchas partes del mundo existen y se producen enormes cantidades de residuos agropecuarios, de las industrias azucareras y sus derivados y de la alimenticia, de origen urbano (sólidos y líquidos), etc. Que contribuyen seriamente a la contaminación ambiental, fundamentalmente, de las aguas superficiales y subterráneas, por lo que se hace imprescindible purificar estos residuos, antes de su vertimiento al medio ambiente. [20]

La aplicación de los procesos anaerobios tiene interesantes perspectivas ya que, no solo se podían alcanzar resultados positivos en la mejora del medio ambiente, sino que, además, se obtendrían cantidades importantes de biogás de múltiples usos, esto permitiría amortizar en parte en algunos casos totalmente, la inversión de no solo el proceso anaerobio sino también de la planta de tratamiento de residuales que se construya para depurar estos. El mercado potencial de la tecnología anaerobia y los grandes espacios que aún les están reservados para su aplicación se reflejan en la baja densidad de reactores anaerobios constituidos para el tratamiento de aguas residuales. Esta “densidad” se define como el número de reactores constituidos por cada millón de habitantes. Por ejemplo, la mayor densidad la representa Holanda, con 5,83 reactores por cada millón de habitantes, mientras que México y Brasil, países líderes en América Latina, tienen una densidad de 0,46 y 0,40 reactores por cada millón de habitantes respectivamente. La India el país de mayor densidad en Asia tiene 0,06 reactor por cada millón de habitantes. [21]

El biogás para uso vehicular posee aproximadamente las mismas características que el gas natural y está compuesto principalmente de metano. La cantidad de biogás que se puede producir de desechos orgánicos para una ciudad de tamaño promedio depende de la presencia de industrias de alimento y de la agricultura. [22]

2.2 El Biodigestor

2.2.1 ¿Qué es un Biodigestor?

El biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. La captación del biogás se realiza mediante una campana o superficie abovedada o cilíndrica desde la cual se extrae el gas a través de una conducción por tubería o manguera. [23]

El biodigestor se construye de forma cilíndrica y posee un conducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal o humano, las aguas sucias de las ciudades, residuos de matadero) en forma conjunta con agua, y un conducto de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. Los materiales que ingresan y abandonan el biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. [24]

La temperatura ambiente en que va a trabajar el biodigestor indica el tiempo de retención necesario para que las bacterias puedan digerir la materia. En ambientes de 30 °C se requieren unos 10 días, a 20 °C unos 25 y en altiplano, con invernadero, la temperatura de trabajo es de unos 10 °C de media, y se requieren 55 días de tiempo de retención. Es por esto, que para una misma cantidad de materia prima entrante se requiere un volumen cinco veces mayor para la cámara hermética en el altiplano que en el trópico. [23]

A este sistema también se le conoce como: Digestor anaeróbico, reactor anaeróbico, reactor biológico o simplemente digestor. Viene a ser un depósito cerrado, cámara cerrada, donde ocurrirá la descomposición de la materia orgánica (estiércol de animales, desechos vegetales, desechos humanos) en condiciones anaeróbicas (sin la presencia de oxígeno), producto de esta descomposición (fermentación) se producirá biogás y bioabonos.

A continuación se muestra la imagen en la que se representa el esquema de un biodigestor con todas sus partes. (Ver la figura 2). [25]

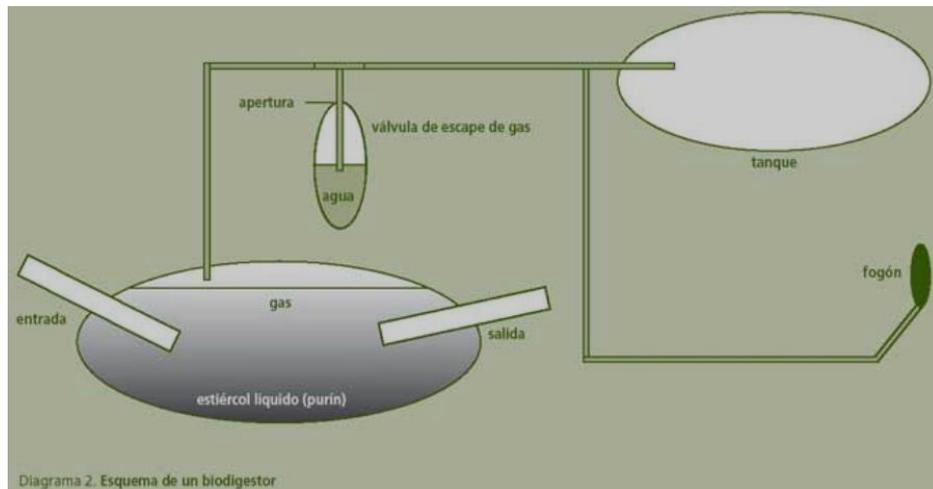


Figura 2 Esquema de un biodigestor

Fuente: (<http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>) [25]

2.2.2 Tipos de Biodigestores

Más del 80 % de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el tipo chino o de cúpula fija y el hindú o de campana flotante.

Modelo Chino o de Cúpula Fija

El biodigestor Chino fue desarrollado al observar el éxito del biodigestor Hindú, el gobierno chino adaptó esta tecnología a sus propias necesidades, ya que el problema en China no era energético sino sanitario. Los chinos se deshicieron de las heces humanas en el área rural y al mismo tiempo obtuvieron abono orgánico, con el biodigestor se eliminan los malos olores y al mismo tiempo se obtiene gas para las cocinas y el alumbrado. El biodigestor chino funciona con presión variable ya que el objetivo no es producir gas sino el abono orgánico ya procesado. [26]

Este tipo de digester fue concebido respetando las condiciones imperantes en su país de origen. Su diseño responde a una maximización del ahorro de material sin entrar en el cálculo de la demanda de la mano de obra. Su forma se asemeja a una esfera y el gas se almacena dentro de la campana fija a presión variable, la cual se obtiene desplazando el líquido en digestión hacia una cámara llamada de hidropresión. (Ver figura 3). [27]

La figura 3 nos indica el modelo de digester tipo Chino con sus partes principales.

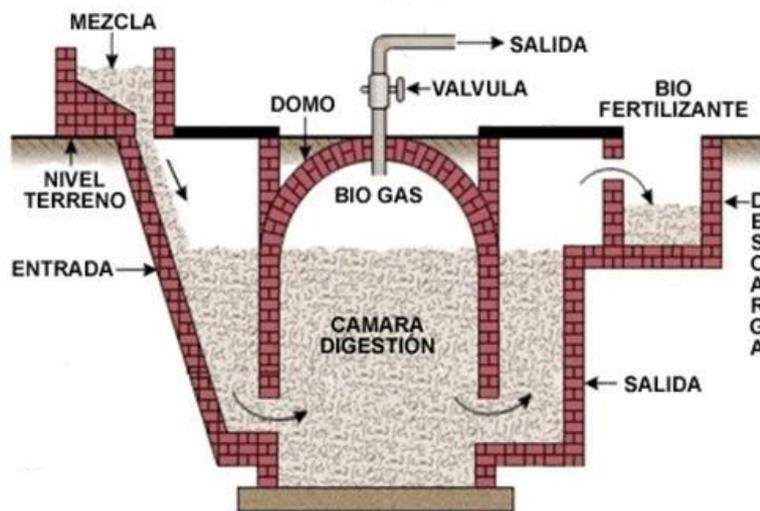


Figura 3 Biodigestor tipo Chino (cúpula fija)

Fuente: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>. [25]

Modelo Hindú o de Campana Flotante

El biodigestor Hindú fue desarrollado en la India después de la segunda guerra mundial en los años 50, surgió por necesidad ya que los campesinos necesitaban combustible para los tractores y calefacción para sus hogares en época de invierno, luego cuando terminó la guerra se volvió a conseguir combustibles fósiles por lo que dejaron los biodigestores y volvieron a los hidrocarburos. Como India es pobre en combustibles se organizó el proyecto KVICK (*Kaddi Village Industri Commision*) de donde salió el digester Hindú y el nombre del combustible obtenido conocido como biogás. Este digester trabaja

a presión constante y es muy fácil su operación ya que fue ideado para ser manejado por campesinos de muy poca preparación. [26]

Este tipo de digestor del cual han derivado infinidad de variaciones, posee una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica generalmente construida en hierro. La salida del efluente se efectúa por rebalse. Este digestor demanda un mayor gasto de materiales y la campana gasométrica es generalmente lo más caro del equipo. Su funcionamiento es muy sencillo y no presenta serios inconvenientes en el área rural. (Ver figura 4). [28]

En la figura 4 se muestra las partes de un biodigestor tipo Hindú.

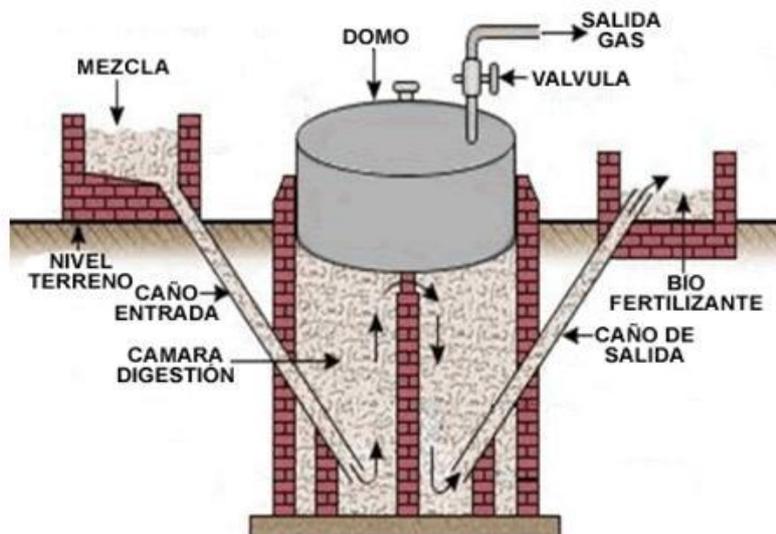


Figura 4 Biodigestor Tipo Hindú (campana flotante).

Fuente: (<http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>). [25]

2.2.3 Perspectiva actual del uso de los Biodigestores

Actualmente, el número de digestores a escala industrial en el continente europeo es de unos 1.000, sin incluir los digestores de lodos urbanos. En los países de la Unión Europea el número existen más de 700. En Estados Unidos, excepto los digestores construidos en las plantas de aguas residuales urbanas, no existe realmente una fuerte demanda de plantas de biogás, comparable a la europea. Con respecto a los países en desarrollo, China tiene el mayor número

de digestores, estimado en más de dos millones. Son digestores de tecnología sencilla implantados en zonas rurales; su capacidad media es de 10 m³ y suministran la energía que se emplea para fines domésticos y el efluente se utiliza en agricultura. [25]

China es el país que ha llevado a la práctica el uso del biogás en mayor escala. Existen allí más de siete millones de digestores rurales en funcionamiento. Estos proveen gas para cubrir necesidades de cocción e iluminación, a la vez que van recuperando suelos degradados a través de siglos de cultivos. Su importancia reside en su ciclo rápido de renovación, comparado con el ciclo geológico de los combustibles fósiles; ahora bien, existe una limitación: su consumo no puede desbordar el ritmo con que se regeneran las plantas, ya que su procedencia última es vegetal. Modificando la reproducción de ciertas plantas, se puede aumentar dicho ritmo, pero, hoy por hoy, los mayores cambios se dan en la ampliación de la gama de tales combustibles más allá de la leña (basura, biogás, uso de aceites y alcoholes como carburantes), la mejora del rendimiento de las técnicas de combustión o el desarrollo de los métodos para transformar el combustible orgánico original en productos más manejables y de amplio uso (densificación de residuos forestales en briquetas; gasificación, pirolisis, digestión anaerobia, fermentación, etc. de varios residuos, para obtener biogás y otros gases combustibles, así como biocombustibles). Existen en Estados Unidos algunas pequeñas centrales eléctricas que queman biomasa residual. En otros países, como, por ejemplo, España, se fabrican combustibles a partir de residuos madereros, de la cascarilla del arroz y del café. Existen experimentos que intentan la transformación directa de la celulosa en alcohol mediante una vía biotecnológica, que permitirá la fabricación de combustibles a partir de la madera. Se está ensayando la obtención de gases combustibles a partir del estiércol del ganado. Gracias al proceso microbiológico por la digestión anaerobia donde los residuos se clasifican en residuos ganaderos de animal vivo, referente a los estiércoles en general, los residuos ganaderos de animal muerto, lodos de depuradoras y residuos industria orgánica que comprende los residuos producidos en la industria azucarera, papelera, alcoholera. Que pueden agruparse en tres categorías según la síntesis de digestión; de mezcla

total, de contacto y de alta velocidad. La India experimenta desde 1939 con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos. En Europa y en Estados Unidos se investigan los complejos fenómenos químicos que ocurren durante el proceso de digestión. En la República Argentina la investigación sobre el tema está a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), que ha desarrollado un proyecto denominado digestor anaeróbico productor de Biogás calefaccionado por energía solar. [29]

Capítulo II

3 CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se indica cómo se cuantifica la excreta de los animales de cría ovinos, porcinos y vacunos existentes en la finca de autoconsumo del Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas “Federico Engels” (IPVCFE), así como la metodología de diseño del biodigestor seleccionado.

3.1 Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en la finca de autoconsumo del IPVCFE, la cual se encuentra localizada en el km 144 de la Autopista que va desde Pinar del Río a la Habana.

En la figura 5 se muestra la ubicación de la finca de autoconsumo del IPVCFE



Figura 5: Ubicación de la finca de autoconsumo del IPVCFE.

Fuente:([http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_\(2\)_3.jpg](http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_(2)_3.jpg)). [30]

Esta tiene como objetivo principal la producción de alimentos, como son: carne, viandas y hortalizas, para lo cual cuenta con animales de cría ovinos, porcinos y sembríos, para realizar trabajos como labrar la tierra cuenta con bueyes.

El objeto de la finca es la producción de hortalizas, granos, la cría de cerdos y ovejas para consumo del IPVCFE. En esta finca la excreta de los animales es utilizada como abono, para esto la dejan secar para que pierda la acidez tiempo en la cual los gases como son el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) e hidrógeno (H₂) son expulsados a atmósfera sin darles un buen uso por el contrario contribuyen a la contaminación del medio ambiente.

3.2 Levantamiento del potencial de excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del IPVCFE

La finca de autoconsumo del IPVCFE consta de animales de cría como son: ovejas, cerdos y bueyes, los mismos que generan un potencial de excreta.

En este paso se realizó el conteo de animales, como son ovejas, cerdos y bueyes, el número de ovejas varía debido a que constantemente nace una cría, pero también una adulta es sacrificada para el autoconsumo, caso similar sucede con los cerdos, por lo que fue necesario efectuar el promedio de estos animales y conocer con qué número de cabezas se cuenta normalmente. (Ver la tabla 3).

Tabla 3: Especie animal y número de cabezas de animales.

Conteos	N° Cabezas de bueyes	N° Cabezas de ovejas	N° Cabezas de cerdos
1	17	109	42
1	17	111	42
1	17	110	42
1	17	110	42
1	17	110	42
1	17	110	42
Promedio	17	110	42

También se pesó la excreta de las ovejas y los bueyes, obtenida durante la noche, ya que los animales mencionados se encuentran en el día fuera de los corrales. El potencial generado por los cerdos se estableció en relación al tamaño de los animales, los mismos que permanecen las 24 horas del día en las cochiqueras.

Para obtener el peso de la excreta generada en diferentes días, se utilizó una balanza, un recipiente y una pala, las unidades empleadas para este procedimiento fueron kg.

3.2.1 Producción de excreta por especies

Para conocer la producción de estiércol generada por las ovejas y bueyes durante un día, utilizamos las fórmulas que se indican a continuación.

Ovinos

$$Peo = \frac{\sum Eo}{Ndp}$$

Donde:

Peo = Promedio total de excreta de ovejas (kg de excreta/día)

$\sum Eo$ = Sumatoria del excreta de ovejas (kg)

Ndp = Número de días pesados

$$Pda = \frac{Peo}{Nc}$$

Donde:

Pda = Promedio diario de excreta por animal (kg de excreta/día)

Peo = Promedio total de excreta de ovejas

Nc = Número de cabezas

Bueyes

$$Peb = \frac{\sum Eb}{Ndp}$$

Donde:

Peb = Promedio total de excreta de bueyes (kg de excreta/día)

$\sum Eb$ = Sumatoria del excreta de bueyes (kg)

Ndp = Número de días pesados

$$Pda = \frac{Peb}{Nc}$$

Donde:

Pda = Promedio diario de excreta por animal (kg de excreta/día)

Peb = Promedio total de excreta de bueyes

Nc = Número de cabezas

Cerdos

Los cerdos tienen un tiempo de estación de 24 horas por día, mientras que las ovejas y bueyes tienen una estación de 12 horas como promedio en el establo, por lo que la cantidad de excreta a recoger estará afectada por este tiempo de estación. Entonces la producción total a recoger será establecida en relación al tamaño del animal, para lo cual nos valemos de la tabla 4.

Tabla 4: Cantidad de excreta de cerdos según el tamaño.

Tamaño del cerdo	Cantidad de excreta por día (kg)
Grande	2
Mediano	1,5
Pequeño	1

Fuente: (Carballo, Arteaga, Márquez, 2006). [13]

Con los datos obtenidos en la tabla procedemos a calcular el potencial de los cerdos para lo cual utilizamos las siguientes fórmulas:

$$Pcp = Ncp \times Cep$$

Donde:

Pcp = Potencial de cerdos pequeños (kg de excreta/día)

Ncp = Número de cerdos pequeños

Cep = Cantidad de excreta por día de cerdos pequeños (kg)

$$Pcm = Ncm \times Cem$$

Donde:

Pcm = Potencial de cerdos medianos (kg de excreta/día)

Ncm = Número de cerdos medianos

Cem = Cantidad de excreta por día de cerdos medianos (kg)

$$Pcg = Ncg \times Ceg$$

Donde:

Pcg = Potencial de cerdos grandes (kg de excreta/día)

Ncg = Número de cerdos grandes

Ceg = Cantidad de excreta por día de cerdos grandes (kg)

$$Pec = Pcp + Pcm + Pcg$$

Donde:

Pec = Potencial total de excreta de cerdos (kg de excreta/día)

Pcp = Potencial de cerdos pequeños

Pcm = Potencial de cerdos medianos

Pcg = Potencial de cerdos grandes

3.2.2 Potencial de biomasa

Para obtener el potencial total de la biomasa producida por los animales a diario en la finca de autoconsumo del IPVCEFE aplicamos la siguiente fórmula:

$$PB = Pec + Peo + Peb$$

Donde:

PB = Potencial de biomasa (kg de excreta/día)

Pec = Potencial total de excreta de cerdos

Peo = Promedio total de excreta de ovejas

Peb = Promedio total de excreta de bueyes

Agua necesaria

La siguiente fórmula nos permite conocer la cantidad de agua que debemos colocar en la biomasa existente para obtener un desarrollo apropiado de las bacterias que producen el metano.

$$An = 3 \times PB$$

Donde:

An = Agua necesaria (kg de agua/kg de excreta)

PB = Potencial de biomasa

Con esta cantidad de agua se forma la totalidad de la biomasa a degradar.

Biomasa disponible

$$BD = PB + An$$

Donde:

BD = Biomasa disponible (kg/día)

PB = Potencial de biomasa

An = Agua necesaria

Para el tratamiento se recomienda emplear un metro cúbico de capacidad en el biodigestor por cada 1000 kg de biomasa, pues se considera aquí que la biomasa formada en sus tres cuartas partes está constituida por agua y posee una densidad equivalente a la de ésta. [13]

Volumen diario de biomasa

$$V_{BM} = \frac{BD}{1000}$$

V_{BM} = Volumen diario de biomasa (m³/día)

BD = Biomasa disponible

3.3 Selección del tipo de biodigestor a utilizar

Para la selección del modelo de biodigestor más factible a diseñar se realizó la comparación de los parámetros técnicos de dos tipos de biodigestores, los que son los más utilizados y nos proporcionan diversas ventajas, los cuales son:

- Biodigestor modelo Chino o de cúpula fija.
- Biodigestor modelo Hindú o de campana flotante.

Para la selección del modelo de biodigestor se tomaron en cuenta las características que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Comparación entre biodigestores modelo Hindú o de campana flotante y modelo Chino o de cúpula fija.

Parámetros técnicos y tecnológicos	Cúpula fija	Campana flotante	Exigencias
Presión	La presión de gas aumenta según la cantidad de gas almacenado, en muchos casos la presión de gas es muy alta	Presión de gas constante	Que no afecte el proceso tecnológico
Manejo	No posee partes Móviles, manejo complicado	Manejo fácil y razonable. El gas almacenado es directamente visible	Manejo más fácil posible
Construcción	Construcción subterránea que ayuda a ahorrar espacio. Bajos costos de construcción, dificultad en el sellado de la planta	Construcción subterránea. Altos costos de construcción de la campana. Pocos errores posibles en la construcción	Que la planta sea lo más fiable posible
Vida útil	20 años o más	Hasta 15 años. En costas tropicales unos 5 años de vida para la campana	La mayor vida útil posible
Economía	Bajos costos de construcción	Altos costos de construcción de la campana. Costos de mantenimiento periódicos causados por la pintura	Menor costo posible.
Productividad volumétrica	0.15 a 0.2m ³ de biogás/volumen de reactor x día	0.5 a 1m ³ de biogás/volumen de reactor x día	Mayor productividad posible
Eficiencia	Se alcanza la máxima eficiencia (50% de reducción de materia orgánica) con un tiempo de retención de 30-60 días	Solo se requiere de ½ a 1/3 del tiempo de retención con respecto al biodigestor de cúpula fija	Mayor eficiencia posible

Fuente: (Urbáez, 2007). [31]

La comparación indica que el biodigestor que está más acorde con los parámetros requeridos para el diseño (presión constante, manejo fácil y buena

digestión en zonas tropicales), es el de tipo hindú o campana flotante, por lo tanto se seleccionó este tipo de biodigestor.

3.4 Metodología para el dimensionamiento de un biodigestor tipo Hindú

El principal objetivo del diseño de un biodigestor es alcanzar un alto contenido de biomasa dentro del mismo que permita una alta producción de biogás y una alta reducción de la materia orgánica por unidad de volumen del biodigestor. Antes de comenzar la construcción de cualquier modelo, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La instalación y mantenimiento debe ser socialmente aconsejable, técnicamente posible y económicamente justificable.
- El biogás substituirá a la leña, el carbón o algún derivado del petróleo y la digestión contribuirá a reducir la polución, proveyendo además un biofertilizante.
- El modelo elegido debe ser el conveniente para las condiciones climáticas locales.
- El proyecto debe ser elaborado según la materia prima disponible y la demanda de biogás diaria. También hay que tener en cuenta la existencia de otras fuentes alternativas de energía en la propiedad.

La localización será la apropiada según la distancia de los puntos de consumo, la ubicación de los residuos y la fuente de agua, la topografía del terreno, la textura del suelo y el nivel freático.

Las consideraciones dependientes del tamaño para el diseño de una planta de biogás en áreas rurales incluyen: la cantidad y el tipo de desperdicios disponibles, las dimensiones de los trozos o partículas, el requerimiento de calefacción, la necesidad de agitación y la disponibilidad de materiales de construcción.

La metodología de cálculo para el dimensionamiento del biodigestor que se utilizará es la propuesta por la compañía brasileña CEMIG tomado del folleto titulado “instalación y dimensionamiento de un biodigestor hindú”. [31]

Un biodigestor modelo hindú está compuesto básicamente de:

- 1 sistema de entrada de material a ser digerido
- 1 cámara de digestión
- 1 sistema de descarga del efluente
- 1 depósito de gas

3.5 Diseño del biodigestor

Para el diseño del biodigestor modelo Hindú se debe tomar en cuenta los siguientes factores como son:

3.5.1 Ubicación del Biodigestor

La ubicación de un biodigestor es tan importante como su propia construcción. Una planta mal ubicada será una instalación inútil, a la que no se le sacará provecho. Por el contrario, una buena ubicación desempeña un papel importante para su fácil manejo y operación.

Un estudio previo del lugar y una detallada evaluación reportarán ganancias en el futuro.

Los principales aspectos que se deben tener en cuenta al ubicar un biodigestor son los siguientes:

- Seleccionar el lugar más cercano posible a la fuente de materia prima.
- Debe tratarse, por todos los medios, de que la topografía del terreno permita el cargado de la planta por gravedad.
- En el lugar debe existir una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.

- La instalación donde se utilizará el biogás debe encontrarse lo más cerca posible de la planta de biogás ($L_{\text{máx}} < 0,95 P_{\text{máx}}$; donde $L_{\text{máx}}$ es la distancia máxima en metros; y $P_{\text{máx}}$, la presión máxima en milímetros de columna de agua).
- La topografía del terreno debe favorecer que la utilización del bioabono líquido se realice por gravedad.
- Se debe evitar el contacto con el manto freático, para prevenir las filtraciones hacia el interior o la contaminación del manto. Como norma, el fondo del biodigestor debe encontrarse a un metro o más del manto freático.

Para lograr un buen trazado de la planta, en el área que se utilizará para su construcción, es imprescindible eliminar todo aquello que sea un estorbo, como escombros, hierbas, plantas, raíces, etc.

Cuando el terreno se encuentra limpio, se procede al replanteo del biodigestor y el tanque de compensación. Según el volumen del digestor que previamente se haya seleccionado y utilizando los valores de la tabla 6, se marcan en el terreno las distancias indicadas en las figuras 6 y 7 empleando para ello estacas, cuerdas y una manguera para correr niveles.

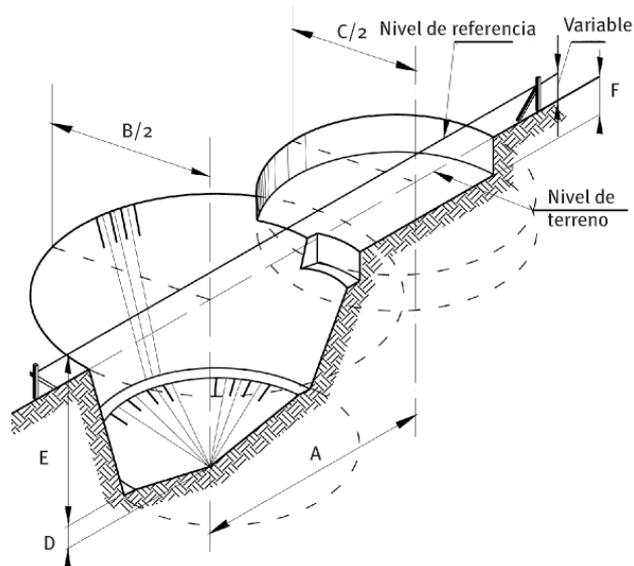


Figura. 6. Excavación para biodigestores típicos del tipo Nicarao, desde 12 hasta 42 m³. Fuente: (Guardado 2007). [16]

Tabla 6: Dimensiones de biodigestores típicos

Digestores típicos (m ³)	Dimensiones principales de la excavación (m)					
	A	B	C	D	E	F
12	2,9	1,8	1,7	0,45	3,2	1,32
24	3,1	2,2	1,9	0,6	3,5	1,37
42	3,6	2,6	2,1	2,72	4	1,37

Fuente: (Guardado 2007). [16]

Desde que comienza hasta que termina la construcción, todas las medidas verticales se tomarán a partir del nivel de referencia, que se establecerá por encima del nivel del terreno, para su fácil control, entre 50 y 60 cm. Este nivel se marca mediante un cordel durante la construcción para mantener posteriormente los niveles exactos. Ese cordel se sostiene con dos estacas situadas a cada extremo del biodigestor y del tanque de compensación. Durante la construcción, estas estacas tendrán fijadas el nivel de referencia mediante puntillas u otros objetos adecuados. El nivel de referencia se deberá mantener inalterable, ya que cualquier movimiento o desplazamiento llevará a errores en la construcción del biodigestor, a veces de gran significación.

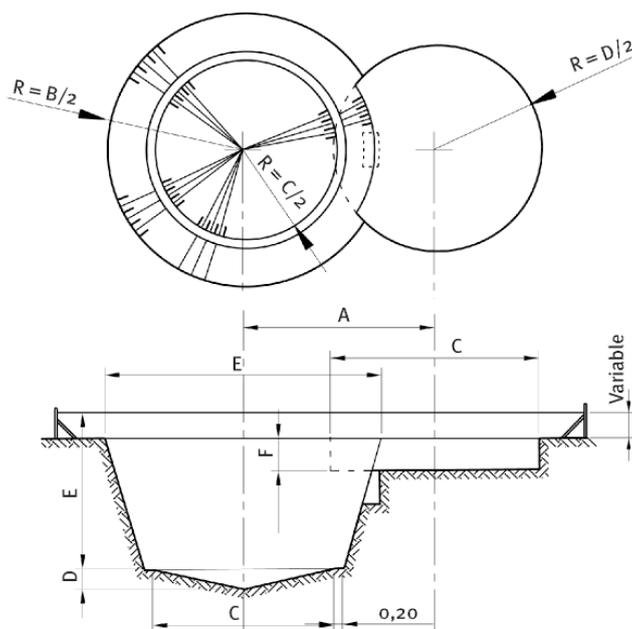


Figura. 7. Planta y corte de la excavación para biodigestores típicos del tipo Nicaragua, desde 12 hasta 42 m³. Fuente: (Guardado 2007). [16]

3.5.2 Excavación

La excavación puede realizarse de forma manual o mecanizada. Para la seguridad de los constructores se debe dejar cierta inclinación en las paredes, de acuerdo con el tipo de terreno. La tierra que se extraiga se depositará a más de un metro del borde de la excavación, y el lugar donde se construirá la caja de carga y el desarenador se deberá mantener libre de tierra excavada. Se recomienda, junto con la excavación, abrir también la zanja para la colocación del tubo de carga y el de extracción de lodo.

La excavación debe abrirse a la profundidad exacta para evitar rellenos a la hora de cimentar, por lo que se deberán tomar, cada cierto tiempo, medidas verticales a partir del nivel de referencia.

La excavación debe tener implícita el replanteo de los pasos de la escalera que permite la comunicación entre el digestor y el tanque de compensación, así como la inclinación que finalmente tendrá el fondo (Figura. 7). Es importante asegurarse de que el fondo de la excavación esté siempre un metro como mínimo por encima del nivel freático para evitar su contaminación. Otro aspecto no menos importante es el relacionado con las observaciones del terreno, para definir sus características generales con la correspondiente valoración, que nos permitan hacer las correcciones pertinentes en caso de que el terreno lo exija para garantizar la resistencia e impermeabilización necesarias. Tomando en consideración que la mayoría de estas excavaciones, a pequeña y mediana escalas, se realizan sin previo estudio geológico e hidrogeológico del lugar, es recomendable la presencia del proyectista en el terreno, una vez concluida la excavación y antes de comenzar la fundición del cerramiento y piso del fondo.

[16]

3.5.3 Dimensionamiento del biodigestor

El tamaño del biodigestor está determinado por el tiempo de retención y por volumen diario de biomasa. El volumen diario de biomasa se compone del material de fermentación y del agua de mezcla.

Tiempo de Retención de la Biomasa

Es el lapso durante el cual el material de fermentación permanece en el biodigestor.

Bajo la acción de bacterias mesofílicas se estima que en un reactor normal a 30 °C el tiempo requerido para biodegradar la materia prima alimentada es de 20 días, tiempo que se puede afectar por las variaciones de la temperatura ambiental.

$$TR = 20 \text{ días} \times 1,3$$

El factor 1,3 es un coeficiente que depende de la temperatura, la cual para garantizar un funcionamiento óptimo del biodigestor para cualquier época del año, se ha asumido como 25 °C.

Volumen de digestión de la biomasa

El tamaño del biodigestor está determinado por el tiempo de retención y por la cantidad diaria de sedimento de fermentación. La cantidad de sedimento de fermentación se compone del material de fermentación y del agua de mezcla.

El volumen de digestión de la biomasa se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$V_D = V_{BM} \times TR$$

Donde:

V_D = Volumen de digestión de la biomasa (m^3)

V_{BM} = Volumen diario de biomasa

TR = Tiempo de la retención de la biomasa

Volumen de producción diaria de biogás

El tamaño del depósito de gas depende de la producción de gas y de la cantidad de gas que se utilice. La producción de gas depende de la cantidad y

de propiedades del material de fermentación, de la temperatura del digestor y del tiempo de retención. (Ver anexo 1).

$$V_G = (Pec \times Rbc) + (Peo \times Rbo) + (Peb \times Rbb)$$

Donde:

V_G = Volumen de producción de gas (m^3)

Pec = Potencial total de excreta de cerdos

Rbc = Rendimiento de biogás de cerdos (m^3/kg)

Peo = Promedio total de estiércol de ovejas

Rbo = Rendimiento de biogás de ovejas (m^3/kg)

Peb = Promedio total de estiércol de bueyes

Rbb = Rendimiento de biogás de bueyes (m^3/kg)

Volumen total del Biodigestor

Con los dos volúmenes se puede determinar el volumen total del biodigestor.

$$V_{BD} = V_D + V_G$$

Donde:

V_{BD} = Volumen total del biodigestor (m^3)

V_D = Volumen de digestión de la biomasa

V_G = Volumen de almacenamiento de gas

Diámetro y altura útil

Conociendo el volumen del biodigestor, se debe determinar su diámetro y altura, cumpliéndose la relación siguiente:

$$0.66 \leq \frac{Du}{Hu} \leq 1$$

Para obtener estos valores se utiliza la fórmula de volumen de un cilindro:

$$Vu = \frac{\Pi \times Du^2}{4} \times Hu \quad ; \quad Hu = \frac{4 \times Vu}{Du^2 \times \Pi}$$

Donde:

Hu = Altura útil del cilindro, que equivale a la altura del biodigestor (m)

Vu = Volumen útil del cilindro, que equivale al volumen del biodigestor (m³)

Du = Diámetro útil del cilindro, que equivale al diámetro interno del biodigestor (m)

Nota: el volumen útil es el volumen ocupado por la materia orgánica a ser digerida, exceptuándose el volumen relativo al biogás entonces $V_D = Vu$.

Altura real

Después de determinar la altura útil del biodigestor, se debe calcular su altura real, esta se determina por la fórmula siguiente:

$$Hrcd = Hu + P + 0.15$$

Donde:

Hrcd = Altura real de la cámara de digestión (m)

Hu = Altura útil del cilindro

P = Presión de columna de agua (altura manométrica)

0.15 = Holgura

Nota: en los digestores del modelo Hindú la presión está fijada en 0.15 m. Se aconseja diseñar los equipos para que trabajen con esta presión. [13]

Dimensionamiento de la cámara de carga

La cámara está compuesta por un tubo derecho que se coloca en forma oblicua, lo que facilita su construcción, ahorra mano de obra y materiales, asegura una entrada libre y facilita la agitación del líquido.

La cámara de carga deberá de situarse por lo menos 30 cm más elevado que el nivel del material dentro de la cámara de digestión. Esta deberá tener dimensiones suficientes para la carga diaria y un piso inclinado en sentido contrario al vertimiento hacia la cámara de digestión para poder retener materiales indeseables en el proceso como madera, piedras, etc.

Estas dimensiones pueden ser determinadas por la fórmula siguiente:

$$V_{cc} = L_{cc} \times C_{cc} \times H_{cc}$$

Donde:

V_{cc} = Volumen de la cámara de carga (m^3)

L_{cc} = Largo de la cámara de carga (m)

C_{cc} = Ancho de la cámara de carga (m)

H_{cc} = Altura de la cámara de carga (m). Esta debe ser superior a 1 m.

Dimensionamiento de la cámara de descarga

La cámara de descarga es por donde se evacuan los materiales de fermentación. El biogás producido en el biodigestor presiona el líquido fermentado hacia una pileta de salida para un almacenamiento, la pileta de salida también se llama cámara hidráulica o de hidropresión. La cámara debe ir cubierta con una plancha para mejorar las condiciones sanitarias. Las dimensiones son establecidas mediante la siguiente fórmula:

$$V_{cd} = L_{cd} \cdot C_{cd} \cdot H_{cd}$$

Donde:

V_{cd} = Volumen de la cámara de descarga (m^3)

Lcd= Largo de la cámara de descarga (m)

Ccd= Ancho de la cámara de descarga (m)

Hcd= Altura de la cámara de descarga (m). Esta debe estar debajo del nivel del suelo.

Dimensionamiento del gasómetro

Es muy conveniente usarlo ya que garantiza presiones estables ó constantes de trabajo le confiere al sistema una mayor autonomía en lo referente al almacenamiento de gas a baja presión y el gas no necesita tratamientos especiales; pueden estar contruidos de concreto reforzado, de mampostería, de metal, de fibra de vidrio o de plástico, la forma puede ser circular o cuadrado. El peso de la cubierta flotante del gasómetro mantiene la presión necesaria del gas, presión que varía entre 0,05-0,2 m de columna de agua, ésta cubierta se mueve hacia arriba o hacia abajo de acuerdo a la cantidad de gas que reciba del digestor; la forma más conveniente es la circular. La cubierta está hecha usualmente de láminas de acero de 2 a 3 mm de espesor; para guiar la cubierta flotante en su movimiento vertical se coloca, o un sistema de rodillos y un perfil de V de acero que guía la cubierta, o en su defecto se coloca un tubo en el centro sujeto al fondo; se acostumbra colocar una o más aberturas que distan de 5 a 7 cm del fondo de la cubierta, a través de los cuales el exceso de gas puede escapar cuando el recipiente se aproxime al máximo de su desplazamiento.

Para la construcción del gasómetro debe preverse un volumen mínimo equivalente a una producción de biogás de 12 horas. Las dimensiones que se deben acotar aquí son su diámetro y su volumen, estas se calculan con las siguientes formulas:

$$Dig = Di - 0.10m$$

Donde:

Dig= Diámetro inferior del gasómetro (m)

D_i = diámetro interno del biodigestor (parte superior= $D_u+0.10m$)

0.10m= holgura

Nota: la parte superior del biodigestor debe tener 10cm de más para formar un muro de apoyo para el gasómetro.

$$D_{sg} = D_i + 0.10m$$

Donde:

D_{sg} = diámetro superior del gasómetro

D_i = diámetro interno del biodigestor (parte superior= $D_u+0.10m$)

0.10m= holgura

$$V_g = \frac{\Pi \times D_g^2}{4} \times H_g$$

Donde:

V_g = Volumen del gasómetro (m^3). Igual a la producción diaria de biogás V_G .

D_g = Diámetro del gasómetro (m)

H_g = Altura del gasómetro (m). Incógnita a determinar.

Luego de determinarse la altura del gasómetro, se procede a calcular la altura real del mismo mediante la fórmula:

$$H_{rg} = H_g + P + 0.10$$

Donde:

H_{rg} = Altura real del gasómetro

H_g = Altura del gasómetro

P = Presión (fijada en 0.15mca)

0.10= holgura

Dimensionamiento de la pared divisora

La pared divisoria divide el cilindro del biodigestor en dos cámaras de radios iguales, para calcular sus dimensiones se utiliza la siguiente ecuación:

$$Hpd = Hrcd - Hrg$$

Donde:

Hpd= Altura de la pared divisoria

Hrcd= Altura real de la cámara de digestión

Hrg= Altura real del gasómetro

Dimensionamiento del caño guía

Cumple la función de orientar el movimiento vertical del gasómetro. Este puede determinarse por la formula:

$$Cg = 1 + Hrg + \frac{Hrg}{2}$$

Donde:

Cg= Longitud del caño guía (m)

1= Cantidad de caños que deberán ser colocados en la pared divisoria

Hrg= Altura real del gasómetro que corresponde con la distancia de la pared divisoria a la superficie.

Hrg/2= Parámetro que busca mantener la estabilidad del gasómetro cuando este se encuentre a su máxima capacidad

Producción de bioabono por día

Para el este cálculo se tomó el 20 % de sólidos totales. Continuando se determina la cantidad de bioabono para el volumen de biogás diario, con la fórmula siguiente:

$$Ba = BD - BD \times \frac{St}{100}$$

Donde:

Ba = Cantidad de bioabono generado por día

BD = Biomasa disponible

St = Sólidos totales

Capítulo III

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cálculo del potencial de excreta generada por los animales de cría (ovinos, porcinos y vacunos) en la finca de autoconsumo del IPVCEFE

En la finca de autoconsumo del IPVCEFE se realizó el conteo de animales y el pesado del estiércol para los bueyes y ovejas (ver tabla 7); en cambio para los cerdos se efectuó una estimación en relación al tamaño (ver tabla 8).

Tabla 7: Número de animales y peso de estiércol producido en diferentes días.

Conteos	Vacuno		Ovino	
	N° Cabezas	Estiercol (kg)	N° Cabezas	Estiercol (kg)
1	17	173,27	109	39,92
1	17	153,32	111	28,12
1	17	162,39	110	32,66
1	17	163,29	110	27,22
1	17	140,16	110	34,48

4.1.1 Producción de excreta por especies

Ovinos

Promedio total de excreta de ovejas (Peo)

$$Peo = \frac{\sum Eo}{Ndp}$$

$$Peo = \frac{162,4 \text{ kg de excreta}}{5 \text{ día}}$$

$$Peo = 32,48 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

Bueyes

Promedio total de excreta de bueyes (Peb)

$$Peb = \frac{\sum Eb}{Ndp}$$

$$Peb = \frac{792,43 \text{ kg de excreta}}{5 \text{ día}}$$

$$Peb = 158,49 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

Cerdos

Para calcular el potencial de excreta generado por los cerdos en un día, se realizó una estimación en relación con el tamaño (ver tabla 8).

Tabla 8: Número de cerdos según su tamaño y cantidad de excreta generada en un día por animal.

Tamaño del cerdo	N° Cabezas	Cantidad de excreta por día por animal (kg)
Grande	5	2
Mediano	21	1,5
Pequeño	16	1

Potencial de cerdos pequeños (Pcp)

$$Pcp = Ncp \times Cep$$

$$Pcp = 16 \times 1 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

$$Pcp = 16 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

Potencial de cerdos medianos (Pcm)

$$Pcm = Ncm \times Cem$$

$$P_{cm} = 21 \times 1,5 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

$$P_{cm} = 31,5 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

Potencial de cerdos grandes (Pcg)

$$P_{cg} = N_{cg} \times C_{cg}$$

$$P_{cg} = 5 \times 2 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

$$P_{cg} = 10 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

Potencial total de excreta de cerdos (Pec)

$$P_{ec} = P_{cp} + P_{cm} + P_{cg}$$

$$P_{ec} = (16 + 31,5 + 10) \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

$$P_{ec} = 57,5 \frac{\text{kg de excreta}}{\text{día}}$$

La tabla 9 nos indica la producción total de estiércol producida en un día, también la producción generada por animal.

Tabla 9: Producción de excreta por especies.

Especie	Cantidad de animales	Excreta total (kg/día)	Producción por animal (kg/día)
Ovino	110	32,48	0,3
Vacuno	17	158,49	9,32
Porcino	42	57,5	1,37

La producción de estiércol por animal en kg/día presenta valores favorables para el ganado vacuno comparando con el resultado de otros autores (ver anexo 1), los cuales referencian esta producción en 9,25 kg/día y obteniendo nosotros valores de 9,32 kg/día.

No siendo así para el ganado porcino y el ovino, teniendo el primero valores ligeramente bajos y el segundo una producción muy errática. Ver anexo 1.

La producción total de estiércol en kg/día por especie es favorable, la cual está condicionada por la elevada cantidad de cabezas de ganado ovino y porcino, siendo el ganado vacuno el de mayor influencia representando 64 % de la producción total de estiércol en kg/día, (ver figura 8).

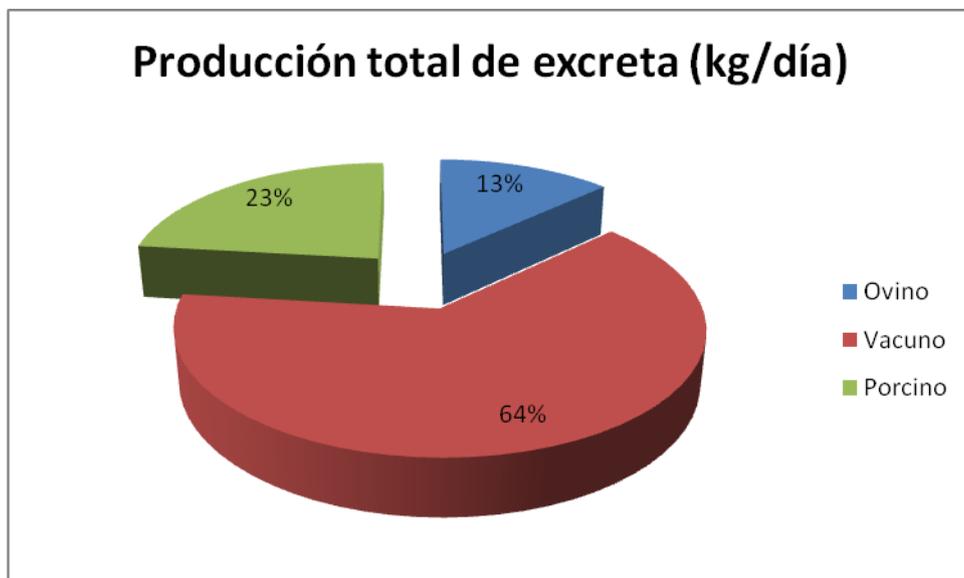


Figura 8: Producción total de excreta.

4.1.2 Potencial de Biomasa

$$PB = Pec + Peo + Peb$$

$$PB = (57,5 + 32,48 + 158,49) \frac{\text{kg de estiércol}}{\text{día}}$$

$$PB = 248,47 \frac{\text{kg de estiércol}}{\text{día}}$$

Agua necesaria

$$An = 3 \times PB$$

$$An = 3 \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de estiércol}} \times 248,47 \frac{\text{kg de estiércol}}{\text{día}}$$

$$An = 745,41 \frac{\text{kg de agua}}{\text{día}}$$

Biomasa disponible

$$BD = PB + An$$

$$BD = 248,47 \text{kg de estiércol} + 745,41 \frac{\text{kg de agua}}{\text{día}}$$

$$BD = 993,88 \text{kg de biomasa / día}$$

Para formar la biomasa que se pretende digerir es necesario añadir 3 kg de agua por cada kg de estiércol, algunos estudios recomiendan la relación agua estiércol en dependencia del animal del cual provenga la excreta, para garantizar un desarrollo adecuado de la anaerobiosis metanogénica, en nuestro caso se tomó 3 kg de agua por cada kg de estiércol, para garantizar las condiciones críticas de operación, con ello se obtuvo que la biomasa disponible es de 993,88 kg/día

Volumen diario de biomasa

$$V_{BM} = \frac{BD}{1000}$$

$$V_{BM} = \frac{993,88}{1000} m^3 / \text{día}$$

$$V_{BM} = 0,994 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Es necesario transformar las unidades de la biomasa disponible en $m^3/\text{día}$, debido a que el volumen del biodigestor está dado en m^3 .

4.2 Diseño del Biodigestor

4.2.1 Dimensionamiento del Biodigestor

Tiempo de Retención de la Biomasa

$$TR = 20 \text{ días} \times 1.3$$

$$TR = 26 \text{ días}$$

Volumen de digestión de la biomasa

$$V_D = V_{BM} \times TR$$

$$V_D = 0,994 \frac{m^3}{\text{día}} \times 26 \text{ días}$$

$$V_D = 25,84m^3 \approx 26m^3$$

Volumen de producción diaria de biogás

$$V_G = (Pec \times Rbc) + (Peo \times Rbo) + (Peb \times Rbb)$$

$$V_G = (57,5kg \times 0,07 \frac{m^3}{kg}) + (32,48kg \times 0,05 \frac{m^3}{kg}) + (158,49kg \times 0,04 \frac{m^3}{kg})$$

$$V_G = 11,99m^3 \approx 12m^3$$

Volumen total del biodigestor

$$V_{BD} = V_D + V_G$$

$$V_{BD} = 26m^3 + 12m^3$$

$$V_{BD} = 38m^3$$

Después de los cálculos realizados el volumen total del biodigestor es 38 m³, resultado que se aproxima a la dimensión obtenida por Guardado 2007 la cual fue 42 m³ las mismas que nos permiten obtener medidas para el diseño del biodigestor. (Ver tabla 6).

Diámetro y altura útil del biodigestor

Sabiendo el volumen del biodigestor, se debe determinar su diámetro y altura, cumpliéndose la relación siguiente:

$$0.66 \leq \frac{Du}{Hu} \leq 1$$

$$0.66 \leq \frac{3m}{3,7m} \leq 1$$

$$0.66 \leq 0,81 \leq 1$$

El volumen útil es el volumen ocupado por la materia orgánica a ser digerida, exceptuándose el volumen relativo al biogás entonces $V_D=V_u$.

Para obtener estos valores se utiliza la fórmula de volumen de un cilindro:

$$Vu = \frac{\Pi \times Du^2}{4} \times Hu \quad ; \quad Hu = \frac{4 \times Vu}{Du^2 \times \Pi}$$

$$Hu = \frac{4 \times 26m^3}{(3m)^2 \times 3,14}$$

$$Hu = 3,7m$$

Altura real de la cámara de digestión

$$Hrcd = Hu + P + 0,15$$

$$Hrcd = 3,7m + 0,15m + 0,15$$

$$Hrcd = 4m$$

En los digestores de tipo Hindú la presión está fijada en 0,15 m. Se aconseja diseñar los equipos para que trabajen con esta presión.

A continuación se muestra las diferentes vistas del biodigestor diseñado. (Ver figura 9).

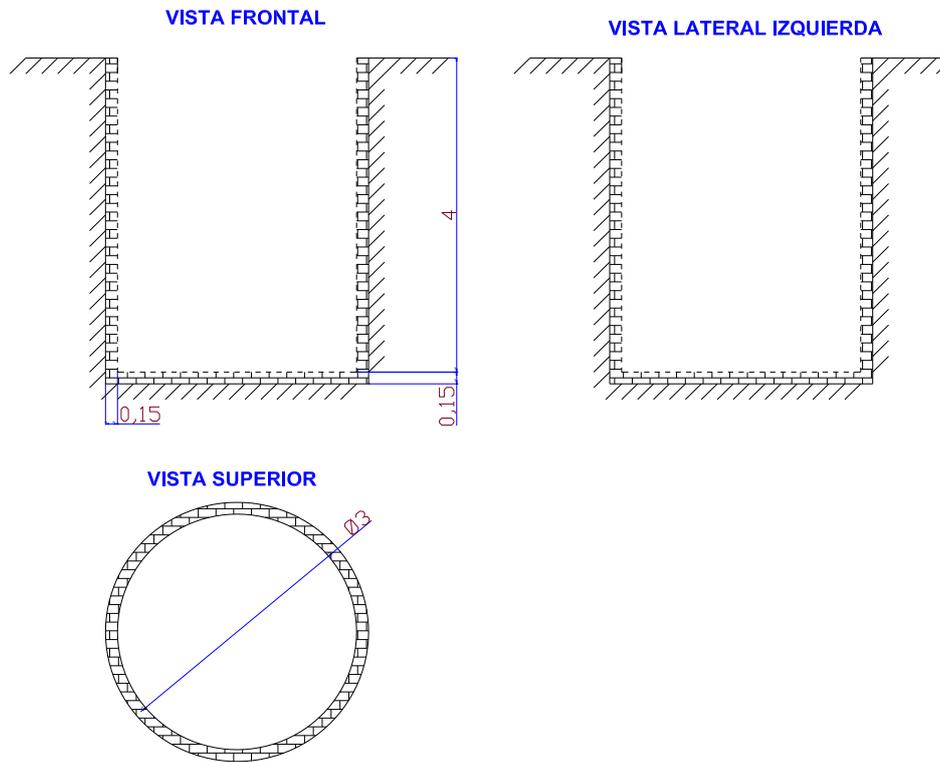


Figura 9: Dimensiones del biodigestor.

Dimensionamiento de la cámara de carga

Para las dimensiones de la cámara de carga lo principal que se debe tomar en cuenta es el volumen diario que en este caso es $V_{BM} = 0,994 \text{ m}^3/\text{día}$ y la altura (H) debe ser superior a 1 m.

$$V_{cc} = L_{cc} \times C_{cc} \times H_{cc}$$

$$V_{cc} = 1m \times 1m \times 1,20m$$

$$V_c = 1,20m^3$$

En la figura se muestra la vista frontal, lateral izquierda y superior de la cámara de carga. (Ver figura 10).

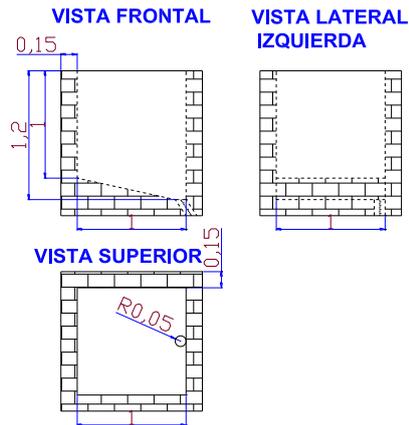


Figura 10: Dimensiones de la cámara de carga.

Dimensionamiento de la cámara de descarga

A diferencia de la cámara de carga, la de descarga debe estar desde el nivel del suelo 0,50 m hacia abajo, la formula a utilizar es la misma que la de la cámara de carga.

$$Vcd = Lcd \times Ccd \times Hcd$$

$$Vcd = 1m \times 1m \times 0,5m$$

$$Vcd = 0,5m^3$$

El grafico a continuación muestra las vistas de la cámara de descarga. (Ver figura 11).

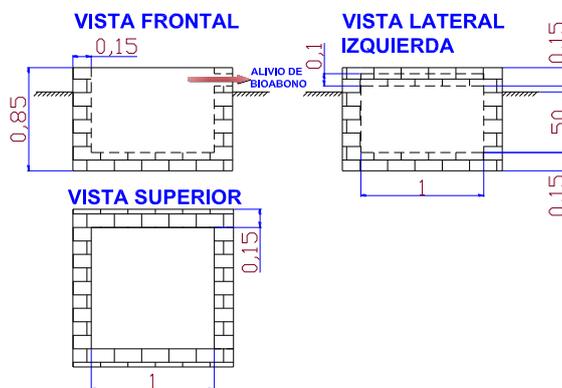


Figura 11: Dimensiones de la cámara de descarga.

Dimensionamiento del gasómetro

En el dimensionamiento del gasómetro se debe tener en cuenta como volumen mínimo la producción de biogás de 12 horas, el cual es 12 m^3 .

➤ Diámetro:

$$D_{ig} = D_i - 0.10m$$

$$D_{ig} = 3m - 0.10m$$

$$D_{ig} = 2,9m$$

El diámetro interno del biodigestor ($D_i=D_u$) de la parte superior es igual a $D_u+0.10m$

$$D_{sg} = D_i + 0.10m$$

$$D_{sg} = 3m + 0.10m$$

$$D_{sg} = 3,10m$$

La parte superior debe tener 10 cm de más para formar un muro de apoyo para el gasómetro.

➤ Altura:

$$V_g = \frac{\Pi \times D_g^2}{4} \cdot H_g \quad ; \quad H_g = \frac{4 \times V_g}{\Pi \times D^2}$$

$$H_g = \frac{4 \times 12m^3}{3,14 \times (3,10m)^2}$$

$$H_g = 1,6m$$

En seguida de establecerse la altura del gasómetro, se procede a calcular la altura real del mismo.

$$H_{rg} = H_g + P + 0.10$$

$$Hrg = 1,6m + 0,15m + 0.10$$

$$Hrg = 1,85m$$

La presión establecida es $P = 0.15$ mca y la holgura es 0.10.

El gasómetro diseñado se muestra a continuación con sus respectivas vistas. (Ver figura 12).

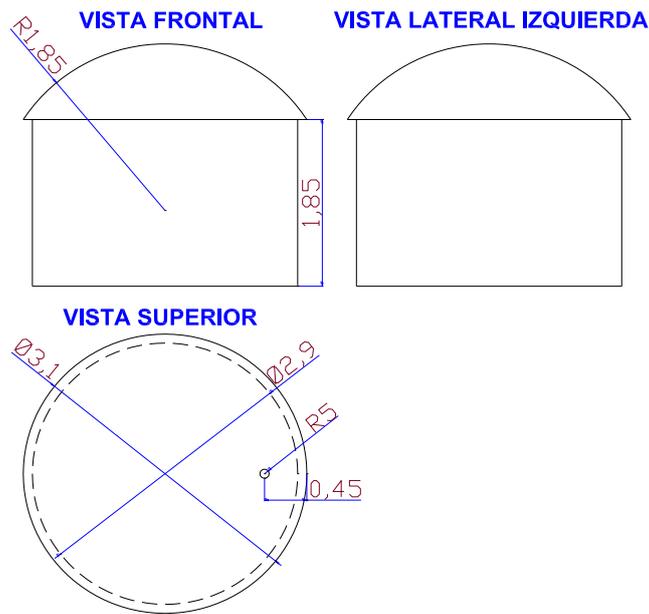


Figura 12: Dimensiones del gasómetro.

Dimensionamiento de la pared divisora

La pared divisora permite que al ingresar la excreta pueda separarse de la que ya se encuentra almacenada.

$$Hpd = Hrcd - Hrg$$

$$Hpd = 4m - 1,85m$$

$$Hpd = 2,15m$$

Dimensionamiento del caño guía

$$Cg = 1 + Hrg + \frac{Hrg}{2}$$

$$Cg = 1 + 1,85m + \frac{1,85m}{2}$$

$$Cg = 3,78m$$

Producción de bioabono por día

Para el este cálculo se tomó el 20 % de sólidos totales. Continuando se determina la cantidad de bioabono para el volumen de biogás diario, con la fórmula siguiente:

$$Ba = BD - BD \times \frac{St}{100}$$

$$Ba = 993,88 \frac{kg}{día} - 993,88 \frac{kg}{día} \times \frac{20}{100}$$

$$Ba = 795,1 \frac{kg}{día}$$

Análisis Económico

5 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se debe tener en cuenta que para montar un biodigestor, los costos dependen básicamente de la tecnología que se use en el así como también de los requerimientos de producción, teniendo presente que la implementación de un biodigestor no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales a la finca.

Los costos para la construcción del biodigestor se tomaron los datos obtenidos por [32] cuya propuesta consistió en un biodigestor de 10 m³ de capacidad, tomando estos datos como referencia y siguiendo las indicaciones del manual del CEMIG, se plantearon los costos del biodigestor de 38 m³ propuesto anteriormente.

Los valores obtenidos en el análisis de los costos de construcción de un biodigestor son bajos, ascendiente a \$ 5489,14 MN y 383,32 CUC. Los materiales son de fácil accesibilidad así como la mano de obra calificada y los obreros. Lo que representa una fácil construcción de este tipo de biodigestor, estos valores se muestran en las tablas 10 y 11.

Tabla 10: Costo de mano de obra

OPERACIÓN	CANTIDAD Y TIPOS DE OBRERO	LABOR	CANTIDAD DE HORAS	SALARIO MN
Construcción	2 Albañiles	Paredes de las cámaras	320	\$ 825,60
	1 Ayudante	Preparación de mortero	320	\$ 412,80
	1 Soldador	Campana y cruceta	136	\$ 175,44
	3 Obreros Finca	Pozo y pintura	160	\$ 619,20
Mantenimiento	8 Obreros	Limpieza y pintura	8 horas 2 veces año	\$ 165,12
Recolección materia prima y carga diaria	4 Obreros	Recolección de excremento y carga.	2 horas/día todo el año	\$ 1.883,40
Recolección del efluente y almacenamiento	4 Obreros	Recolección del efluente y almacenamiento	4 horas/día todo el año	\$ 941,70
Utilización del gas	1 Tornero	Adaptación de equipos	32	\$ 82,56
TOTAL				\$ 5.105,82

Fuente: (Urbáez, 2007). [31]

Tabla 11: Costos de los materiales de construcción

Material	Costos por unidad		Cantidad necesaria	Costo total	
	MN	CUC		MN	CUC
Barra de acero corrugado 3/8"	2,25	-	4 tira (9m)	9	-
Ladrillo (25x12x6,5)	0,62	-	3200 ladrillos	1984	-
Arena	12,11	-	8m ³	96,88	-
Cemento	3,88	3,91	60 bolsas	232,8	234,6
Pintura anticorrosiva	1,37	2,42	8 litros	10,96	19,36
Tubo galvanizado 2"	3,51	5,44	4m	14,04	21,76
Tubo galvanizado 2½"	3,68	5,9	4m	14,72	23,6
Tubo de Barro 6"	8,87	-	10 tubos	88,7	-
Plancha de Acero (2mx1mX3mm)	-	14	6 planchas	-	84
TOTAL				2451,1	383,32

Fuente: (Urbáez, 2007). [31]

Impacto Ambiental

6 IMPACTO AMBIENTAL

Una planta de biogás permite reducir el impacto ambiental que provocan los residuos orgánicos en el medio ambiente. Se reducen las emisiones a la atmósfera (gases de efecto invernadero), se minimizan considerablemente los olores y se mejora el valor final de los residuos, pudiendo estos ser utilizados como bioabono.

Se debe considerar también que dado el origen diverso, pueden aparecer en los gases generados compuestos químicos contaminantes. Un análisis detallado de las materias primas y de los gases emitidos puede aconsejar que se utilicen filtros correctores o combustiones a altas temperaturas como medidas correctoras para evitar la contaminación de la atmósfera o la producción de olores.

El resto de los factores ambientales, dada la posibilidad de variar la instalación de las plantas, (excepto en casos tales como los que utilizan alpechines o purines, que por motivos de rentabilidad económica exigen proximidad) no presentan repercusiones ambientales significativas que no se puedan corregir o anular con la adopción de tecnologías disponibles actualmente. Entre las ventajas que nos proporciona la energía generada por el biogás tenemos:

- Disminuye la degradación del suelo.
- Mejora el equilibrio ecológico mejora de la salud pública.
- Control de insectos y vectores.
- Disminuye la contaminación por la presencia de heces fecales.
- Contribuye al desarrollo sustentable.
- Ayuda a reducir el impacto de la crisis energética.
- Higienización y salud: control de parasitismo
- Durante el proceso de obtención del biogás queda prácticamente todo el nitrógeno que se utiliza: fertilización de suelos.

Conclusiones

7 CONCLUSIONES

Una vez realizada esta investigación, se arribaron a las siguientes conclusiones:

- Los datos obtenidos en la finca de autoconsumo del IPVCFE nos permitieron determinar que existe un potencial de estiércol para diseñar un biodigestor con una capacidad de 38 m³.
- Las dimensiones principales del biodigestor obtenido son: diámetro 3 m y una altura de 4 m.
- Al aprovechar la excreta generada por los animales de cría de la finca de autoconsumo del IPVCFE en el biodigestor diseñado, según cálculos se generan 12 m³ de biogás por día.
- El uso del biogás por la leña, ayuda a conservar las plantaciones forestales disminuye la generación de dióxido de carbono y contribuye a la disminución de gases de efecto invernadero.

Recomendaciones

8 RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo la construcción del biodigestor en la finca de autoconsumo del IPVCFE para suplantar el uso de la leña en la cocción de alimentos y de esta manera elevar la calidad de vida de sus trabajadores.
- Aprovechar la energía de la excreta producida por los animales de cría de la finca de autoconsumo del IPVCFE, debido a los beneficios que se generarían, con poca inversión.
- Incentivar a las personas que trabajan en la finca de autoconsumo del IPVCFE al uso de este tipo de energía alternativa y de esta forma contribuimos a disminuir el consumo de leña y combustibles fósiles.
- La sustitución paulatina del abono químico por bioabono para las labores agrícolas, después de construido el biodigestor, en la finca de autoconsumo del IPVCFE.

Bibliografía

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Energía renovable. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable. Consultado: enero 2010.
2. Ramón, J.; Gastelbondo W.; Bedoya J. 2006. Diseño de la automatización de una planta generadora de biogás. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. V II (8). Colombia. P 48-54.
3. Revuelta, J. 2007. Biomasa y gasificación. Disponible en: www.renovables.com. Consultado: enero 2010.
4. Camacho, J. 1987. Construcción y Evaluación de un Biodigestor de Flujo Continuo con Desplazamiento Horizontal para Producir Biogás. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
5. Carballo, L; Márquez, F. 2004. Diseño de sistemas de energía renovable para comunidades rurales. Facultad de Forestal y Agronomía. Pinar del Rio. Cuba.
6. Guardado, J. A 2006. El arte del biogás en Cuba. Taller internacional CUBASOLAR 2006. Villa clara - Cienfuegos
7. Desarrollo de un Sistema de Biodigestores y Energías Limpias. Disponible en: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>. Consultado: enero 2010.
8. Guardado, J. 2006. Tecnología del biogás. Manual del usuario. CUBASOLAR. Cuba. La Habana. (p22)
9. Biodigestores y biogás. Disponible en: <http://afexparachicos.tripod.com/biogas.htm>. Consultado: enero 2010.
10. Biomasa y Biogás. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/712/biomasa_y_biogás.htm. Consultado: enero 2010.
11. Características del Biogás. 2004. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c1.htm. Consultado: enero 2010.
12. Historia del Biogás. 2008. Disponible en: http://porcinoblogspot.com/2006/01/historia-del-biogas_113857323502124249.html. Consultado: Enero 2010.

13. Carballo, L.; Arteaga, Y.; Márquez, F. 2006. Biogás una alternativa económica y ecológica. Pinar del Rio. Cuba
14. Obtención del Biogás. 2004. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c2.htm. Consultado: enero 2010.
15. Utilización del Biogás. 2004. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c4.htm. Consultado: enero 2010.
16. Guardado. J. 2007. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. CUBASOLAR. Cuba. La Habana. (p70)
17. Villegas, P. 2007. Desarrollo y perspectivas de la tecnología del biogás en los países subdesarrollados. Cuba. Santa Clara. (p24)
18. Androvetto E. 2003. Diseño y operación de un modelo para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la granja porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
19. España Producción Biogás Agroindustrial. 2009 Disponible en: <http://www.terralia.com/index.php?proceso=noticia¬icia=198>. Consultado: enero 2010.
20. Calderín C; González S. 2008. Determinación del potencial de energía renovable a partir del Biogás de la Granja Integral Porcina Soroa Candelaria. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos61/energia-renovable-biogas/energia-renovable-biogas.shtml>. Consultado: enero 2010.
21. Calderín C; González S. 2008. Determinación del potencial de energía renovable a partir del Biogás de la Granja Integral Porcina Soroa Candelaria. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos61/energia-renovable-biogas/energia-renovable-biogas2.shtml>. Consultado: enero 2010.
22. Calderín C; González S. 2008. Determinación del potencial de energía renovable a partir del Biogás de la Granja Integral Porcina Soroa Candelaria. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos61/energia-renovable-biogas/energia-renovable-biogas.shtml>. Consultado: febrero 2010.

23. Biogás. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biog%C3%A1s>. Consultado: enero 2010.
24. Energía de la biomasa. Disponible en: <http://www.unap.cl/index.pl?iid=3543#top#top> Consultado: enero 2010.
25. Los biodigestores: una tecnología que transforma sus desechos en energía. Disponible en: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>. Consultado: enero 2010. Lima – Perú.
26. Tipos de Digestores. Disponible en: <http://biodigestores.org/tipos-de-digestores/>. Consultado: febrero 2010.
27. El Biodigestor. 2004. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/otras_energias/biogas/biog_c3.htm. Consultado: enero 2010.
28. ¿Qué es un biodigestor?. Disponible en: <http://biodigestores.org/>. Consultado febrero 2010.
29. Perspectiva de los biodigestores. Disponible en: <http://www.tecnologiadesarrollo.org/www.tecnologiadesarrollo.org>. Consultado: febrero 2010.
30. Mapa de las carreteras de Pinar del Río. Disponible en: [http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_\(2\)_3.jpg](http://www.bedincuba.com/cuba_mapa_carreteras_road_map/cuba_mapa_carreteras_map_road_pinar_del_rio_(2)_3.jpg). Consultado: febrero 2010.
31. Urbáez, C. 2007. Trabajo de diploma. “Alternativa energética con enfoque de género en la Comunidad de Canalete, San Andrés, Pinar del Río”. Facultad de Geología y Mecánica. Pinar del Río. Cuba.
32. González, J. G. (2005). Trabajo de diploma. “Diseño de un biodigestor de tipo Hindú a partir de desechos sólidos con fines docentes”. Departamento de Ingeniería Mecánica. Pinar del Río, Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca.

Anexos

10 ANEXOS

Anexo 1: Tabla del rendimiento de biogás según la especie animal.

Espece Animal	Cantidad de excreta por día (kg)	Rendimiento de Biogás (m ³ /kg excreta)	Producción de Biogás (m ³ /animal.día)	Relación Excreta:Agua
Vacuno				
· Grande	15	0.04	0.60	1:01
· Mediano	10	0.04	0.40	
· Pequeño	8	0.04	0.32	
· Ternero	4	0.04	0.16	
Búfalo				
· Grande	20	0.04	0.80	1:01
· Mediano	15	0.04	0.60	
· Pequeño	10	0.04	0.40	
· Ternero	5	0.04	0.20	
Cerdo				
· Grande	2.0	0.07	0.14	1:1 a 1:3
· Mediano	1.5	0.07	0.10	
· Pequeño	1.0	0.07	0.07	
Avícola				
· Grande	0.15	0.06	0.009	1:03
· Mediano	0.10	0.06	0.006	
· Pequeño	0.05	0.06	0.003	
Ovino				
· Grande	5.0	0.05	0.25	1:2 a 2:3
· Mediano	2.0	0.05	0.10	
· Pequeño	1.0	0.05	0.05	
Pato	0.15	0.05	0.008	1:2 a 2:3
Paloma	0.05	0.05	0.003	2:3 a 1:3
Caballo	15.0	0.04	0.60	1:2 a 2:3
Camello	20.0	0.03	0.60	1:2 a 2:3
Elefante	40.0	0.02	0.80	1:2 a 2:3
Humanos				
· Adulto	0.40	0.07	0.028	1:2 a 2:3
· Niño	0.20	0.07	0.014	

Fuente: (Carballo, L.; Arteaga, Y.; Márquez, F. 2006). [13]

Anexo 3: Vista del biodigestor en corte con todas sus partes

